

# Contrôle inhibiteur et développement cognitif : perspectives actuelles

*Patrick Perret*

## Résumé

Cet article constitue une revue de question concernant les interrelations entre le contrôle inhibiteur et le développement cognitif chez l'enfant. La multiplication, depuis ces dix dernières années, des hypothèses explicatives du développement centrées sur les progrès du contrôle inhibiteur appelle une mise en perspective de ces travaux. Ils sont ici recensés à la lumière de trois questions centrales. La première concerne la nature du ou des processus en jeu dans le contrôle inhibiteur. La seconde concerne la mise à jour d'une évolution développementale de l'efficacité de ce contrôle. La troisième concerne les modalités d'influence du contrôle inhibiteur sur le développement cognitif dans son ensemble. Deux voies d'influence sont envisagées : (a) à travers son rôle dans l'accroissement des capacités fonctionnelles de la mémoire de travail et (b) à travers son rôle dans la résistance aux schèmes dits « dangereux » lors de la résolution des épreuves développementales.

**Mots clés :** développement cognitif, inhibition, contrôle exécutif, interférence, métacognition.

**Key words:** cognitive development, inhibition, executive control, interference, metacognition.

---

Adresse de correspondance : Université de Provence, Centre PSYCLÉ, 29  
avenue Robert Schuman, 13621 Aix-en-Provence cedex 1, France  
(e-mail: perretp@up.univ-aix.fr)

## INTRODUCTION

Depuis le début des années 1990, une attention renouvelée est portée à l'étude du processus d'inhibition dans les recherches sur le développement cognitif chez l'enfant. Conçue comme un processus de suppression de représentations en mémoire de travail (Hasher et Zacks, 1988), l'inhibition s'intègre dans le cadre plus général des mécanismes du contrôle cognitif attentionnel (Camus, 1996). L'objectif de cet article est de discuter les fondements empiriques et théoriques des relations aujourd'hui de plus en plus fréquemment avancées entre contrôle inhibiteur et développement cognitif.

À cette fin, l'article se compose de trois parties. La première présente les conceptions actuelles du processus d'inhibition. Elle examine notamment différentes hypothèses concernant la nature du processus en jeu, son rôle dans le contrôle des contenus représentationnels de la mémoire de travail, ainsi que les résultats expérimentaux attestant d'une augmentation de l'efficacité du processus avec l'âge. La seconde partie vise à préciser les modalités d'influence possibles des progrès du contrôle inhibiteur sur le développement cognitif dans son ensemble. Les propositions d'Houdé (1995, 2000a), qui confèrent à l'inhibition des schèmes familiers non pertinents un rôle central dans l'évolution des performances aux épreuves développementales, y sont discutées. Enfin, une troisième partie visera à montrer que les progrès du contrôle inhibiteur, tels qu'observés au cours du développement dans les situations dites « pièges », ne peuvent être expliqués par la seule perspective maturationale mais relèvent également d'un ajustement du domaine de validité des schèmes (Charron, 1998). En conséquence, nous suggérerons que la suite logique de l'investigation des liens entre contrôle inhibiteur et développement cognitif réside dans l'articulation avec les modèles développementaux centrés sur les progrès conceptuels sous-jacents à cet ajustement.

## LES CONCEPTIONS ACTUELLES DE L'INHIBITION

### La nature du processus d'inhibition

La plupart des modèles généraux du fonctionnement et du développement cognitif se sont historiquement focalisés, d'une part, sur l'organisation et la transformation des connaissances en mémoire à long terme, d'autre part, sur les ressources qui conditionnent leur activation en mémoire de travail. Pour Dempster (1991, 1992), ces deux dimensions ne permettent cependant pas, à elles seules, de rendre compte de la variabilité des performances (interindividuelle et développementale) parce qu'elles négligent un aspect essentiel du fonctionnement cognitif : la résistance à l'interférence. Dempster s'est attaché à montrer que la plupart des tâches utilisées classiquement en psychologie cognitive impliquaient pour le sujet de faire face à des phénomènes d'interférence. Ces phénomènes adviennent lorsqu'une ou plusieurs propriétés du contexte engendrent l'activation automatique de représentations non pertinentes pour la tâche à résoudre. Dès lors, la performance ne relèverait pas uniquement de la capacité à activer les représentations pertinentes, mais également de la capacité à désactiver les représentations non pertinentes. Pour Dempster, cette résistance à l'interférence est assurée par un processus de focalisation sélective de l'attention : l'inhibition.

Un ensemble d'arguments neuropsychologiques (voir Dempster, 1991, ou Clark, 1996, pour une synthèse de ces arguments) tend à associer le contrôle inhibiteur de la cognition au fonctionnement des lobes préfrontaux du cortex cérébral. On a en effet observé que les patients souffrant de lésions cérébrales frontales présentent un pattern de performance déficitaire à des tâches partageant toutes une même exigence de suppression de réponses dominantes (par exemple le test de Stroop, le Wisconsin Card Sorting Test ou le Trail Making Test, parmi les tâches les plus fréquemment citées). La région frontale de l'appareil cérébral constituant, à l'échelle de l'ontogenèse comme à celle de la phylogenèse, une des dernières à parvenir à maturation, son développement pourrait être intimement lié à celui des fonctions mentales supérieures, en ce qu'elle autoriserait un contrôle adaptatif des contenus de pensée et des

réponses comportementales qui leur sont associées (Bjorklund et Kipp, 2002 ; Bjorklund et Harnishfeger, 1995).

### Unité ou pluralité du processus d'inhibition

Etant donné la très large gamme de tâches et d'activités dans lesquelles la fonction d'inhibition a été (au moins en théorie) impliquée, la question de l'unité du processus est soulevée de manière récurrente. En d'autres termes, existe-t-il un processus unique responsable de tous les phénomènes observés ou bien une famille de processus partageant tous la même propriété fonctionnelle de suppression d'informations ? Plusieurs distinctions ont d'ores et déjà été proposées.

**Dempster (1991, 1992) : les différentes formes d'interférence.** Les formes d'interférence susceptibles d'affecter le fonctionnement cognitif sont multiples. Pour mieux appréhender cette diversité, Dempster a proposé de les distinguer selon leur dimension temporelle (pro-, rétro-, ou co-active) et selon leur source (interne versus externe). Les notions d'interférence pro-, rétro- et co-active renvoient à l'ordre temporel d'acquisition des représentations pertinentes et non pertinentes pour une tâche donnée<sup>1</sup>. La notion d'interférence externe ou interne renvoie, elle, à la source des représentations non pertinentes activées au cours de la résolution d'une tâche : cette source peut résider dans l'environnement perceptif (externe), ou dans la base de connaissance du sujet lui-même (interne).

L'identification de ces différentes formes d'interférence a conduit Dempster à s'interroger sur l'unité du processus permettant de leur résister : « *My guess is that there is a family of inhibitory mechanisms, each specialized to deal with somewhat different processing demands* » (1991, p. 108). Cette hypothèse d'une famille de processus d'inhibition en

1. Ces différents effets d'interférence ont été plus particulièrement identifiés dans le cadre des recherches sur les causes d'oubli en mémoire à court terme (Dempster, 1995).

charge des différentes formes d'interférence peut toutefois être discutée. Concernant la distinction portant sur la dimension temporelle de l'interférence, il existe un risque de confusion car les travaux sur l'oubli en mémoire à court terme ont largement utilisé les concepts « d'inhibition pro-active » et « d'inhibition rétro-active ». Mais l'inhibition désignait alors le *phénomène* observé de diminution de la rétention d'un matériel appris et non, comme c'est le cas aujourd'hui, le *processus* cognitif permettant de réduire ces phénomènes. Quelle que soit l'origine temporelle de l'interférence, la fonction de l'inhibition demeure identique (i. e. désactiver des représentations en mémoire de travail). Pourquoi, dès lors, postuler des processus distincts ?

Une analyse analogue peut être avancée concernant la distinction entre la source externe ou interne de l'interférence. L'information disponible dans l'environnement perceptif (qui correspond à la dimension externe de Dempster) ne devient interférente que lorsque sa représentation est activée en mémoire de travail. Les travaux sur l'attention sélective (voir Camus, 1996, pour une synthèse) convergent vers l'idée que les processus de sélection opèrent à un niveau central (celui de la représentation) et non périphérique (celui de l'information). Ainsi, que la représentation non pertinente ait pour origine une information perçue dans l'environnement extérieur ou soit le produit d'une diffusion endogène de l'activation via des réseaux de représentations associées, l'entité cognitive sur laquelle porte l'inhibition est toujours de même nature. À nouveau, il n'apparaît donc pas nécessaire de postuler des processus de contrôle distincts. Tipper et Driver (1988) ont apporté un argument expérimental important en faveur de cette conception. Les auteurs ont montré qu'un effet d'amorçage négatif<sup>2</sup> pouvait être obtenu malgré un changement dans la nature des stimuli (image versus mot) entre les items sources et les items cibles. Ce résultat tend à indiquer que l'inhibition ne porte pas sur l'information externe puisque son effet (l'amorçage négatif) est indépendant des propriétés de surface de cette information.

2. Voir plus loin pour une discussion plus détaillée du paradigme d'amorçage négatif.

**Harnishfeger (1995) : les différentes formes d'inhibition.** Indépendamment des distinctions introduites par Dempser sur le versant des formes d'interférence, Harnishfeger a également proposé de discriminer plusieurs formes d'inhibition en référence à deux nouvelles dimensions. La première oppose l'inhibition cognitive (qui porterait sur les représentations) à l'inhibition comportementale (qui porterait sur la programmation motrice des réponses). La seconde dimension opposerait une inhibition contrôlée et consciente à une inhibition automatique et inconsciente.

Les travaux de Logan (1985) ont invité à distinguer les formes cognitive et comportementale d'inhibition. Son dispositif expérimental, le « *stop-signal paradigm* », permet d'étudier le développement de l'inhibition comportementale en confrontant les participants à une tâche de suspension active d'une réponse motrice pré-programmée. Si Harnishfeger adhère à cette distinction, elle souligne toutefois qu'au-delà de ce type de dispositif spécifique, les deux formes d'inhibition pourraient être intimement liées dans la mesure où le blocage des réponses inadéquates dans une tâche est fréquemment sous-tendu par l'inhibition des représentations non pertinentes sur lesquelles se fonde la réponse du sujet. C'est en effet ce que semblent indiquer les travaux de Tipper et de ses collaborateurs. Tipper, McQueen et Brehaut (1988) ont montré qu'un effet d'amorçage négatif pouvait être observé dans un dispositif faisant pourtant varier la modalité de réponse entre les items sources et les items cibles (réponse verbale versus réponse manuelle), indiquant par là que l'inhibition opérerait bien en amont de la réponse motrice.

La seconde distinction opérée par Harnishfeger, entre inhibition automatique et contrôlée, apparaît discutable à deux points de vue. D'un point de vue théorique, l'idée même d'une inhibition automatique semble peu compatible avec le maintien d'une définition renvoyant à un processus de suppression *active* des représentations interférentes (Arbuthnott, 1995). D'un point de vue empirique, Harnishfeger illustre notamment l'hypothèse d'une forme automatique d'inhibition par un dispositif d'amorçage négatif sur une épreuve de Stroop. L'effet Stroop est le produit d'une compétition entre deux processus de traitement des stimuli : l'un fondé sur la consigne (énoncer la couleur de l'encre avec laquelle est écrit le mot), l'autre sur une réponse automatisée de lecture. Or, le fait

que le processus à inhiber (la lecture du mot) soit hautement automatisé n'implique en rien que le processus d'inhibition soit lui-même automatique. Bien au contraire, l'inhibition est ici programmée par le sujet en réponse à une consigne explicite de non-lecture formulée par l'expérimentateur.

Que l'épreuve de Stroop soit utilisée ou non dans un dispositif d'amorçage négatif ne modifie pas cette analyse. Engle (1996 ; Engle, Conway, Tuholski et Shiler, 1995) a montré que l'inhibition mise en œuvre dans ce type de dispositif était coûteuse en ressources attentionnelles puisque l'effet d'amorçage négatif disparaît en présence d'une double tâche. Ce résultat est incompatible avec l'hypothèse selon laquelle l'inhibition opérerait de manière automatique, ce qui impliquerait (par définition) qu'elle ne consomme pas de ressources attentionnelles.

La question de l'unité du processus demeure donc une question ouverte, mais la multiplication des distinctions proposées dans la littérature (voir Pennequin, Fontaine, Plaie et Maupoux, sous presse, pour une nouvelle distinction, ou encore Nigg, 2000, pour une véritable « taxonomie » de processus) risque de contribuer à alimenter les critiques régulièrement formulées à l'égard du manque de clarté dans la définition même du concept d'inhibition (e. g., Rabitt, Lowe et Shilling, 2001). En outre, les analyses qui précèdent indiquent que la légitimité théorique de certaines de ces distinctions mériterait d'être réargumentée. L'hypothèse d'une pluralité de processus est en général formulée afin de rendre compte soit de faibles corrélations observées entre les performances à diverses épreuves d'inhibition, soit de vitesses de développement différentes sur ces épreuves (Band, Van Der Molen, Overtoom et Verbaten, 2000). Or, une faible corrélation ne signifie pas nécessairement que des processus d'inhibition distincts sous-tendent la résolution. En effet, une corrélation des performances impliquerait (a) que le processus d'inhibition mobilisé par les épreuves soit le même, mais également (b) que ce processus s'exprime avec la même efficacité chez un sujet donné, quel que soit le contexte de la tâche, et (c) que les sujets présentent le même niveau d'efficacité concernant les autres processus impliqués dans la résolution des épreuves. Si l'obtention de corrélations importantes milite donc en faveur de l'hypothèse unitaire, l'absence de corrélation, en revanche, ne peut constituer à elle seule une remise en cause définitive

de cette hypothèse (Miyake, Friedman, Emerson, Witzki et Howerter, 2000).

### Inhibition et mémoire de travail

Hasher, Zacks et May (1999) distinguent pour leur part, non pas différents processus, mais plusieurs fonctions de l'inhibition :

- une fonction de prévention (*accessing function*),
- une fonction de suppression (*deleting function*),
- une fonction de suspension (*restraining function*).

La troisième fonction correspond à la suspension d'une réponse dominante dans les situations familières, permettant ainsi d'envisager des réponses alternatives. Les deux premières fonctions, que nous détaillons ci-après, exerceraient une influence décisive sur le fonctionnement cognitif à travers leur rôle dans le contrôle des contenus représentationnels de la mémoire de travail. Pour Hasher, Zacks et May (1999), les stimuli perçus dans l'environnement activent, de manière automatique et parallèle, non seulement leur représentation en mémoire mais également les représentations fortement associées, par diffusion de l'activation. Cette phase initiale d'activation (dirigée par les données de l'environnement) est modulée par des processus de contrôle attentionnel qui opèrent au service d'un but. Cette modulation implique un renforcement de l'activation des représentations pertinentes en référence au but, et une suppression de l'activation des représentations non pertinentes. Le contenu de la mémoire de travail est alors composé du sous-ensemble de représentations le plus hautement activé à l'issue de cette phase de modulation. Dans cette perspective, le processus d'inhibition interviendrait à deux niveaux :

- a) pour filtrer les représentations, en fonction de leur relation au but, avant qu'elles n'intègrent l'espace de conscience de la mémoire de travail (fonction de prévention) ;
- b) pour rejeter hors de cet espace les représentations qui ne seraient plus pertinentes en raison d'un changement de but (fonction de suppression)<sup>3</sup>.

Cette conception est à la base du modèle de Bjorklund et Harnishfeger (1990) visant à rendre compte de l'augmentation des capacités de la

mémoire de travail au cours du développement. Ce modèle constitue une extension de celui de Case (1985), pour qui la capacité mentale correspond à un réservoir limité de ressources attentionnelles comprenant un espace de stockage et un espace d'opération. Il existerait une relation réciproque entre ces deux espaces telle que, lorsqu'une proportion de l'un n'est pas utilisée, elle peut être allouée à l'autre. Dans cette perspective, le réservoir de ressources attentionnelles demeure constant au cours du développement mais sa capacité fonctionnelle augmente à mesure que les fonctions opératoires s'automatisent et libèrent de l'espace pour le stockage de nouvelles informations.

Pour Bjorklund et Harnishfeger (1990), cette capacité fonctionnelle est également dépendante de la capacité du sujet à ne maintenir dans l'espace de stockage que les représentations directement utiles à l'activité en cours. Intégrant les propositions de Hasher et Zacks (1988) au modèle de Case (1985), le modèle de Bjorklund et Harnishfeger (1990) envisage l'évolution des capacités de la mémoire de travail comme liée au processus d'inhibition qui deviendrait plus efficace avec l'âge. Plusieurs résultats expérimentaux confortent en effet l'hypothèse selon laquelle l'efficacité du processus s'accroît durant l'enfance.

### L'évolution de l'efficacité du processus d'inhibition avec l'âge

Lane et Pearson (1982) ont rassemblé, dans une revue de littérature, un ensemble de résultats indiquant que l'attention sélective gagne en efficacité avec l'âge. Si les divers paradigmes utilisés (épreuves de classification, jugement d'identité/différence, écoute sélective, apprentissage incident) semblent confirmer que la performance des enfants plus âgés est moins sensible à la présence d'informations interférentes, déterminer la contribution de l'inhibition dans cette évolution réclame des méthodes spécifiques.

3. On trouvait déjà chez Minsky (1986) une distinction analogue entre « agents censeurs » et « agents supprimeurs » opérant au service du contrôle des contenus de pensée.

L'utilisation du paradigme d'amorçage négatif a, en ce sens, constitué une avancée décisive. Le concept d'amorçage négatif (*negative priming*) a été, pour la première fois, utilisé par Tipper (1985) mais son équivalent méthodologique date des travaux conduits par Neill (1977) sur l'épreuve de Stroop. Neill a montré que le temps de réponse augmente lorsque la couleur pertinente à l'essai n correspond à la couleur interférente à l'essai n-1 (par comparaison avec la condition classique dans laquelle les couleurs manipulées dans les items n'entretiennent pas de relation). Le paradigme d'amorçage négatif s'est ainsi développé sur le rationnel suivant : une représentation, activement inhibée, conserverait la trace de cette inhibition de telle sorte que sa réactivation dans un contexte où elle devient pertinente prend plus de temps. Notons toutefois que l'interprétation du phénomène d'amorçage négatif fait l'objet d'importants débats. Trois hypothèses sont actuellement en concurrence pour rendre compte de cet effet (*selective inhibition, feature mismatching, episodic retrieval*), mais plusieurs revues de littérature recensant les arguments empiriques en faveur de ces différentes hypothèses indiquent qu'aucune n'est en mesure d'exclure définitivement les deux autres (Fox, 1995 ; Houghton et Tipper, 1996 ; May, Kane et Hasher, 1995).

L'amorçage négatif a ainsi constitué, depuis sa mise en évidence, un recours expérimental privilégié dans l'étude du processus d'inhibition et de sa contribution à la performance dans diverses épreuves d'attention sélective. Il a également permis de révéler l'existence de différences interindividuelles et développementales dans l'efficacité du processus. Tipper, Bourque, Anderson et Brehaut (1989) ont montré, sur une épreuve de type Stroop, que l'effet d'amorçage négatif est plus important chez de jeunes adultes que chez des enfants de 7 ans, indiquant que les noms de couleur distracteurs sont plus efficacement inhibés par les participants adultes.

D'autres dispositifs, fondés sur un principe proche de celui de l'amorçage négatif, ont confirmé l'existence de changements développementaux dans l'efficacité du processus d'inhibition. Lorsbach et Reimer (1997) ont utilisé une épreuve de complétude de phrases (la *garden path sentence-processing task* développée par Hartman et Hasher, 1991), permettant d'estimer la capacité des participants à inhiber activement des associations sémantiques hautement fréquentes et attendues. Les résultats

ont révélé des différences significatives entre les effets d'amorçage observés chez des participants de 7, 11 et 22 ans.

Un troisième paradigme, celui de l'oubli dirigé, est également fondé sur le fait qu'une représentation qui a été efficacement inhibée sera plus difficilement accessible. Les expériences d'oubli dirigé consistent à présenter aux participants une liste d'items qui sont indicés comme « à retenir » ou « à oublier ». Lors de la phase de rappel, on teste cependant la mémorisation de tous des items présentés. La différence entre les taux de rappel des items « à retenir » et des items « à oublier » fournit un indicateur de l'efficacité avec laquelle les items « à oublier » ont été inhibés. Une revue des études utilisant ce paradigme (Wilson et Kipp, 1998) indique que la différence entre les taux de rappel des items « à retenir » et « à oublier » augmente significativement au cours du développement.

L'évolution de l'efficacité du processus d'inhibition avec l'âge, révélée par ces différents paradigmes, concorde avec les données neurologiques relatives à l'évolution du cortex frontal dont le développement (myélinisation, fissuration corticale, densité synaptique) se prolonge jusqu'à l'adolescence (Dempster, 1992). Il est ainsi généralement admis que les progrès observés dans le contrôle inhibiteur de la cognition sont l'expression de phénomènes maturatifs, biologiquement programmés, au niveau cérébral. L'enjeu des recherches actuelles dans le domaine de l'inhibition n'est toutefois pas seulement de montrer que l'efficacité du processus se développe, mais de comprendre en quoi et comment ces changements sont susceptibles d'affecter le développement cognitif dans son ensemble.

## LE RÔLE DU CONTRÔLE INHIBITEUR DANS LE DÉVELOPPEMENT COGNITIF

### La nature des liens entre inhibition et développement cognitif

Dempster (1992) a relevé dans la littérature un ensemble de résultats indiquant que, sur un large registre de tâches, les patients cérébro-lésés au niveau frontal, les personnes âgées et les jeunes enfants présentent des patterns de réponse comparables. Selon Dempster, cette identité indique-

rait qu'un même déficit de contrôle inhibiteur caractérise le fonctionnement cognitif de ces trois populations. Etant donné la diversité des épreuves considérées comme sensibles à l'interférence (épreuves de mémorisation, de classification, de raisonnement, de compréhension de textes, et de dépendance à l'égard du champ), l'évolution de l'efficacité du processus avec l'âge pourrait avoir des retentissements importants sur l'ensemble du développement cognitif. Deux voies d'influence de l'inhibition sur le développement ont été envisagées dans la littérature.

La première est liée au modèle de Bjorklund et Harnishfeger (1990), précédemment évoqué. Lorsque la sélection des représentations activées est inefficace, des représentations non pertinentes occupent une partie de l'espace de stockage de la mémoire de travail et limitent par conséquent les ressources attentionnelles dévolues au traitement des représentations pertinentes. En améliorant l'efficacité du processus de sélection, les progrès de l'inhibition pourraient donc accroître indirectement les ressources fonctionnelles de l'espace de traitement, autorisant la mise en œuvre d'opérations mentales plus complexes et plus coûteuses. La mise à l'épreuve expérimentale de cette conception implique de montrer (a) que le développement d'opérations mentales complexes est contraint par les capacités fonctionnelles de la mémoire de travail et (b) que ces capacités sont liées à l'efficacité du processus d'inhibition.

Le premier point a été largement documenté dans la littérature développementale : il constitue le point commun de la plupart des modèles néo-piagétiens (voir de Ribaupierre, 1997, pour une revue) et constitue également un cadre explicatif privilégié des recherches sur le développement stratégique (Miller, 1994). Le second, en revanche, n'a que rarement été directement exploré chez l'enfant et les travaux sur le vieillissement cognitif ne sont pas toujours parvenus à valider l'hypothèse d'un lien entre l'efficacité de l'inhibition et les capacités de mémoire de travail (Grant et Dagenbach, 2000)<sup>4</sup>.

Une seconde voie d'influence possible de l'inhibition sur le développement cognitif est liée à la nécessité de contrôler, dans certains contex-

4. Il est à noter que l'hypothèse d'une réduction de l'efficacité de l'inhibition au cours du vieillissement est elle-même très débattue (Rabitt et al., 2001).

tes, l'activation automatique de schémas de réponse familiers conduisant à l'échec. Cette conception du rôle de l'inhibition a été popularisée dans le cadre des travaux sur la permanence de l'objet chez le bébé, mais Diamond (1991) a proposé d'étendre son analyse à l'ensemble du développement cognitif : « *Cognitive development can be conceived of, not only as the progressive acquisition of knowledge, but also as the enhanced inhibition of reactions that get in the way of demonstrating knowledge that is already present* » (p. 67). Cette conception générale constitue le socle du cadre théorique proposé par Houdé (1995), qui accorde à l'inhibition de schèmes dits « dangereux » un rôle central dans le développement, du bébé jusque chez l'adulte.

### L'inhibition des schèmes dangereux

Les propositions d'Houdé (1995, 2000a) s'inscrivent dans le prolongement de la théorie des opérateurs constructifs (ou TCO) de Pascual-Leone (1988). Le projet néo-piagétien de Pascual-Leone implique l'articulation de deux systèmes permettant de rendre compte du développement et du fonctionnement cognitif : le système « subjectif », correspondant au répertoire de schèmes dont dispose le sujet à chaque étape de son développement, et le système « métasubjectif », correspondant aux opérateurs silencieux qui régulent la construction et la mobilisation de ces schèmes en situation. Dans ce modèle, comme dans la plupart des modèles néo-piagétiens, les changements qualitatifs qui affectent la pensée de l'enfant (transformation du système subjectif) sont sous-tendus par une augmentation des ressources attentionnelles affectant le nombre de schèmes simultanément activables (et donc coordonnables) en mémoire de travail. Outre cet accent mis sur les contraintes en termes de capacités attentionnelles, la TCO est, comme le souligne Pascual-Leone lui-même (Pascual-Leone, 2000), l'un des premiers modèles généraux du développement à avoir explicitement reconnu l'importance des phénomènes de compétition entre structures de connaissance et à avoir reconnu, en conséquence, la nécessité d'un opérateur d'inhibition permettant de les réguler. C'est cependant sur cet aspect de la TCO, dont Pascual-Leone n'aurait pas tiré toutes les conséquences, qu'Houdé (1995, 2000a) étaye

sa critique de la conception développementale sous-jacente aux modèles piagétien et néo-piagétien.

**Une critique des conceptions linéaires du développement.** Le modèle piagétien est un modèle linéaire du développement en ce sens que, lorsque le sujet change de stade, les schèmes caractéristiques du stade précédent sont intégrés dans de nouvelles structures, de plus en plus rationnelles (i. e. de plus en plus conformes aux lois physiques ou aux normes logico-mathématiques). Il résulte de cette intégration que les schèmes caractéristiques des stades antérieurs ne sont plus disponibles en tant que tels dans le système subjectif et que les erreurs ou les raisonnements incomplets dont ils étaient responsables disparaissent des conduites du sujet. Il s'agit, selon Houdé, d'une conception où « un processus majorant intangible substitue récursivement une structuration rationnelle à une structuration qui ne l'est pas ou qui l'est moins » (1995, p. 4). Les modèles néo-piagétien comme celui de Pascual-Leone parviennent certes, via l'hypothèse cognitiviste d'une évolution des ressources attentionnelles, à rendre le processus d'équilibration un peu moins « intangible », mais ils préservent cette conception d'une trajectoire développementale linéaire de la rationalité, d'une pensée de plus en plus conforme aux canons de la logique et épurée de ses biais antérieurs. Or, reconnaître une valeur adaptative au processus d'inhibition implique de reconnaître l'existence de phénomènes de compétition entre des structures de connaissances dont certaines (rationnelles) conduisent à la réussite et d'autres (moins rationnelles) conduisent à l'échec.

La critique d'Houdé s'ancre ainsi dans ce constat : si des phénomènes d'interférence (i. e. de compétition) adviennent au sein du fonctionnement cognitif, c'est que, tout au long du développement, co-existent des structures de connaissance génétiquement éloignées, et que les schèmes des niveaux antérieurs, loin d'être définitivement « dissous » dans des structures supérieures, continuent de guider la pensée. De cette co-existence, les modèles néo-structuralistes ne pourraient rendre compte parce qu'ils sont linéaires. Ils devraient dès lors, selon Houdé, adopter, à l'instar des perspectives récentes en histoire des sciences, une nouvelle métaphore temporelle du développement cognitif, celle d'un temps « chiffonné » qui oblige à redéfinir de nouveaux stades et de nouveaux

processus de transition. Parmi ceux-ci, l'inhibition occuperait dès lors une position centrale et prendrait statut de véritable facteur développemental. Il s'agit, pour Houdé, de reconnaître à l'inhibition « une histoire cognitive propre » (1995, p. 15). Dans cette perspective, le développement cognitif, tel que les psychologues l'appréhendent à travers l'évolution des performances à des épreuves critiques, découlerait, pour une large part, des progrès du contrôle inhibiteur et de la sélection adaptative des structures de connaissances pertinentes.

Cette analyse repose sur le constat que la plupart des épreuves phares de la psychologie développementale, au premier rang desquelles les épreuves piagésiennes, constituent des « situations pièges ». La notion de situation piège, qu'Houdé oppose à celle de « situation optimale » est empruntée à la distinction proposée par Pascual-Leone entre deux catégories de situation-problème : « *facilitating* » versus « *misleading* ». Les situations optimales sont des situations dont les aspects les plus prégnants correspondent aux conditions déclenchantes des schèmes pertinents. Il en résulte que la réussite peut y être atteinte sans la contribution du processus d'inhibition. À l'inverse, les situations pièges se caractérisent par le fait que leurs aspects prégnants (perceptifs et/ou linguistiques) correspondent aux conditions déclenchantes de schèmes non pertinents. Ces schèmes sont alors dits « dangereux »<sup>5</sup> en ce que leur activation automatique risque de court-circuiter la mise en œuvre des schèmes pertinents. La réussite dans ces situations implique donc (1) l'inhibition des schèmes non-pertinents pré-activés, puis (2) l'activation et l'application des schèmes pertinents.

Dans ce contexte, l'erreur en situation piège peut renvoyer à deux cadres interprétatifs divergents (Houdé, 2000b). Le premier consiste à considérer que le sujet, puisqu'il échoue, ne dispose pas de la compétence évaluée par l'épreuve. Le second envisage que cette compétence,

5. Il convient de préciser que les schèmes dangereux ne sont pas « par définition » non pertinents, mais localement inadéquats. Ces schèmes seront d'autant plus dangereux que le sujet aura pu, dans d'autres situations, faire fréquemment l'expérience de leur efficacité (c'est pourquoi ils sont également dits « expérientiels »).

bien qu'étant disponible, n'a pu s'exprimer dans la performance en raison d'un déficit spécifique d'inhibition du schème dangereux. Dans plusieurs domaines et à plusieurs niveaux d'âge, Houdé s'est ainsi attaché à montrer que les épreuves critiques du développement cognitif correspondaient à des situations pièges dont la résolution était étroitement dépendante des capacités d'inhibition. Plusieurs recours méthodologiques ont été adoptés à cette fin.

*Approches méthodologiques.* Une première approche concerne la comparaison des performances en situation piège et optimale. Il s'agit de contraster les résultats des mêmes enfants à deux épreuves évaluant la même compétence, mais se distinguant par le degré d'interférence qu'elles génèrent. Si, en situation optimale, la performance de l'enfant atteste de la disponibilité de la structure de connaissance évaluée, alors l'erreur en situation piège ne peut plus être interprétée comme un défaut de compétence et un autre cadre interprétatif (en termes de déficit d'inhibition) pourrait s'imposer.

Une seconde approche, neuropsychologique, repose sur l'analyse des performances de patients présentant des lésions du cortex préfrontal. Le cortex préfrontal est fréquemment considéré comme constituant le principal support anatomique du contrôle inhibiteur (Dempster, 1991 ; Van Der Molen, 2000). Ces patients présenteraient en effet un déficit spécifique de performance sur des épreuves impliquant la suppression active de boucles de réponse automatisées. Dès lors, si une tâche requiert, pour être résolue, la mobilisation de capacités d'inhibition, les patients souffrant d'une lésion cérébrale localisée au niveau frontal devraient y rencontrer des difficultés. Houdé et Joyes (1995) ont utilisé cet argument pour mettre au jour le rôle de l'inhibition dans la résolution d'épreuves utilisées pour évaluer le développement de la catégorisation chez l'enfant. La comparaison, sur les mêmes épreuves, des performances d'un groupe de patients « frontaux » et de celles de jeunes enfants a en effet révélé des patterns d'erreurs identiques. Notons cependant que l'analyse des déficits cognitifs associés à des lésions frontales est loin d'être achevée. Si l'hypothèse d'un lien entre cortex préfrontal et contrôle inhibiteur est partagée par de nombreux auteurs, une revue des travaux neuro-

psychologiques sur cette question révèle l'existence de résultats encore contradictoires (Andres, Van der Linden, Collette et Le Gall, 1999).

L'apprentissage expérimental à l'inhibition constitue une troisième méthode. Elle consiste à contraster la performance du sujet à une épreuve critique avant et après un apprentissage focalisé sur la prise de conscience de l'existence d'un piège. Houdé et Moutier (1996, 1999) ont ainsi comparé les performances de participants adultes dans des tâches de raisonnement déductif avant et après un apprentissage expérimental à l'inhibition. Les différences de performance observées indiquent que l'expression de la compétence déductive est, dans ces épreuves, subordonnée à l'inhibition efficace de biais cognitifs. L'utilisation de l'imagerie cérébrale fonctionnelle (Houdé et al., 2000) a par ailleurs permis de montrer que le changement de performance, observé à l'issue de l'apprentissage expérimental à l'inhibition, était associé à un changement, au plan cérébral, dans les aires corticales mobilisées lors de la résolution de l'épreuve.

Enfin, l'adaptation du paradigme d'amorçage négatif a également permis d'explorer la contribution du processus d'inhibition à la performance à des épreuves développementales. Ce paradigme, utilisé jusqu'alors principalement au sein d'épreuves d'attention sélective impliquant l'inhibition du traitement de stimuli distracteurs, a été adapté par Houdé et Guichart (2001) à l'analyse des processus en jeu dans la résolution de l'épreuve piagétienne de conservation du nombre, et par Perret, Paour et Blaye (2003) à celle de l'épreuve de quantification de l'inclusion.

Grâce à ces différents dispositifs, et à travers l'étude de divers domaines de compétence, ces travaux montrent que la prise en compte des contraintes d'inhibition inhérentes à chaque épreuve autorise une interprétation renouvelée des performances et de leur variabilité. Ils offrent, dans le même temps, un cadre interprétatif aux situations de discordance compétence-performance auxquelles la psychologie développementale est fréquemment confrontée (Perret, 2002). Ce cadre d'analyse, qui accorde un rôle central au contrôle exécutif inhibiteur dans le développement cognitif, appelle aujourd'hui une interrogation complémentaire : celle de l'origine des progrès de ce contrôle chez l'enfant lors de la résolution des épreuves développementales.

## L'ORIGINE DES PROGRÈS DE L'INHIBITION

### Les limites de l'hypothèse maturationnelle

Une première piste de réponse, empruntée par la majorité des auteurs ayant recours au concept d'inhibition dans l'explication des variations de performances, renvoie au déterminisme biologique. Pour Hasher et Zacks (1988), Dempster (1991, 1992), ou Bjorklund et Harnishfeger (1990), l'efficacité du processus est directement fonction de la maturation du cortex frontal au cours du développement, et de son involution au cours du vieillissement. Ils postulent que les capacités d'inhibition, au même titre que les ressources attentionnelles, augmentent de la naissance à l'adolescence et que cette augmentation assure une résistance croissante à l'interférence générée par l'activation automatique de schèmes dangereux. De même est-il envisageable qu'à niveau de développement équivalent, des différences d'efficacité du processus subsistent entre les individus cette fois, et que ces différences soient impliquées dans la variabilité interindividuelle des performances si fréquemment observée en psychologie développementale (Larivée, Normandeau et Parent, 2000).

C'est le cadre d'analyse adopté implicitement par toutes les études qui, cherchant à démontrer la contribution de l'inhibition à la performance dans une tâche, adoptent une approche corrélacionnelle. La méthode consiste à administrer à chaque participant plusieurs épreuves « frontales » (comme le test de Stroop ou le Trail Making Test), permettant d'obtenir un indicateur d'efficacité de l'inhibition, puis de mettre cet indicateur en relation avec la variabilité interindividuelle des performances (voir Carlson et Moses, 2001, pour une illustration de cette approche dans le domaine de la théorie de l'esprit ; Moutier, 1996, dans le domaine du raisonnement déductif ; Lubart et Lautrey, 1999, dans le domaine de la créativité ; Pennequin et al., 2002, dans celui de la quantification de l'inclusion). Fréquemment les résultats échouent cependant à mettre en lien les performances à la tâche étudiée avec les indicateurs d'inhibition retenus, et l'hypothèse d'une pluralité de processus est alors invoquée pour rendre compte de ce résultat. Nous avons pointé précédemment que l'absence de corrélation n'impliquait pas néces-

sairement l'existence de plusieurs processus, mais l'essentiel n'est pas là : cette approche pourrait reposer sur une conception théorique inadaptée des rapports de causalité entre inhibition et développement.

Il ne s'agit pas ici de réfuter l'idée que l'efficacité basique du processus d'inhibition se développe avec l'âge, ni l'existence de différences interindividuelles dans ce domaine, mais de considérer qu'une augmentation générale d'origine maturationnelle de la capacité d'inhibition ne peut, à elle seule, rendre compte de l'évolution des performances dans les situations pièges. Cette position découle de l'argument suivant : pour être inhibé, un schème doit préalablement avoir été identifié comme localement inadapté à la situation et c'est sur la base de cette identification que son inhibition est programmée. La plupart des travaux sur l'inhibition échappent à cette problématique dans la mesure où les tâches utilisées dans l'étude du processus spécifient explicitement dans leur consigne la nature des représentations à inhiber. Dans le test de Stroop, la consigne spécifie de ne pas lire, dans le Wisconsin Card Sorting Test un feedback négatif de l'expérimentateur informe le sujet de la non-pertinence du critère de classification qu'il utilise, dans les tâches d'oubli dirigé les blocs d'item à inhiber sont indicés, etc. C'est le cas de toutes les épreuves classiques d'inhibition qui, en spécifiant « ce qu'il ne faut pas faire » dans leur consigne, permettent d'isoler dans l'analyse des performances une capacité basique de suppression de représentations en mémoire de travail. Dans les situations pièges en revanche (qu'il s'agisse d'épreuves de laboratoire ou de situations écologiques de résolution de problème), la détermination du caractère pertinent ou non des schèmes pré-activés par le contexte est placée sous la responsabilité du sujet, et la programmation exécutive de leur inhibition en dépend.

Il ressort de ces considérations que le développement révélé par l'évolution des performances aux épreuves pièges n'est pas celui de l'inhibition (en tant que processus de bas niveau) mais celui de sa *programmation exécutive* (Houdé, 1995). Les travaux conduits au moyen de la méthode d'apprentissage expérimental à l'inhibition en sont particulièrement illustratifs. On ne peut en effet considérer que cet apprentissage a eu pour effet d'accroître subitement les capacités d'inhibition des adultes participant à l'expérience. L'effet induit (l'inhibition du schème dangereux en post-test) tient avant tout à la reconnaissance par ces sujets,

grâce aux indications explicites de l'expérimentateur, du fait que le schème qu'ils appliquaient spontanément constitue un biais de raisonnement, source d'erreur. En accord avec Camus (1996, p. 134) on peut donc considérer que « du point de vue développemental, la question qui est alors posée est de savoir si l'enfant dispose de ces processus d'identification du caractère inadapté de certaines de ses conduites ».

### Connaissances et méta-connaissances

Alors que les interprétations en termes de déficit d'inhibition se sont multipliées durant les dix dernières années, cette question de l'origine des progrès de l'inhibition, pourtant essentielle, n'a été (à notre connaissance) directement abordée que par Charron (1998). L'auteur s'est intéressé, dans le domaine de la construction du nombre, aux « ruptures » développementales récurrentes durant lesquelles l'enfant présente des patterns de performance différents à des épreuves censées mobiliser la même connaissance. À travers une revue des modèles généraux du développement cognitif, Charron pointe que deux principaux cadres interprétatifs peuvent rendre compte du dépassement de ces ruptures : l'ajout ou la transformation de connaissance d'une part, l'adaptation des stratégies attentionnelles d'activation/inhibition d'autre part. Le second appelle toutefois, comme nous l'avons vu, une question complémentaire : pourquoi, lors du dépassement d'une rupture, l'enfant qui jusqu'alors appliquait un schème inadéquat se met-il à l'inhiber ?

La thèse défendue par Charron est que les progrès du contrôle inhibiteur s'accompagnent d'une transformation de la connaissance consistant à en modifier le domaine de validité, défini comme l'ensemble des situations pour lesquelles son application conduit à la réussite. Les progrès de l'inhibition, tels qu'ils s'observent dans le dépassement d'une rupture (réussite aux situations pièges) seraient donc sous-tendus par une extension du domaine de validité du schème pertinent et une réduction du domaine de validité du schème dangereux. La programmation exécutive de l'inhibition repose alors sur l'élaboration d'une métaconnaissance qui spécifie, de manière adaptée, les conditions d'application légitime des schèmes.

C'est également la position adoptée par Houdé (2000c, p. 141) dans les formulations les plus récentes de sa conception, mettant l'accent sur la distinction entre le développement cognitif (l'élaboration des schèmes) et le développement métacognitif (la connaissance de leur domaine de validité) : « les changements exécutifs sont métacognitifs, et non pas cognitifs, dans le sens où le contrôle inhibiteur et le set-shifting dépendent d'une métareprésentation de l'acte habituel comme inadapté (de l'erreur A-non-B aux biais de raisonnement), c'est-à-dire localement inadéquat (misleading) ». Il en résulte que les changements qui affectent l'efficacité du contrôle inhibiteur au cours du développement sont nécessairement *domain-specific* et liés à un champ conceptuel particulier (Houdé, 2000b).

Cette conception, qui lie les progrès de l'inhibition dans les situations pièges à l'élaboration de métaconnaissances sur le domaine de validité des schèmes, laisse toutefois ouverte une question centrale : celle du processus qui conduit à l'ajustement normatif du domaine de validité des schèmes. Autrement dit, comment l'enfant découvre-t-il que certains schèmes sont inadaptés ? Cet ajustement est « normatif » au sens où, malgré ses turbulences, le développement cognitif conserve une direction : celle d'une conformité croissante aux normes physiques et logico-mathématiques qui fondent la rationalité. Lors d'un apprentissage expérimental à l'inhibition comme celui conduit par Houdé et Moutier (1996) dans le domaine du raisonnement déductif, ou Charron (1998) dans celui de la conservation, la pertinence logique des schèmes est « donnée » au sujet par l'expérimentateur. La microgenèse induite par ces dispositifs, de même que la modification afférente de l'activité neuronale, attestent du rôle de la programmation exécutive de l'inhibition dans la résolution des épreuves pièges. Mais ces résultats doivent alors conduire à s'interroger sur le développement autonome des déterminants logiques de cette programmation.

Il apparaît ici que les modèles du contrôle inhibiteur ne peuvent, à eux seuls, rendre compte des progrès observés sur les épreuves développementales. Ces progrès sont nécessairement sous-tendus par une transformation qualitative de la connaissance logique chez l'enfant, qui le conduit à ajuster ses stratégies d'activation ou d'inhibition de certains schèmes familiers. Ainsi, les modèles de l'inhibition ne constituent pas,

en eux mêmes, une alternative radicale à d'autres formes d'explication du développement cognitif : il est nécessaire de leur adjoindre des hypothèses centrées sur les progrès conceptuels qui sous-tendent la reconnaissance des schèmes dangereux comme... « dangereux ». De ce point de vue, ils gagneraient à s'articuler avec d'autres processus développementaux centrés, eux, sur la transformation des connaissances. C'est le cas, par exemple, des processus de « redescription représentationnelle » (Karmiloff-Smith, 1992), ou « d'abstraction réfléchissante » (Campbell et Bickhard, 1986 ; Moshman, 1990 ; Piaget, 1977), qui rendent compte du développement chez l'enfant d'une compréhension de plus en plus explicite de ses propres outils cognitifs.

### CONCLUSION

La réapparition du concept d'inhibition dans le champ des sciences cognitives (voir Dempster, 1995, pour une perspective historique) a suscité l'émergence de plusieurs modèles théoriques, de nombreuses recherches empiriques, et des espoirs de connexions inédites entre neurosciences et psychologie (Clark, 1996). Plus spécifiquement, les recherches sur l'inhibition ont introduit de nouvelles perspectives dans le domaine du développement cognitif chez l'enfant. Nombre des principaux acteurs de ce champ de recherche ont en effet très tôt adopté une perspective développementale (Bjorklund et Harnishfeger, 1990 ; Dempster, 1992 ; Hasher et Zacks, 1988 ; Houdé, 1995, 2000a). Au sein de ces modèles, l'inhibition est définie comme un processus de suppression active de représentations cognitives interférentes. Comme nous l'avons vu, l'inhibition pourrait toutefois être multidéterminée et le concept susceptible de masquer une diversité de processus distincts. La question de l'unité ou de la diversité des processus d'inhibition demeure une question ouverte. Nous avons toutefois souligné le risque de multiplier de manière trop systématique les distinctions proposées pour rendre compte de faibles corrélations entre épreuves.

Au-delà du débat sur la nature même du processus, les travaux inscrits dans une perspective développementale posent deux questions distinctes. La première est celle de l'évolution de l'efficacité du processus avec

l'âge. De ce point de vue, plusieurs méthodes d'évaluation de l'efficacité du processus semblent produire des résultats cohérents avec l'hypothèse d'un développement des capacités de contrôle inhibiteur. La nature de ce développement reste toutefois en grande partie à élucider car la signification des différences observées entre les performances d'enfants d'âges différents aux épreuves d'inhibition n'est pas univoque. Les progrès de l'inhibition concernent-ils la quantité de représentations que l'enfant peut simultanément inhiber, la force avec laquelle une représentation est rejetée de la mémoire de travail, la nature des représentations que l'enfant parvient ou non à inhiber ? Si l'enfant devient avec l'âge un inhibiteur plus efficace, la forme que prend ce gain d'efficacité n'est pas encore véritablement spécifiée dans les principaux modèles.

La seconde question soulevée par la perspective développementale concerne l'influence des progrès du contrôle inhibiteur sur le développement cognitif dans son ensemble. Deux principales voies d'influence ont été identifiées. Les progrès de l'inhibition pourraient médier l'accroissement des capacités fonctionnelles de la mémoire de travail (Bjorklund et Harnishfeger, 1990 ; Hasher et Zacks, 1988). En maintenant plus efficacement les représentations non pertinentes hors de la mémoire de travail lors de la résolution d'une tâche, l'inhibition permettrait de réserver les ressources disponibles au stockage et au traitement des représentations pertinentes.

La seconde voie d'influence de l'inhibition sur le développement serait liée à la nécessité, lors de la résolution d'épreuves développementales, d'inhiber des schèmes de traitement familiers de l'enfant, mais localement inadéquats (Houdé, 1995, 2000a). Ainsi, la performance à ces épreuves serait-elle déterminée non seulement par la disponibilité chez l'enfant de la compétence évaluée, mais également par sa capacité à suspendre la mise en oeuvre de schèmes qualifiés de « dangereux ». Fréquemment, cette forme d'explication de l'évolution des performances (via les progrès du contrôle inhibiteur) est présentée comme une alternative radicale à d'autres formes d'explication centrées sur l'adaptation des connaissances. Nous avons cependant montré que l'hypothèse d'une augmentation générale et d'origine maturationnelle du contrôle inhibiteur ne pouvait pas, à elle seule, rendre compte de l'évolution des performances sur ces épreuves. En effet, les progrès de l'inhibition sont

nécessairement fondés sur une reconnaissance croissante du caractère inadéquat des schèmes dangereux, et impliquent par conséquent un ajustement du domaine de validité de ces schèmes. Pour rendre compte de cet ajustement, les modèles développementaux du contrôle inhibiteur devront donc s'articuler à d'autres hypothèses centrées, elles, sur les processus de transformation des connaissances.

Au final, cette revue de question atteste de la complexité des relations possibles entre inhibition et développement cognitif : elles ne sauraient se réduire à des rapports de causalité linéaire et soulèvent encore de nombreuses interrogations. Ce faisant, cette revue de question atteste également de la dynamique de ce champ de recherche, et des multiples directions qu'il lui reste à explorer.

#### ABSTRACT

This paper reviews the empirical findings and theoretical propositions concerning the inter-relationships between inhibitory control and cognitive development during childhood. There has been considerable interest, during the past ten years, in the role of inhibition in cognitive development. The growing number of « inhibitory based » accounts of performance on developmental tasks calls for a critical examination of the underlying assumptions. In this aim, the review addresses three main issues. A first one concerns the nature of inhibitory processes, whose main function is to (adaptively) control the representational contents of working memory. The second one concerns the available empirical evidences that inhibitory efficiency increases during childhood. The third one deals with the postulated ways in which inhibitory control might broadly influence cognitive development. Two frameworks have been proposed in the literature and will be discussed: (a) an increase of inhibitory efficiency could contribute to the growth of working memory functional capacities which, in turn, constitutes an explanatory variable of cognitive development in most neo-piagetian models; (b) inhibitory efficiency might mediate children's ability to resist misleading cognitive schemas that are automatically activated in many developmental tasks (Piagetian ones among other).

#### BIBLIOGRAPHIE

- Andres, P., Van der Linden, M., Collette, F., & Le Gall, D. (1999). Approche neuropsychologique de l'inhibition : une fonction « frontale » ? In M. Van Der Linden, X. Seron, D. Le Gall, & P. Andres (Eds.), *Neuropsychologie des lobes frontaux* (pp. 115-136). Marseille: Solal.
- Arbuthnott, K. D. (1995). Inhibitory mechanisms in cognition: Phenomena and models. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, 14, 3-45.
- Band, G. P. H., Van der Molen, M. W., Overtoom, C. C. E., & Verbaten, M. N. (2000). The ability to activate and inhibit speeded responses: separate developmental trends. *Journal of Experimental Child Psychology*, 75, 263-290.
- Bjorklund, D. F., & Harnishfeger, K. K. (1990). The resources construct in cognitive development: Diverse sources of evidence and a theory of inefficient inhibition. *Developmental Review*, 10, 48-71.
- Bjorklund, D. F., & Harnishfeger, K. K. (1995). The evolution of inhibition mechanisms and their role in human cognition and behavior. In F. N. Dempster & C. J. Brainerd (Eds.), *Interference and inhibition in cognition* (pp. 141-173). New York: Academic Press.
- Bjorklund, D. F., & Kipp, K. (2002). Social cognition, inhibition, and theory of mind: The evolution of human intelligence. In R. J. Sternberg & J. C. Kaufman (Eds.), *The evolution of intelligence* (pp. 27-54). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Campbell, R. L., & Bickhard, M. H. (1986). *Knowing levels and developmental stages*. New York: Karger.
- Camus, J.-F. (1996). *La psychologie cognitive de l'attention*. Paris: Armand Collin.
- Carlson, S. M., & Moses, L. J. (2001). Individual differences in inhibitory control and children's theory of mind. *Child Development*, 72, 1032-1053.
- Case, R. (1985). *Intellectual development: Birth to adulthood*. New York: Academic Press.
- Charron, C. (1998). *Ruptures et continuité dans la construction des nombres*. Thèse de doctorat non publiée, Université René Descartes, Paris V.
- Clark, J. M. (1996). Contributions of inhibitory mechanisms to unified theory in neuroscience and psychology. *Brain and Cognition*, 30, 127-152.
- Dempster, F. N. (1991). Inhibitory processes: A neglected dimension of intelligence. *Intelligence*, 15, 157-173.
- Dempster, F. N. (1992). The rise and fall of the inhibitory mechanism: toward a unified theory of cognitive development and aging. *Developmental Review*, 12, 45-75.

- 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. 4-28). 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.
- Engle, R. W. (1996). Working memory and retrieval: An inhibition-resource approach. In J. T. E. Richardson, R. W. Engle, L. Hasher, R. H. Logie, E. R. Stolzhus, & R. T. Zacks (Eds.), *Working memory and human cognition* (pp. 89-119). New York: Oxford University Press.
- Engle, R. W., Conway, A. R. A., Tuholski, S. W., & Shiler, R. J. (1995). A resource account of inhibition. *Psychological Science*, 6, 122-125.
- Fox, E. (1995). Negative priming from ignored distractors in visual selection: A review. *Psychonomic Bulletin and Review*, 2, 145-173.
- Grant, J. D., & Dagenbach, D. (2000). Further considerations regarding inhibitory processes, working memory, and cognitive aging. *American Journal of Psychology*, 113, 69-94.
- Harnishfeger, K. K. (1995). The development of cognitive inhibition: Theories, definitions, and research evidence. In F. N. Dempster & C. J. Brainerd (Eds.), *Interference and inhibition in cognition* (pp. 176-205). New York: Academic Press.
- Hartman, M., & Hasher, L. (1991). Aging and suppression: Memory for previously relevant information. *Psychology and Aging*, 6, 587-594.
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (pp. 193-225). San Diego, CA: Academic Press.
- Hasher, L., Zacks, R. T., & May, C. P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. In D. Gopher & A. Koriat (Eds.), *Attention and performance. Cognitive regulation of performance: Interaction of theory and application* (pp. 653-675). Cambridge, MA: MIT Press.
- Houdé, O. (1995). *Rationalité, développement et inhibition. Un nouveau cadre d'analyse*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Houdé, O. (2000a). Inhibition and cognitive development: object, number, categorization and reasoning. *Cognitive Development*, 15, 63-73.
- Houdé, O. (2000b). Développement cognitif et fonctions exécutives : inhibition et « faux négatifs ». *Revue de Neuropsychologie*, 10, 452-470.
- Houdé, O. (2000c). 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: Presses Universitaires de France.

- Houdé, O., & Guichart, E. (2001). Negative priming effect after inhibition of number/length interference in a Piaget-like task. *Developmental Science*, 4, 119-123.
- Houdé, O., & Joyes, C. (1995). Développement logico-mathématique, cortex préfrontal et inhibition : l'exemple de la catégorisation. *Revue de Neuropsychologie*, 3, 281-307.
- 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.
- Houghton, G., & Tipper, S. P. (1996). Inhibitory mechanisms of neural and cognitive control: Applications to selective attention and sequential action. *Brain and Cognition*, 30, 20-43.
- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond modularity: A developmental perspective on cognitive science*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Lane, D. M., & Pearson, D. A. (1982). The development of selective attention. *Merrill-Palmer Quarterly*, 28, 317-337.
- Larivée, S., Normandeau, S., & Parent, S. (2000). The French connection: Some contributions of French-language research in the post-Piagetian era. *Child Development*, 71, 823-839.
- Logan, G. D. (1985). On the ability to inhibit simple thoughts and actions: Stop signal studies of repetition priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 11, 675-691.
- Lorsbach, T. C., & Reimer, J. F. (1997). Developmental changes in the inhibition of previously relevant information. *Journal of Experimental Child Psychology*, 64, 317-342.
- Lubart, T., & Lautrey, J. (1999). Créativité, flexibilité de pensée et rôle des processus d'inhibition. Communication orale au colloque « Rationalités et Développement », Aix-en Provence, France.
- May, C., Kane, M. J., & Hasher, L. (1995). Determinants of negative priming. *Psychological Bulletin*, 118, 35-54.
- Miller, P. H. (1994). Individual differences in children's strategic behaviors: Utilization deficiencies. *Learning and Individual Differences*, 6, 285-307.
- Minsky, M. (1986). *The society of mind*. New York: Simon and Shuster.

- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contribution to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, *41*, 49-100.
- Moshman, D. (1990). The development of metalogical understanding. In W. F. Overton (Ed.), *Reasoning, necessity, and logic: Developmental perspectives* (pp. 183-203). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Moutier, S. (1996). Biais de raisonnement déductif et inhibition chez l'enfant d'âge scolaire. *Archives de Psychologie*, *65*, 279-292.
- Neill, W. T. (1977). Inhibitory and facilitory processes in selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *3*, 444-450.
- Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: Views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin*, *126*, 220-246.
- Pascual-Leone, J. (1988). Organismic processes for neo-piagetian theories: A dialectical causal account of cognitive development. In A. Demetriou (Ed.), *The neo-piagetian theories of cognitive development: Toward an integration* (pp. 25-64). Amsterdam: North-Holland.
- Pascual-Leone, J. (2000). Reflexions on working memory: Are the two models complementary? *Journal of Experimental Child Psychology*, *77*, 138-154.
- Pennequin, V., Fontaine, R., Plaie, T., & Maupoux, S. (2002). Le développement de la catégorisation : l'échec tardif à l'inclusion de classes peut-il s'expliquer par un déficit d'inhibition ? *L'Année Psychologique*, *102*, 9-29.
- Perret, P. (2002). L'interprétation des discordances compétence-performance dans le développement cognitif. L'exemple de la quantification de l'inclusion. *L'Année Psychologique*, *102*, 693-724.
- Perret, P., Paour, J.-L., & Blaye, A. (2003). Respective contributions of inhibition and knowledge levels in class inclusion development: A negative priming study. *Developmental Science*, *6*, 283-288.
- Piaget, J. (1977). *Recherches sur l'abstraction réfléchissante*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Rabbitt, P., Lowe, C., & Shilling, V. (2001). Frontal tests and models for cognitive ageing. *European Journal of Cognitive Psychology*, *13*, 5-28.
- Ribaupierre, A. de. (1997). Les modèles néo-piagétiens : quoi de nouveau ? *Psychologie Française*, *42*, 9-21.
- Tipper, S. P. (1985). The negative priming effect: Inhibitory effects of ignored primes. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *37*, 571-590.
- Tipper, S. P., Bourque, T. A., Anderson, S. H., & Bréhaut, J. C. (1989). Mechanisms of attention: a developmental study. *Journal of Experimental Child Psychology*, *48*, 353-378.

- Tipper, S. P., & Driver, J. (1988). Negative priming between pictures and words: Evidence for semantic analysis of ignored stimuli. *Memory and Cognition*, *16*, 64-70.
- Tipper, S. P., McQueen, G. M., & Bréhaut, J. C. (1988). Negative priming between response modalities: evidence for a central locus of inhibition in selective attention. *Perception and Psychophysics*, *12*, 45-52.
- Van Der Molen, M. W. (2000). Developmental changes in inhibitory processing: Evidence from psychophysiological measures. *Biological Psychology*, *54*, 207-239.
- Wilson, S., & Kipp, K. (1998). The development of efficient inhibition: Evidence from directed-forgetting tasks. *Developmental Review*, *18*, 86-123.