

L'apport des sciences cognitives aux théories du développement cognitif : quel impact pour l'étude des apprentissages et leurs troubles ?

Jean Écalle, Annie Magnan

Comprendre les mécanismes de la pensée était déjà dans l'Antiquité un enjeu de connaissance pour les philosophes. Tel est le défi que relèvent aujourd'hui les sciences cognitives : intelligence artificielle, linguistique, psychologie cognitive, philosophie de l'esprit et neurosciences. Celles-ci se regroupent donc autour d'un projet commun : l'étude scientifique de la cognition. En France, l'institutionnalisation des sciences cognitives est récente. Depuis les premières actions de soutien aux sciences cognitives – la première action de recherche intégrée est lancée par le CNRS en 1984 – les initiatives n'ont cessé de se multiplier : programme de recherches *Cognisciences* par exemple, formations, centre de recherches...

L'un des objectifs de ces disciplines est de saisir les processus cognitifs des enfants au cours de situations d'apprentissage. Et, bien sûr, il s'agit là d'un défi scientifique qui ne peut laisser indifférents les acteurs du « monde de l'éducation ». C'est même la raison pour laquelle le ministère de la Recherche soutient depuis 2000 le programme « École et sciences cognitives », dont l'un des buts est d'articuler « la recherche fondamentale pluridisciplinaire sur le développement, les apprentissages et le système éducatif » ; ce qui suppose de « créer une alliance entre des communautés qui n'ont guère l'habitude de dialoguer ». Dans le même sens, nous proposons ici un ensemble d'articles issus de recherches en cours dans les disciplines constitutives des sciences cognitives, sur les mêmes types de questions : comment

l'enfant apprend-il ? Quels sont les processus cognitifs mis en œuvre ? Comment expliquer les troubles qui peuvent se manifester dans ce cas ? À ces questions, on trouvera donc ici certain nombre de réponses « croisées ».

Dans ce domaine comme dans beaucoup d'autres, le développement des connaissances est fortement lié à l'essor technologique. Comme le note F. Varela : « on ne peut pas séparer les sciences cognitives et la technologie cognitive sans amputer celle-ci ou celles-là d'un élément complémentaire vital » (Varela, 1989, p. 11). Affirmation qui conduit cet auteur à parler de « *Sciences et technologies de la cognition* » (STC). En d'autres termes, l'essor des sciences cognitives est directement lié à l'élaboration de nouveaux dispositifs de recherches. C'est ainsi que les techniques d'études spécialisées du nourrisson (méthodes fondées sur l'activité oculo-motrice, méthode de succion non-nutritive...) ont provoqué un véritable « saut qualitatif » dans notre connaissance du fonctionnement cognitif du bébé (pour une présentation de travaux récents, voir Lécuyer, 2004). De même, l'enregistrement de réponses physiologiques et particulièrement les techniques d'imagerie cérébrale ont profondément modifié notre compréhension des rapports entre le cerveau et le comportement (pour une introduction aux techniques d'imagerie cérébrale et leur lien avec la psychologie cognitive voir Dehaene, 1997 ; Houdé, Mazoyer & Tzourio-Mazoyer, 2002). Koenig (1998), souligne à son tour que « la possibilité

d'observer de façon "directe" le fonctionnement d'un cerveau intact dans différentes tâches cognitives a véritablement révolutionné le domaine des sciences cognitives tout entier » (p. 6).

Ceci explique pourquoi certains des travaux présentés ici s'appuient sur des dispositifs sophistiqués pour examiner la question étudiée : *Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle* (IRMf), enregistrement des *Otoémissions acoustiques provoquées* (OAP), analysent le comportement humain face à de nouvelles technologies (hypermédiat), ou encore examinent l'effet d'une aide informatisée à l'apprentissage (lecture, calcul, musique).

Quelques points d'ancrages historiques permettront une meilleure lecture du chemin parcouru (1). La formalisation de la pensée par la description de règles qui rendent compte du fonctionnement humain dans ses différentes composantes a été l'une des préoccupations constantes des philosophes depuis plusieurs siècles (Descartes, Hume, etc.). L'idée que l'esprit humain fonctionne sur la base de calculs successifs a été l'une des thèses de Leibniz. L'invention de l'ordinateur, en permettant à une machine de réaliser un grand nombre de calculs à partir de règles logiques (voir les travaux d'A. Turing et de J. von Neuman au début du XX^e siècle), est la suite logique de cette position. Selon l'hypothèse « computo-symbolique », les comportements humains ne sont que la résultante d'opérations mentales portant sur des unités élémentaires, les symboles. Ceux-ci existent sous la forme de représentations que l'individu construit, stocke, trie.

Dans la deuxième moitié du xx^e siècle, les progrès technologiques vont donner lieu à des développements d'outils (ordinateurs, robots), accompagnés de nouveaux développements conceptuels qui ont mis en lien les travaux en cybernétique, en informatique (intelligence artificielle) et en neurosciences, et évidemment dans des disciplines connexes comme la psychologie, l'anthropologie, la philosophie des sciences. Les travaux en développement cognitif, après une immersion dans la perspective structurale piagétienne, ont alors été fortement influencés par les modèles du *Traitement de l'information* (TI) issus de l'intelligence artificielle. Des modèles computo-symboliques du développement et de l'apprentissage ont ainsi vu le jour inspirés des propositions de Newell et Simon (1972) puis plus tard des travaux d'Anderson (1983). Les recherches s'orientent alors vers une perspective plus fonctionnelle, c'est-à-dire axée sur l'individu en train de résoudre un problème, et certains parlent d'étudier le fonctionnement de l'enfant « *problem solver* ».

Toutefois, l'adhésion à une forme de fonctionnalisme radical (Fodor, 1983) amenant à ignorer certaines caractéristiques spécifiques des conduites humaines a conduit, dans les années quatre-vingt-dix, certains chercheurs à ancrer les théories du fonctionnement cognitif dans la neurobiologie (Edelman, 1992). Les problématiques actuelles tendent vers des conceptions plus intégratives qui tentent d'étudier à la fois les aspects cognitifs et les aspects émotionnels, motivationnels des processus cognitifs (Damasio, 2003). Les évolutions récentes de la neurobiologie permettent de mieux articuler les niveaux d'explication – neurobiologique et psychologique – du développement cognitif. Les travaux se sont orientés vers des problématiques qui rendent compte des acquisitions « *domain specific* » précoces et de la plasticité des systèmes (voir les propositions d'Annette Karmiloff-Smith et Mickael Thomas dans leur article).

Par ailleurs, l'approche des « systèmes dynamiques » complexes issue des modèles d'auto-organisation développés en physique et en mathématique a aussi contribué à modifier les modélisations du développement cognitif et le statut de la variabilité (Lautrey, 2003). Cette approche conduit à appréhender le processus développemental dans sa globalité comme l'interaction de différents éléments à l'origine de tel ou tel comportement. Cette conception paraît aujourd'hui un cadre prometteur pour rendre compte des transitions dans le domaine du développement (voir l'ouvrage récent de Demetriou & Raftopoulos, 2004). « Dans tout système complexe (cognition humaine, temps météorologique – *weather*, etc.), le tout est plus que la somme de ses parties. Les processus complexes comme la cognition ne peuvent se réduire simplement aux opérations impliquant les neurones seuls, les effets des neurotransmetteurs, etc. Au lieu de cela, la compréhension des processus complexes implique de saisir l'ensemble des interactions non linéaires parmi un grand nombre de composants et de propriétés qui émergent du système en tant que produit des interactions » (Munakata & McClelland, 2003, p. 416, notre traduction). Ces modèles permettent ainsi de restituer la dynamisme du système cognitif : son état d'équilibre, instabilité (ou déséquilibre) et réorganisation pour retrouver un nouvel état d'équilibre. La cognition est donc étudiée en tant qu'activité adaptative dans un contexte donné. Ce cadre épistémologique a conduit à accorder plus d'attention au rôle de la variabilité intra-individuelle (Lautrey, Mazoyer & Geert, 2002).

Les perspectives actuelles dégagent l'idée générale d'une cognition « située et incarnée » (*situated and embodied cognition*) selon laquelle toute action est finalisée dans un certain contexte et se réalise sous la dépendance de données neuroanatomiques, tonico-émotionnelles, environnementales (Clark & Chalmers, 1998 ; Varela, Thompson & Rosch, 1993). L'analyse de la cognition humaine ne peut faire l'économie du système corps-esprit-contexte dans lequel les comportements sont réalisés.

Des sept textes que comporte ce dossier, les deux premiers, d'ordre plus théorique, traitent des modèles de la psychologie cognitive du développement et les suivants présentent quant à eux des travaux en arithmétique, géométrie, lecture (aide à l'apprentissage et lecture d'hypertextes) et musique.

Pour les tenants de la psychologie évolutionniste, le développement peut s'expliquer à partir de modules cognitifs préformés dès la naissance, indépendants et spécialisés, prêts à fonctionner. Une telle position innéiste et modulariste stipule que des troubles de fonctionnement peuvent apparaître dans tel ou tel domaine alors que d'autres formes de fonctionnement seraient totalement préservées. Annette Karmiloff-Smith et Mickaël Thomas s'opposent à cette conception et soutiennent une théorie dite *neuro-constructiviste* pour rendre compte du fonctionnement normal et des troubles cognitifs, convoquant et réinterprétant un grand nombre de travaux en psychologie du développement (par exemple, le traitement des visages chez les nourrissons). Selon ces auteurs, l'ontogenèse n'est que l'aboutissement d'interactions dynamiques et complexes entre le développement cérébral et l'environnement fournisseur de *stimuli*. Autrement dit, l'environnement façonne progressivement certains circuits cérébraux qui vont se spécialiser au cours du développement. Les auteurs défendent ainsi l'idée d'un développement dépendant d'une plasticité « neuro-constructiviste ».

Claude Bastien et Mireille Bastien-Toniazzo retracent l'évolution des modèles du développement cognitif depuis les travaux piagétiens. Ils insistent notamment sur l'influence du contexte dans lequel s'effectue un apprentissage pour comprendre le fonctionnement de l'individu. La position défendue est que les connaissances sont organisées par les contextes où elles sont utilisées et structurées de façon fonctionnelle et non en fonction de leurs propriétés formelles. Les auteurs proposent d'envisager l'analyse de l'activité du sujet qui apprend à partir des connaissances qu'il a effectivement utilisées. Ils

soulignent le rôle déterminant dans l'acquisition de nouvelles connaissances des « précurseurs » ou connaissances fonctionnelles antérieures, et examinent le lien entre connaissances nouvelles et connaissances antérieures.

Annie Magnan, Jean Écalle et Évelyne Veuillet défendent l'idée selon laquelle les difficultés de lecture de certains enfants dyslexiques sont liées à une organisation phonétique des représentations phonémiques déficitaires. Ils formulent l'hypothèse que l'origine de ce déficit est due à un dysfonctionnement des *Voies auditives descendantes* (VAD) qui, chez ces enfants, filtreraient mal l'information auditive, ce qui les conduirait à des difficultés de discrimination de phonèmes s'opposant sur le trait phonétique de voisement. Ils mettent en évidence l'efficacité d'un entraînement audio-visuel intensif à la discrimination de phonèmes sur les performances en identification catégorielle, en identification de mots et également sur le fonctionnement des VAD.

Comment peut-on expliquer qu'un certain pourcentage d'enfants, certes réduit, éprouvent des difficultés majeures en calcul ? Nicolas Molko, Anne Wilson et Stanislas Dehaene présentent la dyscalculie développementale comme un ensemble de « difficultés inhabituelles dans l'apprentissage de l'arithmétique qui ne peuvent pas être expliquées par un manque d'intelligence, une scolarité inappropriée ou un manque de motivation ». À la lumière de travaux récents utilisant les techniques d'imagerie cérébrale fonctionnelle, les auteurs examinent l'hypothèse neuroanatomique d'un dysfonctionnement de certains circuits neuronaux affectés à la gestion des nombres. Est-ce que la dyscalculie est irréversible ? Non, répondent les auteurs qui insistent sur le concept de plasticité cérébrale et proposent l'utilisation de logiciels d'aide à l'apprentissage, ludiques, utilisés de façon intensive et qui ont la particularité de s'adapter aux difficultés de l'enfant.

Le travail présenté par René Baldy, Claude Devichi, Florence Aubert, Valérie Munier, Hélène Merle, Jean-Michel et Jean-François Favrat s'intéresse à la façon dont les élèves apprennent le concept d'angle et dont les enseignants abordent cette notion à l'école élémentaire. Poursuivant l'objectif de concilier deux approches épistémologiques et méthodologiques distinctes, cette étude se réfère d'une part, à des résultats issus de recherches scientifiques, et d'autre part à des techniques d'enseignement élaborées par des didacticiens et issues de la pratique. Le défi des auteurs – psychologues cognitivistes du

développement et didacticiens de la physique et des mathématiques – est d’articuler des approches dont les buts diffèrent : l’une centrée sur l’étude des processus d’acquisition de connaissances en situation scolaire (ici la notion d’angle), l’autre axée sur l’élaboration de techniques pédagogiques efficaces. Les auteurs eux-mêmes soulignent les difficultés à la fois théoriques et méthodologiques d’une telle entreprise et notamment celles liées à l’évaluation scientifique des effets d’une technique pédagogique. Ce type de démarche a le mérite de montrer que les deux approches, loin de s’opposer, s’alimentent. Si les modèles du développement cognitif peuvent contribuer à une meilleure compréhension des situations d’enseignement, les travaux en didactique contribuent à l’élaboration de nouvelles problématiques en psychologie cognitive.

Barbara Tillman, François Madurell, Philippe Lalitte et Emmanuel Bigand rappellent qu’être non-musicien (ne pas avoir « appris » la musique) n’implique pas l’absence totale de connaissances dans le domaine. En effet, les travaux sur la cognition musicale montrent que l’exposition quotidienne à différentes musiques développe des connaissances implicites plus riches que ce que l’on peut imaginer. La question abordée concerne également l’apprentissage et l’enseignement de la musique à l’école et au conservatoire. Pour une meilleure compréhension de la musique contemporaine souvent considérée comme difficile d’accès, les auteurs suggèrent l’utilisation d’outils multimédias afin de mieux percevoir les structures musicales et leur enchaînement propres à cette musique.

Dans le cadre de leurs activités pédagogiques notamment, les élèves consultent de plus en plus des documents sur Internet. Quels problèmes cognitifs sont soulevés par ce mode récent d’acquisition des connaissances ? Jean-François Rouet répond à cette question en présentant d’abord les concepts-clés en psychologie cognitive de la compréhension. Il s’attache ensuite à expliciter l’ergonomie générale de la lecture sur écran puis à analyser la compréhension des réseaux hypertextes (informations textuelles, imagées et sonores de documents composites). Il présente enfin l’intégration multimédia proprement dite.

Un certain nombre des travaux présentés insistent sur l’apport des neurosciences à l’explication des troubles d’apprentissage. Ce type d’approche ne se satisfait pas d’un débat suranné mais classique opposant le domaine « médical » au domaine « péda-

gogique ». Il paraît difficile d’ignorer les phénomènes de plasticité cérébrale : l’observation des sources de difficultés expliquées par des anomalies cérébrales ne doit pas faire abdiquer les praticiens de l’éducation au profit d’interventions relevant exclusivement du domaine médical. Dans ce sens, Ramus (2005) répond à une croyance fortement répandue dans les milieux français de l’éducation selon laquelle la dyslexie n’existerait pas et que les seules causes de difficultés de lecture seraient sociales ou pédagogiques. Et il explique bien qu’une telle position est en totale contradiction avec les travaux scientifiques effectués dans le domaine considéré.

Peut-on dès lors parler de « neuropédagogie » (Houdé, 2005), à l’instar de termes émergents comme « neuromarketing », « neuroéconomie », etc. ? Si l’expression est, sans conteste, intellectuellement stimulante et constitue même un pari, les travaux des neurosciences se trouvent à l’aube de découvertes certes prometteuses mais encore trop peu avancées pour véritablement permettre de penser que les actes pédagogiques pourraient directement s’appuyer sur les données neuroanatomiques. À notre sens, une certaine prudence s’impose.

Entre la complexité, dont l’étude constitue un objectif intellectuellement captivant mais scientifiquement inopérant et le réductionnisme, position scientifiquement efficace mais souvent combattue pour sa visée trop étroite – on n’étudie plus la cellule avec une loupe ! –, reste une approche réductionniste « partagée » où des sciences viennent conjointement apporter leurs méthodologies et technologies propres pour étudier des phénomènes complexes intéressant le domaine de l’éducation. Tel est l’apport des sciences cognitives à la connaissance des apprentissages et de leurs troubles, pour notamment expliquer les processus cognitifs en jeu et leurs dysfonctionnements et proposer des aides aux apprentissages pour les élèves, des aides à l’enseignement pour les professionnels de l’éducation.

La communication entre chercheurs et praticiens reste souvent difficile, sans doute à cause de l’absence de véritables structures institutionnelles. Il est bien clair que les travaux scientifiques ne constituent pas en soi des approches didactiques. Ils peuvent, dans le meilleur des cas, susciter une réflexion pédagogique. Un décalage important semble s’être instauré entre, d’une part, la publication de résultats de recherche et leur utilisation éventuelle par les praticiens (Ramus, 2005) et, d’autre part, l’utilisation d’une technique pédagogique et son évaluation expé-

rimentale. Une rupture profonde est souvent invoquée pour faire état du désintérêt réciproque des chercheurs et des personnes « du terrain ». « Dans le domaine de l'éducation et de la formation, l'opposition sans cesse réitérée entre théorie et pratique et, partant entre chercheurs et praticiens, relève sans doute moins d'une réflexion épistémologique que d'une méconnaissance mutuelle, vraisemblablement assez profonde, de leurs activités respectives. Les arguments utilisés pour justifier cette opposition sont souvent proches de la saturation idéologique » (Monteil, 1990, p. 26). Quoi qu'il en soit, les travaux scientifiques peuvent éclairer le praticien dans son domaine d'activité à condition que le chercheur veille à mettre à son service, quand cela est possible, les résultats pouvant éclairer le fonctionnement humain.

Nous espérons avoir montré dans ce dossier que comprendre les fonctionnement et dysfonctionnement des processus d'apprentissage chez l'enfant nécessite d'intégrer les travaux dans une approche interdisciplinaire. Une telle démarche a été récemment entreprise par Gentaz et Dessus (2004) et Kail et Fayol (2003) qui exposent les résultats de recherches en sciences cognitives appliquées à l'éducation.

L'inscription de la psychologie cognitive dans les sciences cognitives a facilité d'indispensables collaborations : par exemple avec les neurosciences pour

le développement de techniques d'imagerie cérébrale, avec la neuropsychologie cognitive pour la méthode d'études de cas unique, avec la linguistique pour étudier le poids des contraintes linguistiques sur l'acquisition du langage, avec les sciences de l'ingénieur pour la formalisation de nouveaux modèles et l'élaboration de systèmes d'aides à l'apprentissage. Dans ce contexte, la psychologie cognitive du développement laisse sans doute apercevoir des travaux très prometteurs qui alimenteront la recherche fondamentale et la recherche appliquée, inévitables supports de réflexion et d'engagement chez les chercheurs et chez les praticiens (Écalle & Magnan, 2002).

Nous remercions les rédacteurs en chef de la *Revue française de pédagogie* de nous avoir confié la tâche difficile, mais ô combien passionnante, de coordonner ce numéro thématique sur l'apport des sciences cognitives aux problèmes éducatifs et toute notre reconnaissance va également aux auteurs qui ont accepté d'y contribuer.

Jean Écalle
jean.ecalle@univ-lyon2.fr

Annie Magnan
annie.magnan@univ-lyon2.fr

Laboratoire d'étude des mécanimes cognitifs (LEMC)
UMR 5596, CNRS-université Lumière-Lyon 2

NOTE

(1) Pour une présentation accessible aux non-spécialistes, on peut se reporter au dossier synthétique de la revue *Sciences Humaines*, 2002 : « les sciences de la cognition ».

BIBLIOGRAPHIE

ANDERSON J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge : Cambridge University Press.

CLARK A. & CHALMERS D. J. (1998) « The extended Mind », *Analysis*, vol. 58, n° 1, p. 10-23.

DAMASIO A. (2003) *Spinoza avait raison*. Paris : O. Jacob

DEHAENE S. (1997). *Le cerveau en action : imagerie cérébrale fonctionnelle en psychologie cognitive*. Paris : PUF.

DEMETRIOU A. & RAFTOPOULOS A. [éd.] (2004). *Cognitive developmental change : Theories, models and measurement*. Cambridge : Cambridge University Press.

ECALLE J. & MAGNAN A. (2002). *L'apprentissage de la lecture : fonctionnement et développement cognitifs*. Paris : A. Colin.

EDELMAN G. M. (1992). *Biologie de la conscience*. Paris : O. Jacob

- FODOR J. (1983). *La modularité de l'esprit*. Paris : Éd. de Minuit.
- GENTAZ E. & DESSUS P. (2004). *Comprendre les apprentissages : sciences cognitives et éducation*. Paris : Dunod.
- HOUDÉ O. (2005) « Pour une neuropédagogie cognitive ». Communication au *Forum des éditions Retz* : « L'école et l'intelligence » ; Paris, 9 mars 2005.
- HOUDÉ O. ; KAYSER D. ; KOENIG O. ; PROUST J. & RASTIER F. (1998). *Vocabulaire des sciences cognitives*. Paris : PUF.
- HOUDÉ O. ; MAZOYER B. & TZOURIO-MAZOYER N. (2002). *Cerveau et psychologie : introduction à l'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle*. Paris : PUF.
- KAIL M. & FAYOL M. (2003). *Les sciences cognitives et l'école*. Paris : PUF.
- LAUTREY J. (2003). « La psychologie différentielle à l'épreuve de la variabilité intra-individuelle ». In A. Vom Hofe, H. Charvin, J. -L. Bernaud, & D. Guédon (éd.), *La Psychologie différentielle : recherches et réflexions* Rennes : Presses universitaires de Rennes, p. 9-28.
- LAUTREY J. ; MAZOYER B. & GEERT P. van [dir.] (2002). *Invariants et variabilité dans les sciences cognitives*. Paris : Éd. de la Maison des sciences de l'homme.
- LÉCUYER R. (2004). *Le développement du nourrisson*. Paris : Dunod.
- NEWELL A. & SIMON H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs : Prentice-Hall
- MONTEIL J.-M. (1990). *Éduquer et former : perspectives psycho-sociales*. Grenoble : PUG.
- MUNAKATA Y. & MCCLELLAND J. (2003). « Connectionist models of development ». *Developmental Science*, vol. 6, n° 4, p. 413-429.
- RAMUS F. (2005). « De l'origine biologique de la dyslexie ». *Psychologie & éducation*, vol. 60, n° 1, p. 81-96.
- Sciences Humaines* (2002). « Les sciences de la cognition », n° hors-série.
- VARELA F. J. (1989). *Connaître : les sciences cognitives : tendances et perspectives*. Paris : Éd. du Seuil.
- VARELA F. ; THOMPSON E. & ROSCH E. (1993) *L'inscription corporelle de l'esprit : sciences cognitives et expérience humaine*. Paris : Éd. du Seuil.