THE UNIVERSITY of EDINBURGH

Edinburgh Research Explorer

La représentation du but dans le contrôle exécutif chez l'enfant.

Citation for published version:
Chevalier, N, Blaye, A & Maintenant, C 2014, 'La représentation du but dans le contrôle exécutif chez l'enfant.', *Psychologie Française*, vol. 59, no. 1, pp. 5-20. https://doi.org/10.1016/j.psfr.2013.09.002

Digital Object Identifier (DOI):
10.1016/j.psfr.2013.09.002

Link:
Link to publication record in Edinburgh Research Explorer

Document Version:
Peer reviewed version

Published In:
Psychologie Française

Publisher Rights Statement:
©

General rights
Copyright for the publications made accessible via the Edinburgh Research Explorer is retained by the author(s) and / or other copyright owners and it is a condition of accessing these publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

Take down policy
The University of Edinburgh has made every reasonable effort to ensure that Edinburgh Research Explorer content complies with UK legislation. If you believe that the public display of this file breaches copyright please contact openaccess@ed.ac.uk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

OPEN ACCESS

Download date: 28. Apr. 2024

Titre court : La représentation du but dans le contrôle exécutif

Publié en 2014 dans *Psychologie Française, 59*, 5-20.

La représentation du but dans le contrôle exécutif chez l'enfant

Goal representation in children's executive control

Nicolas Chevalier[1,2], Agnès Blaye[3] et Célia Maintenant[4]

[1]Department of Psychology and Neuroscience, University of Colorado Boulder, Boulder, CO, Etats-Unis.

[2]School of Philosophy, Psychology and Language Sciences, The University of Edinburgh, Edinburgh, Scotland, UK.

[3]Laboratoire de Psychologie Cognitive, Aix-Marseille Université et CNRS, Marseille, France.

[4]Laboratoire Psychologie des Ages de la Vie, Université François Rabelais, Tours, France.

Pour toute correspondance concernant cet article : Nicolas Chevalier, Cognitive Development Center, Department of Psychology and Neuroscience, UCB 345, University of Colorado Boulder, Boulder, CO 80309-0345, Etats-Unis. Courriel : nicolas.chevalier@colorado.edu

Résumé

Le contrôle exécutif ne peut être exercé que guidé par les buts que l'individu souhaite atteindre. Au cours des dernières années, les travaux ont pointé le rôle central de la représentation du but non seulement dans le contrôle exécutif chez l'adulte mais aussi au cours de l'enfance. Cet article synthétise les travaux sur le maintien actif du but en mémoire de travail et sur la construction de la représentation du but à partir des indices disponibles dans l'environnement, en insistant sur le développement de ces capacités durant l'enfance. De plus, il montre également comment la prise en compte de la représentation des buts permet de comprendre les interactions entre les compétences exécutives et les connaissances conceptuelles. L'ensemble de ces travaux montre que le développement du contrôle exécutif ne repose pas exclusivement sur une capacité croissante à implémenter les conduites les plus appropriées, mais également et en grande partie sur une identification de plus en plus efficaces des conduites les plus appropriées.

Mots-clés : contrôle exécutif, but, flexibilité cognitive, inhibition, développement.

Abstract

Implementation of executive control over thought and action can only be guided by the goals that one desires to reach. Over the last decade, research has pointed out the central role of goal representation in executive control both during childhood and adulthood. The present paper reviews these findings, emphasizing the developmental dynamics observed during childhood. More precisely, it addresses the role of active goal maintenance in working memory, as it has been stressed by developmental and neurocognitive theoretical models. Beyond goal maintenance, the question as to how goal representations are formed in working memory has attracted research efforts lately. With age, children successfully process increasingly subtle environmental cues to infer the current task goal and when task goals need to be updated, as evidenced by the effect of cue transparency on switching and inhibition performance. In addition, the paper addresses how goal representation sheds light on the interplay between executive skills and conceptual knowledge, through the presentation of research in such domains as analogical reasoning, categorical flexibility, and class inclusion quantification. Taken together, these lines of research show that executive control development does not rely exclusively on a growing ability to implement appropriate actions, but it also depends largely on increasingly efficient identification of what such actions should be.

Key words: executive control, goal, set shifting, inhibition, working memory, development.

La représentation des buts dans le contrôle exécutif chez l'enfant

Qui ne s'est jamais retrouvé dans une pièce de la maison avec la ferme conviction d'être là dans un but précis, sans se rappeler ce qu'il est venu y faire ? Cette situation illustre l'importance des buts pour guider nos comportements dans la vie quotidienne. En effet, les buts que l'on poursuit organisent largement les conduites que l'on met en œuvre au quotidien. Bien que certains buts et leur poursuite échappent à la conscience (Bargh & Morsella, 2008 ; Dijksterhuis & Aarts, 2010), la plupart d'entre eux sont représentés consciemment et leur atteinte requiert du contrôle exécutif, c'est-à-dire la régulation intentionnelle de sa propre pensée et de ses actions face à l'interférence d'informations environnementales non pertinentes pour l'activité à réaliser. La fonction même du contrôle exécutif étant justement d'assurer la mise en œuvre des conduites qui permettent d'atteindre les buts que l'individu s'est fixé, ce contrôle ne peut être implémenté sans représentation du but à atteindre. Par ailleurs, les travaux développementaux ont mis en évidence un long et progressif développement du contrôle exécutif depuis les premiers mois de la vie jusqu'à l'âge adulte (pour des recensions, voir par exemple Garon, Bryson, & Smith, 2008 ; Best, Miller, & Jones, 2009 ; Chevalier, 2010). Compte tenu du rôle central des buts dans le contrôle exécutif, se peut-il que la capacité à identifier et représenter les buts à atteindre participe aux progrès exécutifs observés durant l'enfance ? Le présent article tente de répondre à cette question en présentant une synthèse des travaux ayant abordé le rôle du maintien, puis de l'identification du but pertinent dans les situations exigeantes du point de vue exécutif. Enfin, il aborde par le biais de la représentation des buts l'influence des connaissances conceptuelles sur les compétences exécutives des enfants.

1. Maintien du but en mémoire de travail

On peut définir un but comme « l'intention d'accomplir une tâche, d'atteindre un état spécifique du monde, ou de réaliser certaines actions mentales ou physiques » (Altmann &

Trafton, 2002, p. 39). La représentation de but (i.e., de la tâche à réaliser) est depuis longtemps au cœur des modèles qui tentent de rendre compte du contrôle exécutif. Par exemple, dans le modèle IAN (*Interactive Action model* ; Cooper & Shallice, 2006), qui s'appuie sur celui du Système Attentionnel de Supervision (SAS ; Norman & Shallice, 1986), le contrôle exécutif repose sur la notion de schème, une entité complexe qui englobe de manière hiérarchique le but à réaliser (*e.g.*, préparer le petit-déjeuner) et les sous-buts, c'est-à-dire les actions à accomplir (*e.g.*, mettre le café dans la cafetière, tartiner les biscottes, etc.). De même, les modèles neurocognitifs du contrôle exécutif attribuent au cortex préfrontal la fonction de maintien du but. La connectivité récurrente des neurones dans cette région cérébrale (i.e., des neurones actifs envoie un signal d'activation à d'autres neurones dans le cortex préfrontal qui le leur renvoient) assure l'activation prolongée des informations et permet de maintenir le but actif malgré l'interférence d'informations distractrices, contrairement aux régions postérieures qui sont davantage dépendantes des stimuli directement disponibles. La représentation du but ainsi activement maintenue dans le cortex préfrontal permettrait d'influencer l'activité des régions postérieures grâce aux projections synaptiques entre le cortex préfrontal et les autres régions corticales. En particulier, le but maintenu au niveau du cortex préfrontal guide les conduites en fournissant davantage d'activation aux actions les plus appropriées pour l'atteinte de ce but par rapport à d'autres actions qui sont potentiellement plus automatiques. (Miller & Cohen, 2001 ; O'Reilly, 2006).

Comme le suggèrent les modèles neurocognitifs, maintenir activement le but à atteindre en mémoire de travail est essentiel afin de mettre en place des conduites cohérentes sur un laps de temps suffisant pour accomplir ce but, ce qui est attesté expérimentalement par le phénomène de « négligence du but ». Ce phénomène correspond à la non prise en compte des consignes de la tâche à réaliser malgré une bonne connaissance et la compréhension de celles-ci (Duncan et al., 2008). On observe ce phénomène notamment dans les épreuves de

contrôle exécutif telles que la tâche de Stroop dans laquelle les participants doivent dénommer la couleur de l'encre de noms de couleur présentés visuellement (par exemple, le mot « VERT » écrit en rouge). Dans cette épreuve, les essais lors desquels les informations visuelle et sémantique sont incongruentes (« VERT » écrit en rouge) requièrent d'inhiber la tendance spontanée à lire le mot, afin de pouvoir dénommer la couleur de l'encre. Or, plus la proportion d'essais incongruents est basse, plus le nombre d'erreurs à ces essais est élevé chez les participants adultes, en particulier ceux à faible empan de mémoire de travail (Kane & Engle, 2003). Lors des essais congruents (« VERT » écrit en vert) le maintien du but - dénommer la couleur de l'encre -, n'est pas nécessaire car la lecture du mot aboutit à la même réponse. Lorsque les essais congruents sont nombreux, la désactivation temporaire du but en mémoire de travail a un effet délétère sur les rares essais incongruents.

Le phénomène de négligence du but de la tâche a également été observé chez les enfants de 4 ans, dans l'épreuve *Dimensional Change Card Sort* (DCCS ; Zelazo, 2006) qui requiert d'apparier une série de stimuli en fonction d'une de leurs dimensions (e.g., leur couleur), puis en fonction de l'autre dimension (ici, la forme) sur une seconde série d'essais. Plus précisément, les performances après le changement de dimension sont meilleures sur les essais incongruents (i.e., la forme et la couleur des stimuli aboutissent à des réponses différentes) lorsque ceux-ci sont majoritaires, par comparaison à une condition dans laquelle la plupart des essais sont congruents (i.e., la forme et la couleur aboutissent à la même réponse) (Marcovitch, Boseovski, & Knapp, 2007 ; Marcovitch, Boseovski, Knapp, & Kane, 2010). Ces résultats suggèrent que le maintien du but joue non seulement un rôle essentiel dans le contrôle exécutif à l'âge adulte mais également durant l'enfance. D'ailleurs, l'accroissement des capacités de maintien actif des informations pertinentes pour la tâche à réaliser, et en particulier du but de la tâche, constitue le mécanisme principal de développement du contrôle exécutif dans l'un des modèles théoriques principaux ; celui des

représentations actives et latentes (Morton & Munakata, 2002). Selon ce modèle, l'accroissement avec l'âge des connexions neurales récurrentes dans le cortex préfrontal permettrait à l'enfant de maintenir de plus en plus fortement le but de la tâche en mémoire de travail (mémoire active selon la terminologie des auteurs), résistant ainsi plus efficacement à l'interférence créée par les réponses spontanées mais inappropriées et sous-tendues par les régions postérieures. Ce modèle rend compte avec succès des phénomènes persévératifs (i.e., la répétition de réponses anciennement pertinentes mais désormais incorrectes) dans des épreuves relativement simples, tôt au cours du développement (Munakata, 2001). Par exemple, dans le DCCS, la première série d'essais aboutit à la formation d'un biais latent envers la dimension de tri pertinente. Après le changement de dimension de tri, ce biais latent entre en compétition avec la représentation active de la dimension nouvellement pertinente. Seuls les enfants dont les capacités de maintien actif sont suffisamment développées (i.e., les enfants de 4 et 5 ans) sont capables de maintenir une représentation active de la nouvelle dimension assez forte pour guider leurs performances face au biais latent vers l'ancienne dimension. Les autres (i.e., les enfants de 3 ans) continuent de répondre en fonction du biais latent (Morton & Munakata, 2002). En revanche, ce modèle ne permet pas d'expliquer les comportements dans les situations plus complexes qui requièrent non seulement de maintenir le but pertinent face à des informations distractrices, mais également de changer de buts à plusieurs reprises (Blaye & Chevalier, 2011 ; voir, cependant, la version révisée du modèle qui intègre un mécanisme de mise à jour du but par le biais des ganglions de la base, Chatham, Yerys, & Munakata, 2012).

2. Construction de la représentation du but à partir des indices environnementaux

Si les buts à atteindre doivent pouvoir être maintenus pour assurer la cohérence des conduites tant que ces buts restent pertinents, ils doivent également pouvoir être abandonnés lorsque, en fonction des changements situationnels, ils perdent de leur pertinence (notamment

s'ils ont été atteints) ou de nouveaux buts deviennent plus avantageux. Des mécanismes de mise à jour des buts, s'appuyant en particulier sur le rôle de la dopamine et/ou des ganglions de la base sur l'activité du cortex préfrontal (Braver, Gray, & Burgess, 2007 ; Chatham et al., 2012; McNab & Klingberg, 2008 ; O'Reilly, 2006), pourraient permettre de renouveler les informations contenues en mémoire de travail et ainsi de changer de but. Cependant, pour mettre à jour et maintenir la représentation du but pertinent, encore faut-il déterminer quand est-ce qu'un but devient (ou n'est plus) pertinent et identifier quel est le but désormais à atteindre. La question est alors de savoir comment les individus effectuent ce travail cognitif.

2.1. Traitement des indices environnementaux dans les situations faisant appel à la flexibilité cognitive

La construction de la représentation du but s'appuie principalement sur les indices qui sont disponibles dans l'environnement et qui signalent quelle est la tâche, la conduite, l'action à réaliser. Or, ces indices environnementaux varient fortement par leur nature : par exemple, l'heure qui indique qu'il est temps de se rendre à son rendez-vous, une mauvaise note qui suggère de changer de stratégie de révision, ou encore un regard désapprobateur signalant qu'il vaut peut-être mieux ne pas en dire plus… Ces indices varient également par leur transparence, c'est à dire la clarté avec laquelle ils signalent la conduite la plus adaptative, ainsi que par le type d'information qu'ils fournissent, en particulier, des informations sur la nécessité de changer de conduite/but et/ou l'identité du but désormais pertinent. Par exemple, lors d'un trajet pour se rendre à un rendez-vous important, un indice tel qu'un panneau signalant un ralentissement dû à des travaux nous inciterait à changer d'itinéraire. Cependant, ne sachant pas quelle sera la longueur des ralentissements, il pourrait s'avérer tout aussi judicieux de persister sur la même voie. En revanche, si le panneau prévient de forts ralentissements sur plusieurs dizaines de kilomètres, alors il indique plus clairement la nécessité de changer d'itinéraires (détection plus forte de la nécessité de changer). Bien que

conscient de la nécessité de changer d'itinéraire, le conducteur n'en changera que si elle ou il peut générer un itinéraire plus efficace pour arriver à l'heure (identification de la nouvelle conduite pertinente). Or les indices environnementaux peuvent être plus ou moins explicites quant à cette information (*e.g.,* un panneau conseillant de prendre la prochaine sortie *vs.* l'annonce d'un itinéraire précis de déviation).

Comment les enfants traitent-ils les indices environnementaux pour inférer les buts pertinents et donc les conduites à mettre en œuvre ? Longtemps ignorée, cette question a reçu une attention grandissante au cours des dernières années. Les travaux ont principalement concerné les situations qui évaluent la flexibilité cognitive, probablement parce que celles-ci sont particulièrement exigeantes du point de vue de la représentation du but. Les épreuves de flexibilité requièrent d'alterner entre plusieurs tâches en fonction d'indices environnementaux de diverses natures. L'un des paradigmes les plus répandus, le paradigme d'alternance de tâches indicées (Meiran, 1996), requiert d'alterner entre plusieurs tâches (*e.g.*, indiquer la couleur ou la forme des stimuli présentés à l'écran) en fonction d'indices visuels (*e.g.*, un fond noir derrière le stimulus signale que le participant doit indiquer la couleur du stimulus, tandis qu'un fond gris signale que la forme est pertinente) (Figure 1). Certains des essais nécessitent de changer de tâche (essais alternés) tandis que d'autres essais requièrent de répéter la tâche pertinente à l'essai précédent (essais répétés). Le coût du changement de tâche se traduit par des taux d'exactitude plus bas et des temps de réponse plus élevés sur les essais alternés que sur les essais répétés. La diminution de ce coût durant l'enfance suggère des progrès de flexibilité cognitive importants avec l'âge (e.g., Cepeda, Kramer, & Gonzalez de Sather, 2001 ; Reimers & Maylor, 2005).

La plupart des travaux utilisant ce type d'épreuve chez l'enfant ont mis l'accent sur les difficultés que rencontrent les enfants à basculer entre plusieurs registres de tâches (i.e., l'ensemble des processus cognitifs qui permettent d'orienter l'attention vers les informations

pertinentes du stimulus et de sélectionner, puis produire la réponse correcte) une fois la tâche pertinente identifiée, supposant ainsi que les enfants, quel que soit leur âge, ne rencontrent aucune difficulté à identifier la tâche pertinente à partir des indices (pour une synthèse, voir Cragg & Chevalier, 2012). Or, ces épreuves utilisent généralement des indices n'entretenant qu'un lien arbitraire avec les tâches auxquelles ils sont associés. Dès lors, il est nécessaire de maintenir les règles d'association indices-tâches arbitraires et de les utiliser pour traduire l'indice visuel en représentation du but pertinent, autant d'éléments augmentant la difficulté à identifier/sélectionner la tâche pertinente (voir Logan & Bundesen, 2003 ; Miyake, Emerson, Padilla, & Ahn, 2004). Ce travail de traduction pourrait-il rendre compte, au moins en partie, des difficultés de flexibilité des jeunes enfants et des progrès observés avec l'âge ? Si tel est le cas, faciliter le travail de traduction des indices devrait permettre d'améliorer les performances des enfants dans les situations de flexibilité. Cette hypothèse a été testée en manipulant la transparence des indices de tâche dans ce type de paradigme avec des enfants à partir de 5-6 ans (Chevalier & Blaye, 2009). Une condition avec des indices de tâche transparents (ruban multicolore autour du stimulus pour signaler le tri selon la couleur et cadre noir pour signaler un tri selon la forme) était opposée à une condition avec indices arbitraires (où le stimulus était présenté sur un fond carré gris ou ovale noir selon la tâche). Grâce à leur association sémantique avec les tâches qu'ils indexaient, les indices transparents ont donné lieu à de meilleures performances que les indices arbitraires en facilitant le travail de traduction. Par ailleurs, une condition avec des indices auditifs transparents correspondant aux noms des tâches/dimensions (« couleur », « forme ») a permis de tester tester plus spécifiquement l'hypothèse d'une traduction de l'indice de tâche en un code phonologique représentant le but (Arrington, Logan, & Schneider, 2007 ; Logan & Schneider, 2006), car ce type d'indice donne lieu à un travail de traduction minimal, voire nul, dans la mesure où les indices sont déjà de nature verbale. Conformément à cette hypothèse, les enfants de 5 ans ont

obtenu des performances encore plus élevées avec les indices auditifs transparents (Figure 2). En outre, l'effet de la transparence des indices s'est révélé identique pour les essais alternés et les essais répétés, suggérant que la difficulté à identifier le but pertinent est la même pour les jeunes enfants, que l'on ait besoin de changer de tâche ou pas à un essai donné. Dès lors que la série d'essais inclut des changements de tâche, l'incertitude quant à la tâche à réaliser à chaque essai rend nécessaire le traitement des indices pour identifier le but pertinent. A l'inverse, la transparence des indices n'affecte pas les performances sur des séries d'essais où les enfants savent que la même tâche restera toujours pertinente, ce qui diminue cette incertitude quant à la tâche à réaliser et rend ainsi inutile le traitement de l'indice. Ainsi, le manque de flexibilité observé à cet âge semble en partie lié à la difficulté à identifier la tâche pertinente à partir des indices environnementaux (Chevalier & Blaye, 2009, voir aussi Chevalier, Wiebe, Huber, & Espy, 2011 ; Towse, Lewis, & Knowles, 2007).

De plus, sur un plan développemental, l'effet de la transparence des indices diminue progressivement entre 7 ans, 9 ans et l'âge adulte, suggérant une capacité croissante avec l'âge à identifier le but pertinent à partir des indices environnementaux (Chevalier & Blaye, 2009). Néanmoins, la transparence des indices continue à affecter les performances des adultes lorsque ceux-ci sont placés en situation de suppression articulatoire par une saturation de la boucle phonologique (Miyake et al., 2004, voir aussi Baddeley, Chincotta, & Adlam, 2001 ; Saeki & Saito, 2004). L'une des hypothèses interprétatives de cet effet consiste à considérer que les adultes utilisent le discours interne pour traduire les indices environnementaux en représentation verbale du but à atteindre (Baddeley et al., 2001 ; Schneider & Logan, 2006). Le format phonologique est particulièrement adapté aux représentations des buts car il permet une formulation explicite, facilitant son maintien en mémoire de travail et assurant un guidage plus efficace des actions. En outre, le constat que des indices plus transparents permettent de contrecarrer l'effet délétère de la suppression

articulatoire, suggère que cette dernière altère la traduction des indices en buts plutôt que la réorientation de l'attention vers les informations pertinentes pour atteindre le nouveau but (Baddeley et al., 2001 ; Miyake et al., 2004).

Au cours de l'enfance, l'hypothèse du rôle du langage dans la régulation des conduites est au cœur de la théorie de Vygotsky (1962) et a été établie empiriquement par Luria (1961). Toutefois, les études développementales suggèrent une intériorisation progressive du langage externe, le transformant en langage interne aux environs de 7 ans (Flavell et al., 1966 ; Winsler & Naglieri, 2003). Dans la mesure où les stratégies d'autorépétition verbale deviennent de plus en plus fréquentes avec l'âge, l'utilisation de plus en plus systématique et efficace du discours interne apparaît comme un sérieux candidat pour rendre compte des capacités croissantes de représentation du but durant l'enfance (Chevalier & Blaye, 2009 ; Cragg & Nation, 2010). Ainsi, on peut envisager que chez des jeunes enfants n'utilisant pas encore efficacement des stratégies d'autorégulation verbale, imposer une telle stratégie pourrait améliorer les performances en flexibilité. Pour tester cette hypothèse, des enfants de 5 et 6 ans ont eu à verbaliser le but dans une étude utilisant le paradigme d'alternance de tâche indicée, avec des indices de tâche arbitraires (un disque noir ou deux disques noirs pour l'une et l'autre tâche, respectivement). Les enfants du groupe expérimental devaient, avant l'apparition du stimulus à catégoriser, traduire à haute voix l'indice arbitraire en nom de tâche (« couleur » ou « forme ») tandis que ceux du groupe contrôle étaient invités à travailler en silence. Comme attendu, la stratégie de verbalisation a donné lieu à des performances plus élevés chez les enfants en les aidant à construire une représentation du but pertinent à chacun des essais (alterné ou répété) dans les séries d'essais où les tâches changent, imposant de fortes demandes d'identification du but pertinent (Lucenet, Blaye, Chevalier, & Kray, en révision). Ainsi, demander aux enfants de verbaliser le but pertinent compense la faible utilisation spontanée du langage pour représenter le but pertinent chez les enfants.

Aussi, le développement du contrôle exécutif résulte en partie d'une capacité croissante des enfants à traiter les indices environnementaux pour identifier le but à atteindre, probablement grâce à une utilisation de plus en plus efficace du discours interne. Dans les situations qui font appel à la flexibilité cognitive, l'efficacité croissante du traitement des indices environnementaux pourrait se traduire non seulement par une meilleure identification du but pertinent, mais également par une détection plus efficace de la nécessité de changer de but. Les enfants les plus jeunes pourraient rencontrer des difficultés de détection des changements de tâche car les indices de tâches, directement associés à l'identité de la tâche à réaliser, ne fournissent que des informations indirectes quant à la nécessité de maintenir ou changer de tâche (i.e., les essais alternés et répétés sont tout aussi fréquents pour les indices associés à la forme que ceux associés à la couleur). Si tel est le cas, alors les enfants devraient bénéficier d'informations qui signalent directement et clairement s'il est nécessaire ou pas de changer de tâche.

Conformément à cette hypothèse, l'introduction d'indices de transition qui renseignent directement sur le statut de l'essai (le mot « différent » pour les essais alternés et « même » pour les essais répétés), en plus des indices de tâche visuels (portant sur l'identité de la tâche pertinente), améliore les performances des enfants de 5 ans sur les essais alternés, par comparaison à une condition comportant uniquement des indices de tâche (Chevalier *et al.*, 2011). En outre, l'introduction des indices de transition, censée fournir une aide supplémentaire, a un effet inverse chez les enfants de 10 ans et les adultes, donnant lieu à de moins bonnes performances sur les essais alternés par rapport à une condition sans indices de transition (Chevalier, Huber, Wiebe, & Espy, 2013) (Figure 3). Ces résultats suggèrent non seulement que les enfants de 5 ans rencontrent des difficultés à détecter la nécessité de changer de tâche lorsque celle-ci n'est pas directement signalée par des indices de transition, mais aussi que les enfants plus âgés et les adultes utilisent des stratégies de détection des

changements différentes de celle des enfants de 5 ans. Plus précisément, les enfants de 5 ans semblent approcher chaque essai de manière identique, que celui-ci soit répété ou alterné, tentant de traiter sémantiquement l'indice de la tâche à chaque essai. Ce traitement sémantique de l'indice de la tâche permet aux enfants d'identifier la tâche pertinente et ainsi de déduire la nécessité de changer ou répéter la même tâche. Comme les enfants de 5 ans échouent fréquemment à identifier la tâche pertinente, ils ne détectent pas non plus la nécessité de changer de tâche lors des essais alternés. La présence d'indices de transition permet à ces enfants de détecter la nécessité de changer de tâche avant même d'avoir traité sémantiquement l'indice de la tâche, guidant ainsi probablement aussi l'identification de la tâche pertinente. A l'inverse, les enfants de 10 ans et les adultes semblent traiter les indices de tâche de façon plus stratégique, supposant par défaut qu'ils vont devoir répéter la même tâche (ce qui est vrai pour la majorité des essais). Dès lors, un traitement perceptif—et donc moins coûteux—de l'indice de tâche devient suffisant. Comme les essais alternés sont caractérisés par un changement d'indice, détecter le changement perceptif au niveau de l'indice permet d'inférer la nécessité de changer de tâche sans même avoir besoin de traiter l'indice sémantiquement. Cette stratégie permet un fonctionnement cognitif plus économique en réduisant l'allocation des ressources cognitives sur les essais répétés (les plus nombreux). Or l'introduction des indices de transition interfère avec cette stratégie car ils réduisent la dissimilarité perceptive des essais alternés, en particulier lorsque un essai alterné suit un autre essai alterné (l'indice de transition « différent » est répété d'un essai à l'autre). Conformément à cette hypothèse, les indices de transition ont l'effet négatif le plus marqué sur les essais alternés suivant d'autres essais alternés à 10 ans et à l'âge adulte (Chevalier et al., 2013). Ces résultats montrent, pour la première fois, que les stratégies de contrôle diffèrent avec l'âge, suggérant que le développement du contrôle exécutif ne se traduit pas seulement par des changements quantitatifs mais aussi par des changements qualitatifs.

Les situations qui font appel à la flexibilité cognitive varient dans les types d'informations environnementales à partir desquelles doivent être inférées l'identité du but pertinent et la nécessité (ou pas) d'en changer. Nombre de ces informations environnementales fournissent des indications généralement moins claires que les indices de tâche et de transition et doivent être combinées sur plusieurs essais pour inférer la conduite à mettre en œuvre, ce qui requiert un travail endogène plus coûteux. Dans bon nombre de situations, la nécessité de changement de but doit être inférée à partir de feedbacks sur la conduite actuelle. C'est précisément ce que simule une épreuve de flexibilité telle que le *Wisconsin Card Sorting Test* (Grant & Berg, 1948). Dans ce type d'épreuve, l'efficacité du traitement des feedbacks augmente avec l'âge (e.g., Chevalier, Dauvier, & Blaye, 2009 ; Crone, Jennings, & Van der Molen, 2004). En particulier, entre 4 et 6 ans, les enfants intègrent de plus en plus efficacement les informations liées aux essais précédents pour construire une représentation du but à partir des feedbacks qui inclut non seulement l'identité de la tâche pertinente mais également combien de temps cette tâche devrait rester pertinente et quelle autre tâche est susceptible de lui succéder (Chevalier *et al*., 2009).

Enfin, dès l'âge de 5-6 ans, la majorité des enfants est capable de suivre une règle explicite d'alternance de tâches (*e.g*., changer de tâche tous les deux essais : couleur, couleur, forme, forme) en l'absence de toute autre indice de tâche en cours d'activité. Les profils de performance observés lorsque la situation met en jeu une règle d'alternance suggèrent que les enfants utilisent des stratégies différentes pour représenter le but pertinent. Certains semblent maintenir en mémoire de travail les informations liées aux essais précédents pour en déduire le but pertinent à un essai donné, ce qui assure une forte exactitude des réponses, tandis que d'autres semblent davantage utiliser des informations « périphériques » telles que la rythmicité des tâches ou le temps passé sur une tâche donnée, ce qui permet des temps de réponse plus courts (Dauvier, Chevalier, & Blaye, 2012). Ces résultats montrent que dès l'âge

préscolaire, les enfants sont capables de déterminer le but pertinent de façon endogène, sans recourir à aucun indice environnemental externe. Cette capacité est particulièrement importante car nombre de situations quotidiennes ne présentent pas forcément d'indices externes et nécessitent de prendre en compte des indices internes tels que l'état de fatigue ou les émotions ressentis par l'individu. En outre, la variabilité stratégique observée dans cette étude entre des enfants d'un même groupe d'âge est complémentaire à celle observée avec l'âge. Cette variabilité stratégique interindividuelle soulève notamment la question de potentielles différences interindividuelles de trajectoires développementales. Des résultats récents semblent compatibles avec cette hypothèse et suggèrent que de telles trajectoires pourraient être associées à des différences dans le recrutement des régions préfrontales (Moriguchi & Hiraki, 2011) et être influencées par des facteurs environnementaux tels que les ressources éducatives disponibles au domicile des enfants (Clark, Sheffield, Chevalier, Nelson, Wiebe, & Espy, sous presse).

2.2. Le traitement des indices et la représentation du but sont essentiels à l'ensemble des situations nécessitant du contrôle

Le rôle de la représentation des buts dans le contrôle exécutif et son développement n'est pas limité aux situations qui mettent en jeu de la flexibilité cognitive. Ce rôle a également été mis en évidence dans des tâches d'inhibition de réponses motrices dominantes telles que les épreuves de type Go/No-Go où les participants doivent indiquer la couleur du stimulus sur la plupart des essais (essais Go) mais n'émettre aucune réponse à d'autres essais (essais No-Go) en fonction d'indices visuels. Dans cette épreuve, les enfants de 4 ans obtiennent de meilleures performances lorsque les indices visuels sont transparents (e.g., un micro indique qu'une réponse est attendue et une main en signe « stop » qu'aucune réponse ne doit être donnée) par rapport à des indices arbitraires (e.g., un arbre et une clé indiquent s'il faut répondre ou pas) (Blaye & Chevalier, 2011). Ces résultats suggèrent qu'à 4 ans les

enfants rencontrent des difficultés qui ne sont pas exclusivement liées au blocage de la tendance à répondre, mais également à l'identification des conditions dans lesquelles donner une réponse est pertinent ou pas. Cette dernière difficulté est similaire à la notion de *context monitoring,* proposée par Chatham et al. (2012) et qui correspond, selon ces auteurs, à la détection (monitoring) des indices qui signalent s'il est pertinent ou non de répondre. Ces auteurs ont utilisé, à l'âge adulte, l'épreuve Stop Signal, où un indice déclenché après un délai variable suivant l'affichage du stimulus exige l'inhibition de la réponse motrice, et l'épreuve Double Go, où l'indice n'exige pas d'inhiber la réponse mais de répondre deux fois de suite. Ces deux épreuves partagent les mêmes demandes de traitement de l'indice pour déterminer s'il est pertinent ou pas de répondre*,* mais seule Stop Signal requiert d'inhiber la réponse. Or, les résultats mettent en évidence des niveaux de performance équivalents et les mêmes marqueurs neuraux (en particulier, l'activation du cortex préfrontal ventrolatéral droit, habituellement interprétée comme reflétant les processus d'inhibition), suggérant ainsi que le traitement de l'indice pour identifier le but pertinent constitue la difficulté principale des situations d'inhibition à l'âge adulte.

L'ensemble de ces résultats convergent vers la conclusion que la gestion des représentations des buts à atteindre tient un rôle primordial dans le développement du contrôle exécutif. D'ailleurs, Miyake et Friedman (Friedman et al., 2008 ; Miyake et al., 2000) arguent que l'activation et le maintien du but pertinent en mémoire de travail rend compte de la part de variance commune aux épreuves évaluant les trois principales fonctions exécutives (l'inhibition de réponse, la mise à jour de la mémoire de travail, la flexibilité cognitive), positionnant ainsi l'activation et le maintien des but au cœur du contrôle exécutif. Chez l'enfant d'âge préscolaire, la représentation du but semble rendre compte des liens que la flexibilité cognitive entretient avec l'inhibition et le maintien actif d'informations en mémoire de travail ; liens qui se renforcent avec l'âge, suggérant ainsi non seulement que la

représentation du but constitue un élément central du contrôle exécutif mais aussi que son influence sur les conduites des enfants s'accroit au fil de l'âge (Chevalier et al., 2012).

3. Interactions entre développement conceptuel et contrôle : une autre illustration du caractère critique des représentations des buts

Si la représentation des buts est déterminante de la qualité du contrôle exercé sur les comportements (voir aussi Towse et al., 2007), il reste que cette représentation ne peut se définir en tout ou rien. Si les indices environnementaux et/ou les feedbacks peuvent conduire ou non à une représentation pertinente, dans bon nombre de situations, d'apprentissage scolaire notamment mais pas uniquement, la qualité de la représentation des buts est conditionnée par la conceptualisation que l'on a du domaine dans lequel il s'agit de produire une conduite adaptée. Pour reprendre l'exemple de la circulation, le niveau de précision des indices environnementaux (ralentissements, forts ralentissements) influe sur la décision de changer ou non d'itinéraire, mais les connaissances préalables du réseau routier local ou le niveau de précision des informations que l'on peut obtenir sur la situation ont aussi leur importance dans la prise de décision. De la même façon, le niveau de connaissance que les enfants ont des concepts qu'ils doivent utiliser dans les tâches de tri sont susceptibles d'influencer leur représentation du but à atteindre.

Les enfants ont-ils la possibilité d'accéder à une représentation suffisamment stable et précise de ces critères de tri à partir des indices à leur disposition ? En d'autres termes, quel est le niveau de conceptualisation requis pour identifier le critère de tri pertinent et l'utiliser pour guides les réponses ? Que les enfants aient une certaine compréhension des critères de tri à utiliser lors des différentes tâches évoquées ici ne fait pas de doute (ils sont capables de les répéter, de les utiliser correctement lors d'items d'exemples, en l'absence de toute demande de contrôle exécutif), il semble toutefois crucial de déterminer les différents degrés auxquels ces enfants ont conceptualisé ces critères. En effet, l'interaction entre le contrôle et les

représentations (Craik & Bialystok, 2006) apparait comme une piste privilégiée pour rendre compte du développement cognitif. Si ces critères semblent compris et connus des enfants en situation n'exigeant aucun contrôle, ils peuvent encore être insuffisamment conceptualisés pour pouvoir être utilisés de façon flexible, contrôlée, dans les situations plus exigeantes au niveau exécutif caractérisées notamment par un fort degré d'incertitude quant au critère (but) pertinent.

Les travaux récents sur le développement du raisonnement par analogie (cf. Minier et al., ce volume) illustrent en quoi le maintien des informations liées au but et leur utilisation dans le contrôle de la sélection de la réponse sont dépendants de la qualité des représentations. Les tâches souvent utilisées sont des tâches d'analogies à quatre termes où il s'agit d'inférer quelle image D doit être associée à une image de référence C afin que la relation entre les images D et C (relation cible) soit analogue à la relation entre deux autres images A et B (relation source). Le but étant donc de réaliser un appariement entre une relation source et une relation cible, la représentation de la relation source constitue l'élément-noyau de la représentation du but à maintenir et à utiliser pour contrôler la sélection de la réponse D. Thibaut et al. (2010) ont montré que le nombre d'options de réponse proposés dans ce type de dispositif détériorait la performance marquant ainsi un coût d'inhibition plus grand lorsque la quantité d'informations distractrices s'accroit. Toutefois, l'efficience du contrôle inhibiteur requis s'avère dépendante de la force d'association entre les termes A et B. Ainsi, l'augmentation du nombre de solutions distractrices n'a pas d'effet lorsque la relation entre A et B est forte. Une association plus forte entre les termes de la situation source permet ainsi la construction d'une représentation du but plus forte (Morton & Munakata, 2002) et donc plus à même de résister à l'interférence d'informations non pertinentes. De même, Minier et al. (ibid.) ont montré que l'augmentation du degré d'explicitation de la représentation de la relation source facilite un meilleur contrôle dans la résolution des analogies.

Il reste que l'étude du développement de la flexibilité catégorielle est sans doute le terrain privilégié où l'interaction entre qualité des connaissances et efficience du contrôle exercé sur les conduites, peut être révélée (Blaye, Chevalier, & Paour, 2007 ; Blaye & Jacques, 2009 ; Kharitanova et al. 2009 ; 2011). La flexibilité catégorielle renvoie à la possibilité d'activer les multiples appartenances catégorielles d'un même objet. Le lion peut ainsi être envisagé comme un animal et à ce titre se trouver catégorisé avec le rat, mais aussi comme un élément du cirque et il devient alors légitime de l'associer avec un dompteur. Son développement est souvent étudié avec des tâches d'appariement d'images en choix forcé dans lesquelles les participants doivent apparier une image cible à différentes images reliées à la cible selon des liens sémantiques multiples. Une image non associée à la cible est généralement proposée afin que toutes les options de réponse ne soient pas acceptables (Figure 4). Le contrôle requis dans ce type de situation est lié à la nécessité de re-représentation de l'objet cible dans une autre catégorie que celle initialement choisie, dans un contexte de forte interférence liée à la présence des autres images renforçant la saillance de la catégorisation précédente.

Le développement de la flexibilité catégorielle a été étudié chez des enfants de 3 à 8 ans à l'aide d'items du type décrit ci-dessus. Le format de tâche était celui de la tâche DCCS au sens où les participants devaient d'abord maintenir un critère d'appariement sur une série d'essais puis, sur demande, basculer sur un second critère à propos de la même série d'images. Une stratégie par défaut de sélection de la réponse non choisie la première fois n'était pas possible puisque trois images étaient proposées au choix. Alors que les performances sur la tâche standard montraient une majorité de conduites flexibles à 4 ans en utilisant exclusivement les relations perceptives de forme et de couleur, l'âge de réussite à l'épreuve pouvait varier de 4 à 8 ans selon le type de relation catégorielle à manipuler (Maintenant & Blaye, 2008). Outre les relations de forme et de couleur, cette étude utilisait

également des relations sémantiques spécifiques (être des animaux *vs* appartenir au cirque) et des relations catégorielles plus abstraites (être de la même sorte – lien taxonomique *vs* se rencontrer souvent ensemble – lien thématique). Alors même que dès 4 ans, les enfants sont capables de produire des appariements correspondant à ces différents niveaux de critère en situation n'exigeant pas de flexibilité, et donc peu de contrôle, la flexibilité sur critères sémantiques spécifiques ne semble en place qu'à 5 ans et il faut attendre 8 ans pour observer de la flexibilité entre critères thématiques et taxonomiques (Figure 5). De manière critique, ces âges sont synchrones avec la réussite dans une tâche de tri de paires d'images selon que celles-ci relèvent de l'une ou l'autre des deux relations d'un même niveau (perceptif, sémantique spécifique ou général). Or, cette dernière tâche éclaire précisément le degré d'explicitation de la conceptualisation de ces différentes relations. Ainsi, bien qu'on ne soit pas là dans la démonstration d'un lien causal, les données illustrent l'interdépendance entre qualité de la représentation des buts, ici les règles d'appariement à mettre en œuvre, et efficience du contrôle.

Si la qualité des représentations des relations en jeu module l'efficience du contrôle, il est même vraisemblable que, dans un certain nombre de cas, elle modifie la quantité de contrôle à engager pour atteindre son but. Prenons l'exemple de la tâche de quantification de l'inclusion de classes (Piaget & Szeminska, 1959) proposant au participant un ensemble d'objets, des fleurs par exemple (N=12) constitué de deux sous-classes, des tulipes (N=4) et des marguerites (N=8). Il s'agit d'indiquer laquelle de la classe emboîtante ou de la classe emboitée à plus fort effectif (marguerites) contient le plus d'éléments (« Y-a-t-il plus de fleurs ou plus de marguerites ? »). Les travaux récents ont suggéré que cette tâche traditionnellement considérée comme une tâche de conceptualisation des relations d'inclusion, présentait en fait un coût d'inhibition puisqu'il s'agit pour les jeunes enfants de bloquer la réponse prépondérante consistant à comparer perceptivement la sous-classe des

marguerites à celle des tulipes et ainsi à répondre de manière erronée (Houdé, 2000 ; Borst et al., 2013). Un dispositif d'amorçage négatif a révélé que le niveau d'inhibition de la réponse prépondérante requis pour répondre correctement dépendait du niveau de conceptualisation des enfants : Ainsi, l'effet d'amorçage négatif reflétant la nécessité de réactivation d'une réponse inhibée s'est avéré plus marqué chez les enfants ayant une compréhension empirique des relations d'inclusion que chez ceux témoignant par ailleurs d'une compréhension logique de l'inclusion (Perret, Paour & Blaye, 2003). De telles données suggèrent que les progrès conceptuels, en modifiant la représentation du but de la tâche, ont pour effet la réduction voire l'annulation du niveau d'activation de certains traitements potentiellement interférents et ce faisant, font perdre à la tâche son caractère conflictuel et donc son coût exécutif.

Ainsi, le contrôle exécutif ne s'exerce pas à vide, le guidage des conduites vers la réalisation de buts est fondamentalement dépendant de la qualité de la représentation de ces buts. Ces représentations s'inscrivent dans des domaines de connaissance et de ce fait, ne peuvent être définies en tout ou rien. Les travaux rapportés ici illustrent le caractère graduel de la construction, au cours du développement, de représentations de plus en plus abstraites et/ou logiques des domaines conceptuels et partant, de représentations des buts de plus en plus à même d'être maintenues en mémoire de travail et mentalement manipulées pour un guidage optimal des conduites.

4. Conclusion

L'ensemble des travaux présentés converge vers la conclusion selon laquelle le développement du contrôle exécutif ne repose pas exclusivement sur une capacité croissante à implémenter les processus qui guident les actions vers l'atteinte des buts pertinents. Il dépend également, pour une large part, de la capacité croissante à traiter les informations disponibles dans l'environnement et de la conceptualisation des domaines conceptuels dont relèvent les tâches afin de déterminer quels sont les buts à atteindre et par conséquent les conduites les

plus appropriées (e.g., avec l'âge, un regard désapprobateur suffit là où des réprimandes verbales étaient nécessaires). En d'autres termes, les comportements inefficaces ou inappropriés chez l'enfant ne résultent pas forcément de l'incapacité des enfants à répondre plus efficacement, mais peuvent aussi refléter la non compréhension que ces conduites sont inappropriées et/ou que d'autres conduites sont attendues ou nécessaires. La prise en compte de la représentation du but permet ainsi d'apporter un éclairage nouveau sur le développement du contrôle exécutif chez l'enfant. Par ailleurs, elle pourrait, notamment au regard de ses liens avec les progrès en conceptualisation, apporter également de nouveaux éléments théoriques permettant de mieux comprendre la large implication du contrôle exécutif dans les apprentissages et la réussite scolaire (e.g., Blair & Razza, 2007 ; Bull, Espy, Wiebe, Sheffield, & Nelson, 2011 ; McClelland et al., 2007).

Enfin, le traitement de plus en plus efficace des indices environnementaux au cours de l'enfance a probablement une valeur adaptative, non seulement en permettant une identification rapide et efficace des buts pertinents chez les enfants les plus âgés, mais également en permettant aux enfants les plus jeunes d'explorer leur environnement immédiat plus librement (i.e., sans l'influence restrictive du but à atteindre). Thompson-Schill, Ramscar et Chrysikou (2009) suggèrent ainsi qu'un contrôle exécutif immature et donc des conduites s'appuyant principalement sur les régions cérébrales postérieures permettent une manipulation particulièrement riche des objets et ainsi d'extraire les régularités statistiques dans l'environnement. L'extraction de ces régularités statistiques serait, quant à elle, essentielle pour certaines acquisitions, en particulier pour l'apprentissage du langage et des conventions sociales. Grâce à la maturation du cortex préfrontal, les progrès exécutifs tout au long de l'enfance permettraient des conduites davantage guidées par les buts à atteindre, assurant ainsi l'efficacité croissante des performances, plus tard au cours de l'enfance lorsque les régularités statistiques ont déjà été apprises.

Références

Altmann, E. M., & Trafton, J. G. (2002). Memory for goals: an activation-based model. *Cognitive Science*, *26*(1), 39-83. doi:10.1207/s15516709cog2601_2

Arrington, C. M., Logan, G. D., & Schneider, D. W. (2007). Separating cue encoding from target processing in the explicit task-cuing procedure: are there "true" task switch effects? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *33*(3), 484-502. doi:10.1037/0278-7393.33.3.484

Baddeley, A., Chincotta, D., & Adlam, A. (2001). Working memory and the control of action: Evidence from task switching. *Journal of Experimental Psychology: General*, *130*(4), 641-657. doi:10.1037//0096-3445.130.4.641

Bargh, J. A, & Morsella, E. (2008). The Unconscious Mind. *Perspectives on Psychological Science*, *3*(1), 73-79. doi: 10.1111/j.1745-6916.2008.00064.x

Best, J. R., Miller, P. H., & Jones, L. L. (2009). Executive Functions after Age 5: Changes and Correlates. *Developmental Review*, *29*(3), 180-200. doi:10.1016/j.dr.2009.05.002

Blair, C., & Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, *78*(2), 647-63. doi:10.1111/j.1467-8624.2007.01019.x

Bull, R., Espy, K. A., Wiebe, S. A., Sheffield, T. D., & Nelson, J. M. (2011). Using confirmatory factor analysis to understand executive control in preschool children: sources of variation in emergent mathematic achievement. *Developmental Science*, *14*(4), 679-692. doi:10.1111/j.1467-7687.2010.01012.x

Blaye, A., & Chevalier, N. (2011). The role of goal representation in preschoolers' flexibility and inhibition. *Journal of Experimental Child Psychology*, *108* (3), 469-483. doi:10.1016/j.jecp.2010.09.006

Blaye, A., Chevalier, N., & Paour, J.-L. (2007). The development of intentional control of categorization behaviour: A study of children's relational flexibility. *Cognition, Brain, Behavior*, 11(4), 791-808.

Blaye, A., & Jacques, S. (2009). Categorical Flexibility in Preschoolers: Contributions of Conceptual Knowledge and Executive Control. *Developmental Science*, 12, 6, 863-873. DOI: 10.1111/j.1467-7687.2009.00832.x

Borst, G., Poirel, N., Pineau, A., Cassotti, M., & Houdé, O. (In press). Inhibitory Control Efficiency in a Piaget-Like Class-Inclusion Task in School-Age Children and Adults: A Developmental Negative Priming Study. *Developmental Psychology*. Online First Publication, August 13, 2012. doi: 10.1037/a0029622

Braver, T. S., Gray, J. R., & Burgess, G. C. (2007). Explaining the many varieties of working memory variation: Dual mechanisms of cognitive control. In A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane, A. Miyake, & J. N. Towse (Eds.), *Variation in Working Memory* (pp. 76-106). Oxford, UK: Oxford University Press.

Carlson, S. M., Moses, L. J., & Hix, H. R. (1998). The role of inhibitory processes in young children's difficulties with deception and false belief. *Child Development, 69*(3), 672-691. DOI: 10.1111/j.1467-8624.1998.tb06236.x

Carroll, D. J., Riggs, K. J., Apperly, I. A., Graham, K., & Geoghegan, C. (in press) How do alternative ways of responding influence 3- and 4-year-olds' performance on tests of executive function and theory of mind? *Journal of Experimental Child Psychology*. doi: 10.1016/j.jecp.2012.03.001

Cepeda, N. J., Kramer, A. F., & Gonzalez de Sather, J. C. M. (2001). Changes in executive control across the life span: Examination of task-switching performance. *Developmental Psychology*, *37*(5), 715–729. doi:10.1037//0012-1649.37.5.715

Chatham, C. H., Claus, E. D., Kim, A., Curran, T., Banich, M. T., & Munakata, Y. (2012). Cognitive control reflects context monitoring, not stopping, in response inhibition. *PLoS ONE*. 10.1371/journal.pone.0031546

Chatham, C. H., Yerys, B. E., & Munakata, Y. (2012). Why won't you do what I want? The informative failures of children and models. *Cognitive Development, 27,* 349-366. doi.org/10.1016/j.cogdev.2012.07.003

Chevalier, N. (2010). Les fonctions exécutives chez l'enfant: Concepts et développement. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, *51*(3), 149-163. doi:10.1037/a0020031

Chevalier, N., & Blaye, A. (2009). Setting goals to switch between tasks: effect of cue transparency on children's cognitive flexibility. *Developmental Psychology*, *45*(3), 782-97. doi:10.1037/a0015409

Chevalier, N., Dauvier, B., & Blaye, A. (2009). Preschoolers' use of feedback for flexible behavior: insights from a computational model. *Journal of Experimental Child Psychology*, *103*(3), 251-67. doi:10.1016/j.jecp.2009.03.002

Chevalier, N., Huber, K. L., Wiebe, S. A., & Espy, K. A. (2013). Qualitative change in executive control during childhood and adulthood. *Cognition, 128,* 1-12. http://dx.doi.org/10.1016/j.cognition.2013.02.012

Chevalier, N., Sheffield, T. D., Nelson, J. M., Clark, C. A. C., Wiebe, S. A., & Espy, K. A. (2012). Underpinnings of the costs of flexibility in preschool children: the roles of inhibition and working memory. *Developmental Neuropsychology*, *37*(2), 99-118. doi:10.1080/87565641.2011.632458

Chevalier, N., Wiebe, S. A, Huber, K. L., & Espy, K. A. (2011). Switch detection in preschoolers' cognitive flexibility. *Journal of Experimental Child Psychology*, *109*(3), 353-70. doi:10.1016/j.jecp.2011.01.006

Clark, C. A. C., Sheffield, T. D., Chevalier, N., Nelson, J. M., Wiebe, S. A., & Espy, K. A. (in press). Charting early trajectories of executive control with the Shape School. *Developmental Psychology*. doi: 10.1037/a0030578

Cooper, R. P., & Shallice, T. (2006). Hierarchical schemas and goals in the control of sequential behavior. *Psychological Review*, *113*(4), 887-916. doi:10.1037/0033-295X.113.4.887

Cragg, L., & Chevalier, N. (2012). The processes underlying flexibility in childhood. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *65*(2), 209-232. doi:10.1080/17470210903204618

Cragg, L., & Nation, K. (2010). Language and the development of cognitive control. *Topics in Cognitive Science*, *2*(4), 631-642. doi:10.1111/j.1756-8765.2009.01080.x

Craik, F. I. M., & Bialystok, E. (2006). Cognition through the lifespan: mechanisms of change. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(3), 131–138. doi:10.1016/j.tics.2006.01.007

Crone, E. A., Jennings, J. R., & Van der Molen, M. W. (2004). Developmental change in feedback processing as reflected by phasic heart rate changes. *Developmental Psychology*, *40*(6), 1228-38. doi:10.1037/0012-1649.40.6.1228

Dauvier, B., Chevalier, N., & Baye, A. (2012). Using finite mixture of autoregressive GLMs to explore variability children's flexibility in a task-switching paradigm. *Cognitive Development*, *27*, 440-454. doi.org/10.1016/j.cogdev.2012.07.004

Dijksterhuis, A., & Aarts, H. (2010). Goals, attention, and (un)consciousness. *Annual Review of Psychology*, *61*, 467-90. doi:10.1146/annurev.psych.093008.100445

Duncan, J., Parr, A., Woolgar, A., Thompson, R., Bright, P., Cox, S., Bishop, S., et al. (2008). Goal neglect and Spearman's g: competing parts of a complex task. *Journal of Experimental Psychology: General*, *137*(1), 131-48. doi:10.1037/0096-3445.137.1.131

Espy, K. A. (1997). The Shape School: Assessing executive function in preschool children. D*evelopmental Neuropsychology, 13*(4), 495-499. doi:10.1080/8756549709540690

Flavell, J. H., Beach, D. R., Chinsky, J. M. (1966). Spontaneous verbal rehearsal in a memory task as a function of age. *Child Development*, *37*, 283-299.

Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., Defries, J. C., Corley, R. P., & Hewitt, J. K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology: General*, *137*(2), 201-25. doi:10.1037/0096-3445.137.2.201

Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: a review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, *134*(1), 31-60. doi:10.1037/0033-2909.134.1.31

Grant, A.D., & Berg, E.A. (1948). A behavioral analysis of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type card sorting. *Journal of Experimental Psychology*, *38* (4), 404-411.

Houdé, O. (2000). Inhibition and cognitive development. *Cognitive Development*, *15*, 63–73.

Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, *132*(1), 47-70. doi:10.1037/0096-3445.132.1.47

Kharitonova, M, Chien, S., Colunga, E., & Munakata, Y. (2009). More than a matter of getting "unstuck": flexible thinkers use more abstract representations than perseverators. *Developmental Science*, *12*(4), 662–669. DOI: 10.1111/j.1467-7687.2008.00799.x

Kharitonova, Maria, & Munakata, Y. (2011). The Role of Representations in Executive Function: Investigating a Developmental Link Between Flexibility and Abstraction. *Frontiers in Psychology*, *2*. doi:10.3389/fpsyg.2011.00347

Logan, G. D., & Bundesen, C. (2003). Clever homunculus: Is there an endogenous act of control in the explicit task-cuing procedure? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*(3), 575-599. doi:10.1037/0096-1523.29.3.575

Logan, G. D., & Schneider, D. W. (2006). Interpreting instructional cues in task switching procedures: the role of mediator retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *32*(2), 347-63. doi:10.1037/0278-7393.32.3.347

Luria, A. R. (1961). *The role of speech in the regulation of normal and abnormal behavior*. Oxford, UK: Liveright.

Lucenet, J., Blaye, A., Chevalier, N., & Kray, J. (en révision). *Executive control and language across the lifespan: Does labeling improve reactive control?*

Maintenant, C., & Blaye, A. (2008). Développement de la flexibilité catégorielle de 3 à 8 ans : Rôle des aspects conceptuels. *L'Année Psychologique, 108*, 659-698. DOI: 10.4074/S0003503308004041

Marcovitch, S., Boseovski, J. J., & Knapp, R. J. (2007). Use it or lose it: examining preschoolers' difficulty in maintaining and executing a goal. *Developmental Science*, *10*(5), 559-64. doi:10.1111/j.1467-7687.2007.00611.x

Marcovitch, S., Boseovski, J. J., Knapp, R. J., & Kane, M. J. (2010). Goal neglect and working memory capacity in 4- to 6-year-old children. *Child Development*, *81*(6), 1687-95. doi:10.1111/j.1467-8624.2010.01503.x

McClelland, M. M., Cameron, C. E., Connor, C. M., Farris, C. L., Jewkes, A. M., & Morrison, F. J. (2007). Links between behavioral regulation and preschoolers' literacy,

vocabulary, and math skills. *Developmental psychology*, *43*(4), 947-59. doi:10.1037/0012-1649.43.4.947

McNab, F., & Klingberg, T. (2008). Prefrontal cortex and basal ganglia control access to working memory. *Nature Neuroscience*, *11*(1), 103-7. doi:10.1038/nn2024

Meiran, N. (1996). Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *22*(6), 1423-1442. doi:10.1037/0278-7393.22.6.1423

Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, *24*, 167-202. doi:10.1146/annurev.neuro.24.1.167

Minier, L., Blaye, A., Maugard, A., Fagot, J., Glady, Y., & Thibaut, J.-P. (sous presse). Rôle du contrôle exécutif dans le raisonnement par analogie chez l'enfant et le primate non humain. *Psychologie Française*.

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, *41*(1), 49-100. doi:10.1006/cogp.1999.0734

Miyake, A., Emerson, M. J., Padilla, F., & Ahn, J.-C. (2004). Inner speech as a retrieval aid for task goals: the effects of cue type and articulatory suppression in the random task cuing paradigm. *Acta Psychologica*, *115*(2-3), 123-42. doi:10.1016/j.actpsy.2003.12.004

Monsell, S. (2003). Task-set reconfiguration processes do not imply a control homunculus: Reply to Altmann. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*(8), 341-342. doi:10.1016/S1364-6613(03)00169-4

Moriguchi, Y., & Hiraki, K. (2011). Longitudinal development of prefrontal function during early childhood. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *1*(2), 153-62. doi:10.1016/j.dcn.2010.12.004

Morton, J. B., & Munakata, Y. (2002). Active versus latent representations: A neural network model of perseveration, dissociation, and decalage. *Developmental Psychobiology*, *40*(3), 255–265. doi:10.1002/dev.10033

Munakata, Y. (2001). Graded representations in behavioral dissociations. *Trends in Cognitive Sciences*, *5*(7), 309-315. PII: S1364-6613(00)01682-X

Norman, D.A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behaviour. In R.J. Davidson, G.E. Schwartz & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation*, *vol. 4* (pp. 1-18). New York: Plenum Press.

O'Reilly, R. C. (2006). Biologically based computational models of high-level cognition. *Science*, *314*, 91-94. *DOI: 10.1126/science.1127242*

Perret, P, Blaye, A., & Paour, J.L. (2003). Respective contributions of inhibition and knowledge levels in class inclusion development: A negative priming study. *Developmental Science, 6*, 3, 283-288. DOI: 10.1111/1467-7687.00284

Piaget, J., & Szeminska, A. (1941/1967). La genèse du nombre chez l'enfant. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.

Reimers, S., & Maylor, E. A. (2005). Task switching across the life span: Effects of age on general and specific switch costs. *Developmental Psychology*, *41*(4), 661-671. doi: 10.1037/0012-1649.41.4.661

Saeki, E., & Saito, S. (2004). Effect of articulatory suppression on task-switching performance: Implications for models of working memory. *Memory*, *12*(3), 257-271. doi:10.1080/09658210244000649

Thompson-Schill, S. L., Ramscar, M., & Chrysikou, E. G. (2009). Cognition without control: When a little frontal lobe goes a long way. *Current Directions in Psychological Science*, *18*(5), 259-263. doi:10.1111/j.1467-8721.2009.01648.x

Towse, J. N., Lewis, C., & Knowles, M. (2007). When knowledge is not enough: the phenomenon of goal neglect in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *96*(4), 320-32. doi:10.1016/j.jecp.2006.12.007

Vandierendonck, A., Liefooghe, B., & Verbruggen, F. (2010). Task switching: interplay of reconfiguration and interference control. *Psychological Bulletin*, *136*(4), 601-26. doi:10.1037/a0019791

Winsler, A., & Naglieri, J. (2003). Overt and covert verbal problem-solving strategies: developmental trends in use, awareness, and relations with task performance in children aged 5 to 17. *Child Development, 74*(3), 659-678. DOI: 10.1111/1467-8624.00561

Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and language*. Cambridge: MIT Press. (originally published in 1934)

Zelazo, P. D. (2006). The Dimensional Change Card Sort (DCCS): a method of assessing executive function in children. *Nature Protocols*, *1*(1), 297-301. doi:10.1038/nprot.2006.46

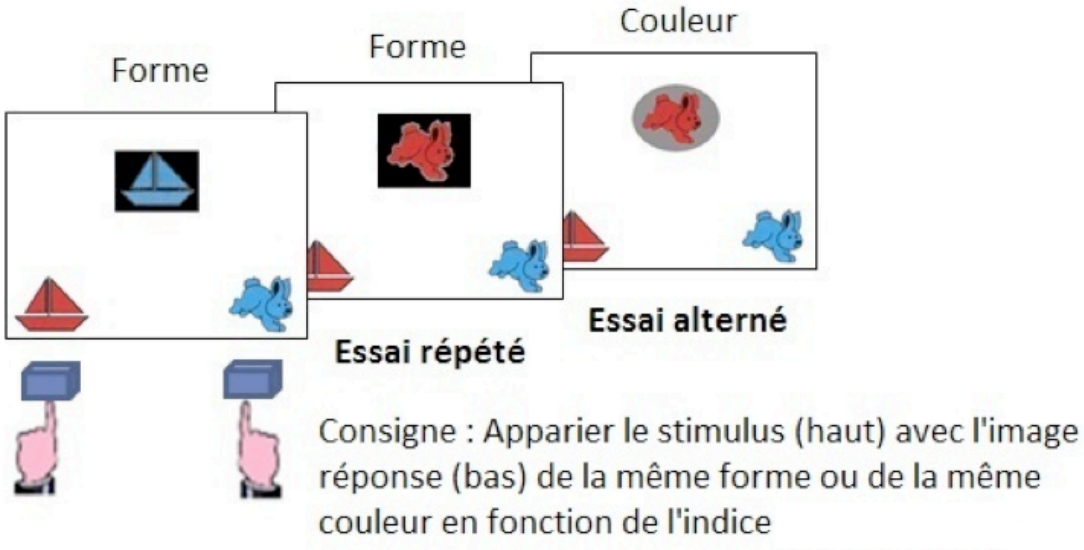

Figure 1. Illustration du paradigme d'alternance de tâche indicée. Dans cet exemple, le stimulus apparaît en haut de l'écran tandis que les deux images réponses apparaissent en bas de l'écran. Le fond derrière le stimulus constitue l'indice de la tâche. Ici, un fond carré et noir signalent qu'un appariement sur la forme est attendu tandis qu'un fond gris circulaire signale que l'appariement doit porter sur la couleur. Le participant répond en appuyant sur le bouton réponse situé du même côté que l'image réponse correcte. Adapté de Chevalier & Blaye (2009).

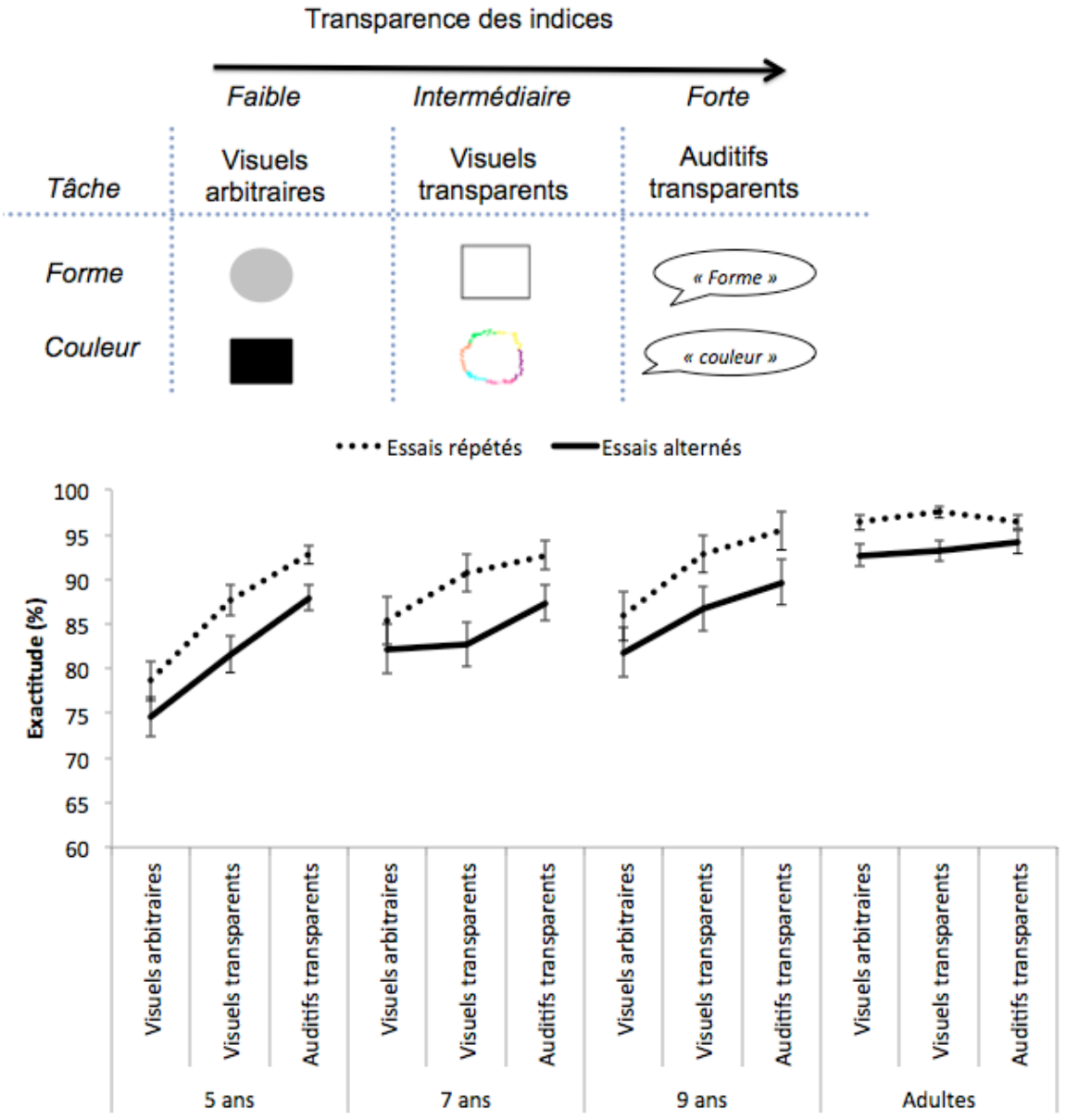

Figure 2. Manipulation de la transparence des indices de tâches (haut) et effet sur les performances des enfants de 5, 7 et 9 ans et des adultes (bas) dans le paradigme d'alternance de tâches indicées. Les barres d'erreur indiquent les erreurs standard. Adapté de Chevalier & Blaye (2009).

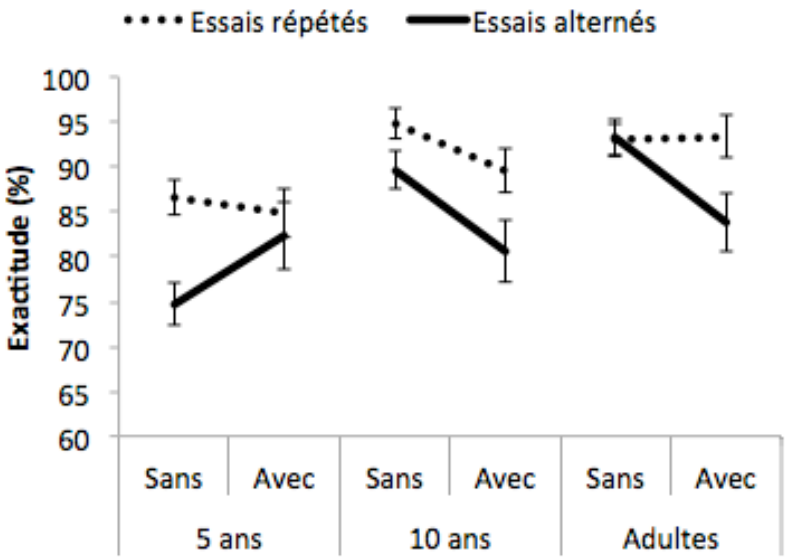

Figure 3. Exactitude des réponses dans le paradigme d'alternance de tâches indicées chez les enfants de 5 et 10 ans et les adultes en fonction de la présence ou non d'indices de transition (en plus des indices de tâche). Dans la condition « Sans », aucun indice de transition n'était fourni ; les participants entendaient le même pseudo-mot à tous les essais. Dans la condition « Avec », les indices de transition étaient les messages auditifs « même » (*same*) lors des essais répétés et « différent » (*different*) lors des essais alternés. Les barres d'erreur signalent les erreurs standard. Adapté de Chevalier, Huber, Wiebe & Espy (2013).

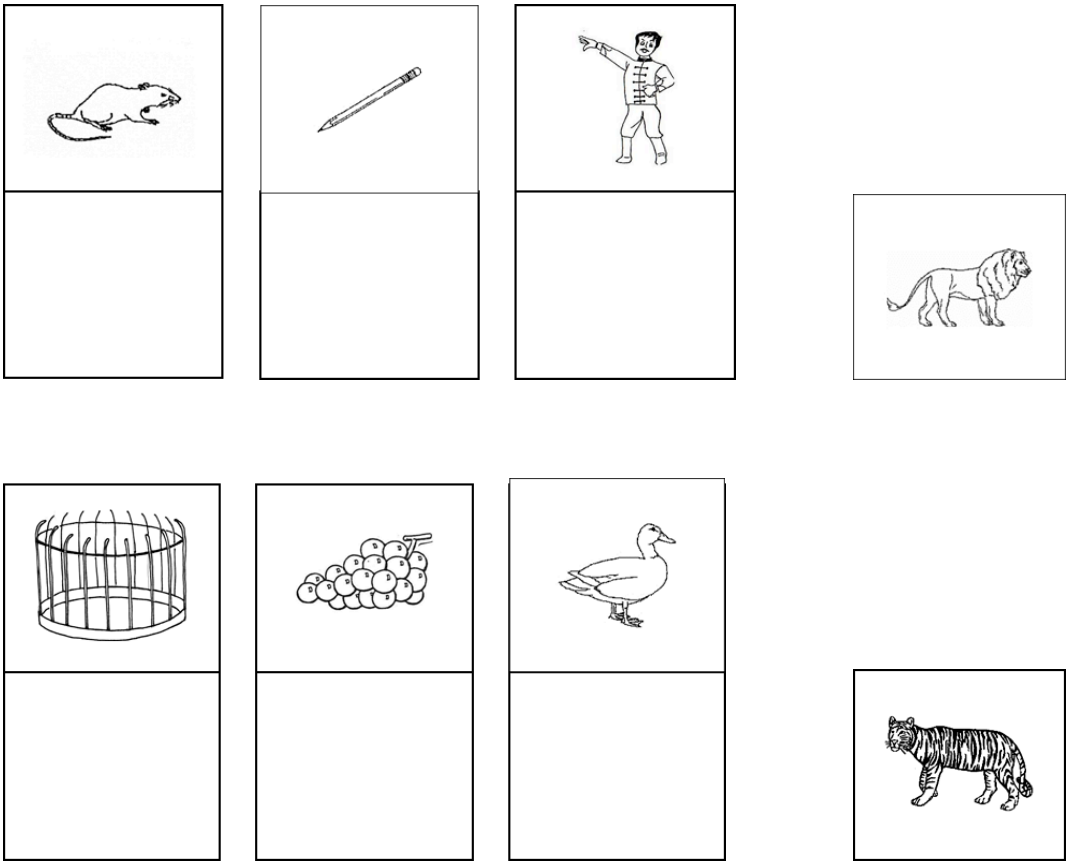

Figure 4. Exemples de stimuli (planches et cartes) utilisés dans l'épreuve de flexibilité catégorielle version sémantique spécifique. A chaque essai, les participants devaient associer l'image à droite avec l'une des trois images présentées à gauche et ainsi choisir entre un associé thématique (e.g., le dompteur), un associé taxonomique (e.g., la souris) et un non-associé (e.g., le crayon). Adapté de Maintenant & Blaye (2008).

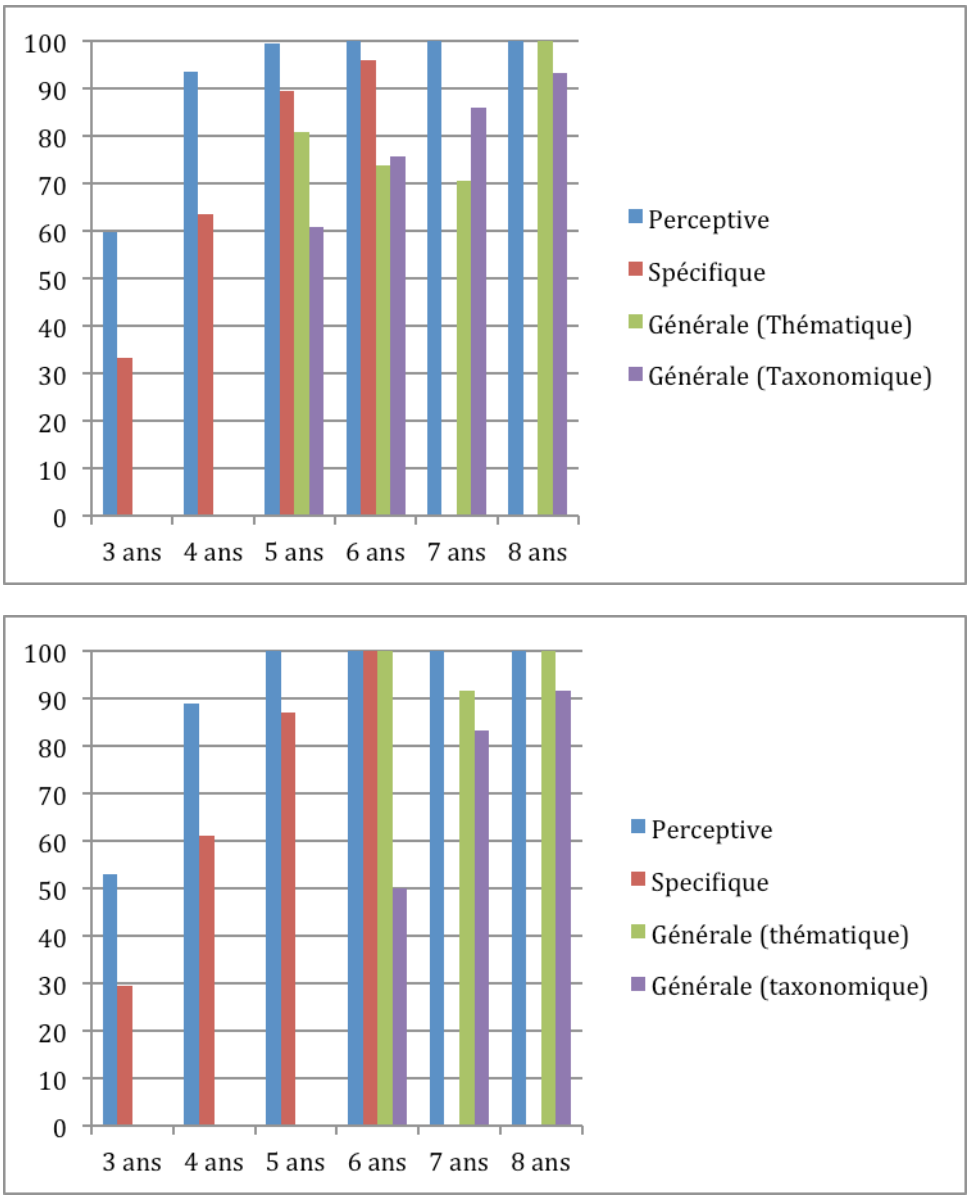

Figure 5. Score moyen (en pourcentage) selon l'âge et la version de l'épreuve (perceptive, sémantique spécifique, taxonomique ou thématique) pour la phase de bascule de l'épreuve de flexibilité catégorielle (graphique du haut) ; et pourcentage d'enfants réussissant l'épreuve selon l'âge et la relation testée en conceptualisation (graphique du bas). Adapté de Maintenant & Blaye (2008).