

Développement cognitif et fonctions exécutives : inhibition et "faux négatifs"

Olivier Houdé

Résumé

Les "faux négatifs" désignent les cas où les psychologues concluent erronément que les enfants – dans certains cas, les adultes – en échec dans une tâche sont incompetents par rapport à la notion testée. L'objectif de cet article est de montrer, à propos de la construction du nombre et du raisonnement logique, que l'une des façons de régler le problème des faux négatifs est d'analyser les erreurs non seulement en termes de capacités d'activation des compétences cognitives, mais aussi en termes de capacités d'inhibition. Il en ressort une autre conception de l'erreur et, par conséquent, du développement cognitif.

Mots clés : développement cognitif, fonctions exécutives, inhibition, faux négatifs, nombre, raisonnement logique.

Key words: cognitive development, executive functions, inhibition, false negatives, number, logical reasoning.

Adresse de correspondance : Pr. Olivier Houdé, Equipe Développement et Fonctionnement Cognitifs, Groupe d'Imagerie Neurofonctionnelle (GIN), UMR 6095, CNRS, CEA, Universités de Caen et Paris 5, Sorbonne, 46, rue Saint-Jacques, 75005 Paris, France
(e-mail : olivier.houde@paris5.sorbonne.fr).

INTRODUCTION

En psychologie du développement cognitif, l'erreur dans une tâche est l'indicateur d'un niveau N de fonctionnement (ou stade) et sa disparition marque le passage à un niveau N+1 ; et cela de façon récurrente dans des domaines de complexité croissante. Classiquement, on considère qu'en N, la notion testée par la tâche (permanence de l'objet, nombre, logique des classes, déduction, etc.) n'est pas encore maîtrisée, d'où l'erreur observée, alors qu'elle l'est en N+1. C'est ainsi que Jean Piaget et les néopiagétiens (Houdé, 2000a, pour une synthèse) ont décrit le développement cognitif par une succession d'erreurs spécifiques (à chaque âge son erreur) : par exemple, l'erreur dite "A-non-B" chez le bébé pour la permanence de l'objet, l'erreur de "non-conservation" chez l'enfant pour le nombre, etc. Cette conception, largement répandue, coïncide avec l'idée que l'on se fait classiquement du développement de l'enfant et du progrès en général. Elle se heurte toutefois à un problème de *diagnostic* délicat pour le psychologue (et l'éducateur) : celui des "faux négatifs" (voir Gelman, 1997). Il s'agit de la tendance à conclure erronément que les enfants – dans certains cas, les adultes – en échec dans une tâche sont incompetents par rapport à la notion testée (donc qu'ils sont au niveau N et pas encore N+1). L'objectif de cet article est de montrer, à propos de la construction du nombre et du raisonnement logique, que l'une des façons de régler le problème des faux négatifs est d'analyser les erreurs, non seulement en termes de capacités d'activation des compétences cognitives, mais aussi en termes de capacités d'inhibition (Houdé, 1995b, 2000b) – l'inhibition étant sans doute "la fonction exécutive cardinale". Il en ressort une autre conception de l'erreur et, par conséquent, du développement cognitif¹.

1. Les idées présentées ici sont également développées dans un article en anglais qui vient de paraître dans la revue *Cognitive Development* (Houdé, 2000a), ainsi que dans le chapitre VII de l'ouvrage *L'esprit piagétien*, paru aux Presses Universitaires de France (Houdé et Meljac, 2000).

LE NOMBRE

Dans le domaine de la construction du nombre, les recherches post-piagésiennes (depuis l'étude princeps de Mehler et Bever, 1967 ; voir aussi Gelman, 1972 ; Gelman et Gallistel, 1978) ont révélé l'existence de compétences précoces, ignorées par Piaget (Houdé et Dehaene, 1998). Des études récentes ont ainsi montré que les bébés de quatre-cinq mois, observés au niveau de leur fonctionnement oculomoteur (temps de fixation visuelle), sont capables de détecter la transgression ou la "conservation" du nombre lorsqu'on leur présente des événements numériques impossibles ou possibles (Wynn, 1992, 1995, 1998) – les contrôles effectués par Wynn semblent bien indiquer que le traitement de l'information numérique réalisé par le bébé repose sur un processus analytique de "calcul précis" et non sur un processus de traitement perceptif global ou holistique. Et l'objection d'un traitement non numérique fondé sur l'identité et (ou) la localisation spatiale des objets a été expérimentalement réfutée (Dehaene, Dehaene et Cohen, 1998 ; Koechlin, Dehaene et Mehler, 1998 ; Simon, Hespos et Rochat, 1995)². Il a par ailleurs été montré, à partir d'une adaptation du paradigme de Wynn, que ces compétences précoces se réorganisent au niveau cognitivo-linguistique, par un mécanisme de "redescription représentationnelle" (concept emprunté à Karmiloff-Smith, 1992), et se retrouvent chez l'enfant de trois-quatre ans (Houdé, 1997a). Comment expliquer alors l'erreur de l'enfant de cet âge dans l'épreuve piagésienne de conservation du nombre (Piaget et Szeminska, 1941) où, devant deux rangées de jetons en nombre égal mais de longueur différente (à l'issue de l'écartement des jetons de l'une des deux), il considère qu'il y en a plus là où c'est plus long ?

On connaît l'interprétation de Piaget selon laquelle l'enfant d'âge préscolaire serait encore fondamentalement intuitif, "préopératoire" (le niveau N dans la construction des opérations concrètes), c'est-à-dire

2. Voir aussi les données de Brannon et Terrace (1998) sur la capacité non verbale des singes rhésus à ordonner précisément des ensembles numériques de 1 à 9 objets, *indépendamment de leurs caractéristiques physiques de taille, de forme et de couleur*.

limité à un processus perceptif global et holistique de traitement de l'information (fondé ici sur la longueur ou, dans certains cas, sur la densité). Il n'aurait donc pas encore acquis les capacités numériques lui permettant un processus analytique précis ($N+1$), d'où son erreur préopératoire (et le stade du même nom). Les recherches nouvelles qui viennent d'être évoquées conduisent à douter de cette interprétation et à dénoncer un cas de faux négatif. L'épreuve de conservation du nombre n'est-elle pas, avant tout, une épreuve d'interférence nombre/longueur critique de la capacité à inhiber le schème visuo-spatial "longueur = nombre" (une heuristique de quantification souvent pertinente et encore utilisée par l'adulte) ? En accord avec Dempster (1995, p. 15), il semble bien que "les situations de conservation et d'inclusion des classes ont plus à voir avec la capacité à résister aux interférences qu'avec la capacité de l'enfant à comprendre la logique [opératoire] sous-jacente" (notre traduction). C'est ce que nous avons récemment démontré à partir d'une adaptation de la tâche numérique de Piaget selon une procédure chronométrique d'amorçage négatif (Houdé et Guichart, sous presse). Le principe est (1) de faire résoudre à l'enfant de huit-neuf ans (conservant selon la théorie piagétienne) une tâche de type Piaget (où, par hypothèse, il doit inhiber la stratégie "longueur = nombre") et (2) de lui présenter, juste après, une situation où longueur et nombre covarient (c'est-à-dire où il doit activer la stratégie qu'il vient d'inhiber). Les résultats indiquent que, dans ce dernier cas, l'enfant (d'école primaire cette fois) met un peu plus de temps (exactement 158 millisecondes) pour répondre – par rapport à une situation contrôle dans laquelle il n'a pas dû d'abord résoudre la tâche de type Piaget. Ce décalage de temps, statistiquement significatif, appelé depuis Tipper (1985) "l'amorçage négatif" (voir également Houdé, 1999a ; Neill, Valdes et Terry, 1995), est la démonstration expérimentale du fait que l'enfant a bien dû inhiber, bloquer, la stratégie longueur = nombre pour réussir la tâche de type Piaget (d'où le temps supplémentaire qu'il met à débloquer cette stratégie quand elle devient pertinente). Ce résultat est cohérent avec de récentes simulations informatiques de l'acquisition de la conservation du nombre par des réseaux neuronaux (Shultz, 1998) qui mettent l'accent (1) sur l'apprentissage par corrélation du biais de la longueur (longueur = nombre) dans le développement cognitif de l'enfant (la longueur étant sou-

vent un indicateur pertinent du nombre, notamment dans le contexte des additions et des soustractions) et, par conséquent, (2) sur la forte compétition entre stratégies dans la tâche de Piaget.

Pour Gelman (1997 ; voir aussi Houdé, 1995a ; Houdé et Dehaene, 1998), même si la compétence et la planification conceptuelle sont à leur plus haut niveau ($N+1$) et conduisent à la génération d'un plan d'action adéquat pour leur but, il est néanmoins possible que la performance numérique de l'enfant corresponde à une erreur (de niveau N) ; la demande en termes de processus de traitement de l'information peut être supérieure à ses possibilités. Selon notre analyse, cette demande (ou charge) cognitive doit aussi être spécifiquement considérée – du point de vue exécutif – en termes de processus d'inhibition.

LE RAISONNEMENT LOGIQUE

Dans le domaine du raisonnement, les activités inférentielles qui fondent la déduction – et son exigence de nécessité – ont fait l'objet de recherches nombreuses chez l'adolescent et chez l'adulte. Confirment-elles la compétence déductive de "l'esprit-logique" décrit par Piaget (le stade "opératoire formel" ; Inhelder et Piaget, 1955) ? Il semble que non ! (Evans, Newstead et Byrne, 1993 ; Houdé et Miéville, 1993). Ce sont les travaux relatifs aux erreurs ou biais de raisonnement qui font ressortir avec le plus de force l'apparente "irrationalité" de l'adolescent et de l'adulte (Evans, 1989, 1998). En fait, Evans et Over (1997) distinguent deux formes de rationalité : la Rationalité 1 est une forme de *everyday reasoning* que les sujets utilisent pour atteindre leurs buts sans chercher à se conformer à une théorie normative (la logique classique) ; la Rationalité 2 correspond à la compétence déductive (telle qu'étudiée par Piaget : le niveau $N+1$ dans la construction des opérations formelles). Et c'est au niveau de la Rationalité 1 que s'insèrent les biais de raisonnement (par rapport à la Rationalité 2). Il s'agit de tendances systématiques à prendre en considération des facteurs non pertinents (de niveau N) pour la tâche à résoudre et à ignorer les facteurs logiquement pertinents.

L'un des biais classiques du fonctionnement déductif est le biais d'appariement perceptif qui affecte le raisonnement propositionnel lors de tâches de réfutation ou de vérification de règles conditionnelles : si p (antécédent), alors q (conséquent). Pour l'exemple de la règle à réfuter "S'il n'y a pas de carré rouge à gauche, alors il y a un cercle jaune à droite", ce biais consiste à préférer les éléments cités dans la règle considérée (d'où la réponse erronée "carré rouge à gauche, cercle jaune à droite", soit antécédent faux et conséquent vrai : FV) et à négliger les éléments logiquement pertinents (une situation de type VF : par exemple, carré bleu et losange vert) dès lors qu'ils ne sont appariés ni à l'antécédent ni au conséquent. [Le biais d'appariement est également induit par la présence d'une négation dans l'antécédent, la *not-heuristic* (selon le terme d'Evans, 1989) dirigeant l'attention du sujet sur la proposition qui est niée.]

Face à ce constat d'erreur, faut-il conclure que l'essence du raisonnement humain est heuristique (Rationalité 1), non conforme aux canons de la logique (Rationalité 2), et que la compétence déductive est condamnée à être court-circuitée par des biais cognitifs (conclusion de psychologues et philosophes contemporains ; une fois encore en termes de $N/(N+1)$) ? Les données de recherches de psychologie cognitive et d'imagerie cérébrale fonctionnelle utilisant une méthode d'apprentissage expérimental à l'inhibition (Houdé, 1997b ; Houdé et al., 1999 ; Houdé et Moutier, 1996, 1999 ; Houdé et al., 2000) indiquent, au contraire, qu'on est à nouveau, chez l'adulte cette fois, en présence d'un cas de faux négatif. En effet, une "présomption de Rationalité 2" (concept emprunté à la philosophie de l'esprit ; voir Engel, 1993) est justifiée, dans la mesure où les biais qui sous-tendent les erreurs de raisonnement ne relèvent pas d'un défaut de déduction *en tant que telle*, mais d'un défaut spécifique d'inhibition d'une forme de Rationalité 1 : l'appariement perceptif. Les contrôles n'indiquent pas d'effet d'un apprentissage expérimental à la logique – sans composante exécutive d'inhibition –, ni d'une procédure de test-retest. Seul est observé un effet (réponse logique en post-test après un biais en pré-test) de l'apprentissage à l'inhibition de l'appariement perceptif [ce n'est donc ni la logique ou Rationalité 2 ($N+1$), ni la pratique (test-retest) qui font défaut en pré-test]. Les clichés d'imagerie cérébrale fonctionnelle (Houdé et al., 1999, 2000) mettent en

évidence un net *shifting* de la partie postérieure du cerveau (un réseau perceptif à la fois ventral et dorsal en pré-test) à un réseau préfrontal gauche lorsque ce contrôle inhibiteur se met en place (post-test). Donc, ici aussi, comme pour le nombre chez l'enfant, c'est l'inhibition qui déclenche la flexibilité cognitive – son efficacité, au cours du développement, étant *domain- and age-specific*.

UNE NOUVELLE CONCEPTION DE L'ERREUR ET DU DÉVELOPPEMENT COGNITIF

L'interprétation en terme d'inhibition apporte donc un modèle alternatif des tâches cognitives qui permet "d'éradiquer" les faux négatifs (Gelman, 1997) et de rendre aux phénomènes observés (erreurs, biais, etc.) leur complexité (variabilité intra-individuelle des stratégies, compétition et sélection). Comme nous l'avons vu pour les exemples du nombre chez l'enfant et du raisonnement logique chez l'adulte, tout porte à croire que les erreurs lors de situations pièges, piagétienne ou autres, relèvent de déficits exécutifs d'inhibition et non de l'absence de capacités cognitives *per se* (voir aussi Diamond, 1991, 1998 ; et Houdé, 1996, pour une analyse du même type à propos de l'erreur A-non-B dans la construction de l'objet chez le bébé). Mais les changements exécutifs ne font-ils pas eux-mêmes partie du développement cognitif, ce que Russell (1999, 2000) appelle la *compétence exécutive* (ou *agency*) ? De notre point de vue (Houdé, 1999b), il est essentiel d'établir ici une distinction claire entre le développement *cognitif* (qui est beaucoup plus rapide que ne le pensait Piaget) et le développement *métacognitif*, le second s'appliquant au premier à certains moments clés du développement ou de l'apprentissage [une distinction introduite par Flavell dès 1979 ; voir aussi la typologie des schèmes selon Pascual-Leone (1988) : figuratifs, opératifs et *exécutifs*]. En accord avec Perner (1998, 1999), les changements exécutifs sont métacognitifs, et non pas cognitifs, dans le sens où le contrôle inhibiteur et le *set-shifting* dépendent d'une méta-représentation de l'acte habituel comme inadapté (l'heuristique de quantification longueur = nombre, l'appariement perceptif, etc.), c'est-à-dire localement inadéquat (*misleading*). Ainsi, l'interprétation en termes de

déficit d'inhibition apporte une solution *métacognitive-exécutive* au problème *cognitif* des faux négatifs.

La solution de l'énigme du développement pourrait donc être à chercher, pour une bonne part, du côté de l'inhibition, et non pas, comme le pensait Piaget, du côté de la seule coordination ou co-activation des schèmes. Mais alors, cela revient-il à dire que les compétences de l'enfant sont présentes dès la naissance [comme l'ont avancé Descartes, Fodor (1983), etc.] et que seul se développe le jeu d'activation et d'inhibition qui conduit à les utiliser adéquatement (éviter les erreurs, les biais) selon les situations rencontrées (des règles pour la direction de l'esprit dirait Descartes) ? Non ! Le constat de compétences précoces chez le bébé, s'il peut amener à reconnaître le caractère inné de certaines d'entre elles [connaissances initiales (Spelke, 1994), *skeletal structures* (Gelman, 1997), contraintes innées (Elman et al., 1996)], conduit aussi et surtout à retenir l'idée de mécanismes de raisonnement physique, arithmétique et logique (Baillargeon, 1995, 2000 ; Langer, 2000 ; Wynn, 1997) associés à une faculté très précoce d'apprentissage par la perception, notamment visuelle (Mandler, 1988, 1992), ou par les couplages perception-action (Mounoud, 1993). Mais l'essentiel n'est pas là. Le plus intéressant tient à ce que le cerveau humain, outre ses mécanismes innés, ses capacités puissantes d'apprentissage, de coordination, de redescription représentationnelle (Karmiloff-Smith, 1992), etc., est simultanément une véritable "machine à erreurs", c'est-à-dire une sorte de jungle où les multiples compétences du "bébé intelligent", de l'enfant et de l'adulte, sont à *tout moment* susceptibles de se télescoper, d'entrer en compétition (en même temps qu'elles se construisent). D'où la nécessité d'un mécanisme *exécutif* de blocage tout aussi puissant : l'inhibition.

ABSTRACT

The term "false negatives" refers to cases where psychologists erroneously conclude that a child or an adult who fails on a given task is incompetent for the concept or notion being tested. The aim of this paper, which focuses on the construction of number and logical

reasoning, is to show that one way to alleviate the false negative problem is to analyze errors in terms of the inhibition capacity, not just the activation capacity. This analysis points out a new conception of error, and thus of cognitive development.

BIBLIOGRAPHIE

- Baillargeon, R. (1995). Physical reasoning in infancy. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (pp. 181-204). Cambridge, MA: MIT Press.
- Baillargeon, R. (2000). La connaissance du monde physique par le bébé. In O. Houdé & C. Meljac (Eds.), *L'esprit piagétien. Hommage international à Jean Piaget* (pp. 55-87). Paris: P.U.F.
- Brannon, E. M., & Terrace, H. S. (1998). Ordering of the numerosities 1 to 9 by Monkeys. *Science*, 282, 746-749.
- Dehaene, S., Dehaene, G., & Cohen, L. (1998). Abstract representations of numbers in the animal and human brain. *Trends in Neurosciences*, 21, 355-361.
- Dempster, F. N. (1995). Interference and inhibition in cognition. An historical perspective. In F. N. Dempster & C. J. Brainerd (Eds.), *Interference and inhibition in cognition* (pp. 3-26). New York: Academic Press.
- Diamond, A. (1991). Neuropsychological insights into the meaning of object concept development. In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind. Essays on biology and cognition* (pp. 67-110). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Diamond, A. (1998). Understanding the A-not-B error. Working memory vs. reinforced response, or active trace vs. latent trace. *Developmental Science*, 1, 185-189.
- Elman, J. L., Bates, E. A., Johnson, M. H., Karmiloff-Smith, A., Parisi, D., & Plunkett, K. (1996). *Rethinking innateness. A connectionist perspective on development*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Engel, P. (1993). Philosophie de la pensée logico-mathématique. Logique, raisonnement et normes de la rationalité. In O. Houdé & D. Miéville (Eds.), *Pensée logico-mathématique* (pp. 205-228). Paris: P.U.F.
- Evans, J. St. B. T. (1989). *Biases in human reasoning*. Hove and London: Lawrence Erlbaum.
- Evans, J. St. B. T. (1998). Matching bias in conditional reasoning. *Thinking and Reasoning*, 4, 45-82.
- Evans, J. St. B. T., Newstead, S. E., & Byrne, R. (1993). *Human reasoning. The psychology of deduction*. Hove and London: Lawrence Erlbaum.

- Evans, J. St. B. T., & Over, D. E. (1997). Rationality in reasoning. The problem of deductive competence. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, 16, 3-38.
- Flavell, J. (1979). Metacognition and cognitive monitoring. A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34, 906-911.
- Fodor, J. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gelman, R. (1972). The nature and development of early number concepts. In H. W. Reese (Ed.), *Advances in child development and behavior* (pp. 115-167). New York: Academic Press.
- Gelman, R. (1997). Constructing and using conceptual competence. *Cognitive Development*, 12, 305-313.
- Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Houdé, O. (1995a). The concept of number, the principles-before-skills hypothesis, and the know-when in numerical reasoning. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, 14, 732-737.
- Houdé, O. (1995b). *Rationalité, développement et inhibition. Un nouveau cadre d'analyse*. Paris: P.U.F.
- Houdé, O. (1996). Erreur A-non-B, inhibition et cortex préfrontal. *Revue de Neuropsychologie*, 6, 329-346.
- Houdé, O. (1997a). Numerical development: From the infant to the child. Wynn's (1992) paradigm in 2- and 3-year-olds. *Cognitive Development*, 12, 373-391.
- Houdé, O. (1997b). The problem of deductive competence and the inhibitory control of cognition. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, 16, 108-113.
- Houdé, O. (1999a). Attention sélective, développement cognitif et contrôle inhibiteur de l'information. In G. Netchine-Grynberg (Ed.), *Développement et fonctionnement cognitifs* (pp. 181-195). Paris: P.U.F.
- Houdé, O. (1999b). Executive performance/competence, and inhibition in cognitive development. *Developmental Science*, 2, 273-275.
- Houdé, O. (2000a). La genèse de la cognition. L'esprit piagétien et les perspectives actuelles. In O. Houdé & C. Meljac (Eds.), *L'esprit piagétien. Hommage international à Jean Piaget* (pp. 127-148). Paris: P.U.F.
- Houdé, O. (2000b). Inhibition and cognitive development. Object, number, categorization, and reasoning. *Cognitive Development*, 15, 63-73.
- Houdé, O., & Dehaene, S. (1998). Nombre: Psychologie et neuroscience. In O. Houdé, D. Kayser, O. Koenig, J. Proust, & F. Rastier (Eds.), *Vocabulaire de sciences cognitives* (pp. 282-289). Paris: P.U.F.
- Houdé, O., & Guichart, E. (sous presse). Negative priming effect after inhibition of number/length interference in a Piaget-like task. *Developmental Science*, 3.

- Houdé, O., Mazoyer, N., Zago, L., Mellet, E., Moutier, S., Beaudouin, V., Lochon, P., Perchey, G., & Mazoyer, B. (1999). Neuroanatomy of cognitive inhibition in a deductive reasoning task. *NeuroImage*, 9, 387.
- Houdé, O., & Meljac, C. (2000). *L'esprit piagétien. Hommage international à Jean Piaget*. Paris: P.U.F.
- Houdé, O., & Miéville, D. (1993). *Pensée logico-mathématique. Nouveaux objets interdisciplinaires*. Paris: P.U.F.
- Houdé, O., & Moutier, S. (1996). Deductive reasoning and experimental inhibition training. The case of the matching bias. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, 15, 409-434.
- Houdé, O., & Moutier, S. (1999). Deductive reasoning and experimental inhibition training. The case of the matching bias. New data and reply to Girotto. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, 18, 75-85.
- Houdé, O., Zago, L., Mellet, E., Moutier, S., Pineau, A., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2000). Shifting from the perceptual brain to the logical brain. The neural impact of cognitive inhibition training. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 721-728.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1955). *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent. Essai sur la construction des structures opératoires formelles*. Paris: P.U.F.
- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond modularity. A developmental perspective on cognitive science*. Cambridge: MIT Press.
- Koechlin, E., Dehaene, S., & Mehler, J. (1998). Numerical transformations in five-month-old human infants. *Mathematical Cognition*, 3, 89-104.
- Langer, J. (2000). The descent of cognitive development. *Developmental Science*, 3, 361-388.
- Mandler, J. (1988). How to build a baby. On the development of an accessible representational system. *Cognitive Development*, 3, 113-136.
- Mandler, J. (1992). How to build a baby, II. Conceptual primitives. *Psychological Review*, 99, 587-604.
- Mehler, J., & Bever, T. (1967). Cognitive capacity of very young children. *Science*, 158, 141-142.
- Mounoud, P. (1993). The emergence of new skills. Dialectic relations between knowledge systems. In G. J. P. Savelsbergh (Ed.), *The development of coordination in infancy* (pp. 13-46). Amsterdam: North-Holland.
- Neill, W. T., Valdes, L. A., & Terry, K. M. (1995). Selective attention and inhibitory control of cognition. In F. N. Dempster & C. J. Brainerd (Eds.), *Interference and inhibition in cognition* (pp. 207-261). New York: Academic Press.

- Pascual-Leone, J. (1988). Organismic processes for neo-Piagetian theories. In A. Demetriou (Ed.), *The neo-Piagetian theories of cognitive development* (pp. 25-64). Amsterdam: North-Holland.
- Perner, J. (1998). The meta-intentional nature of executive functions and theory of mind. In P. Carruthers & J. Boucher (Eds.), *Language and thought* (pp. 270-283). Cambridge: Cambridge University Press.
- Perner, J. (1999). Executive functions and theory of mind. Cognitive complexity or functional dependence? In P. D. Zelazo & J. W. Astington (Eds.), *Developing theories of intention. Social understanding and self-control* (pp. 133-152). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Piaget, J., & Szeminska, A. (1941). *La genèse du nombre chez l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux & Niestlé.
- Russell, J. (1999). Cognitive development as an executive process. *Developmental Science*, 2, 247-270.
- Russell, J. (2000). Développement cognitif et fonctions exécutives. "L'essentiel de Piaget". In O. Houdé & C. Meljac (Eds.), *L'esprit piagétien. Hommage international à Jean Piaget* (pp. 149-189). Paris: P.U.F.
- Shultz, T. R. (1998). A computational analysis of conservation. *Developmental Science*, 1, 103-126.
- Simon, T. J., Hespos, S. J., & Rochat, P. (1995). Do infants understand simple arithmetic? A replication of Wynn (1992). *Cognitive Development*, 10, 253-269.
- Spelke, E. (1994). Initial knowledge: Six suggestions. *Cognition*, 50, 431-445.
- Tipper, S. P. (1985). The negative priming effect: Inhibitory priming by ignored object. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 37A, 571-590.
- Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358, 749-750.
- Wynn, K. (1995). Origins of numerical knowledge. *Mathematical Cognition*, 1, 35-60.
- Wynn, K. (1997). Competence models of numerical development. *Cognitive Development*, 12, 333-339.
- Wynn, K. (1998). Psychological foundations of number. Numerical competence in human infants. *Trends in Cognitive Sciences*, 2, 296-303.