

Trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité et mémoire de travail

Attention deficit and hyperactivity disorder and working memory

H. Poissant*, H. Carboneau**



On reconnaît de manière générale chez les enfants présentant un trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) une difficulté à maintenir une attention constante, à accepter des délais, à maîtriser son comportement et une importante agitation motrice. Souvent considérés comme immatures, ces enfants ont tendance à ne pas terminer ce qu'ils commencent et se démotivent rapidement lorsqu'ils doivent fournir un effort. Le DSM-IV-TR (*American Psychological Association, 2000*) décrit des comportements associés à un trouble attentionnel, à un trouble d'hyperactivité/impulsivité ou à une combinaison des deux, qui constitue un sous-type mixte. Ces types sont définis par la présence d'au moins 6 comportements dans ces 2 sphères (sous-type mixte) ou d'au moins 6 comportements dans 1 des 2 sphères (type inattentif ou type hyperactif impulsif). Les symptômes doivent avoir été observés avant l'âge de 7 ans et se manifester de façon chronique. Outre les critères psychiatriques courants, plusieurs explications neuropsychologiques ont été proposées ces dernières années. Les plus actuelles concernent l'existence d'une dysfonction exécutive, elle-même tributaire de déficits d'inhibition. Dans ce contexte, nous nous intéresserons à présenter les substrats neurologiques du TDAH – et, en particulier, ceux des fonctions exécutives et de la mémoire de travail (MT). Nous verrons comment l'une des fonctions exécutives clés, à savoir la MT (verbale et non verbale), contribue à la compréhension du TDAH.

Bases neurobiologiques

Il existe actuellement un consensus concernant les bases neurobiologiques du TDAH, qui associe le trouble à un dysfonctionnement du circuit striato-frontal, comprenant les zones du cortex préfrontal orbital, ventro-médian (incluant le cortex cingulaire) et dorso-latéral (1). De plus, on a mis en évidence une hypofrontalité droite chez le sujet atteint de TDAH, particulièrement dans la zone dorso-latérale, lors d'activités de résolution de problèmes (2). Cette hypofrontalité de la zone dorso-latérale pourrait résulter d'un déficit des aires inférieures élémentaires. Par exemple, D.W. Evans et al. ont démontré que le cortex orbito-frontal est connecté aux régions frontales corticales supérieures, parmi lesquelles l'aire dorso-latérale, et qu'il est associé, entre autres, à la réévaluation de la signification émotionnelle des stimuli (3). Par ailleurs, l'étude du comportement de patients souffrant d'atteintes structurales et fonctionnelles des régions orbitale et ventro-médiane a permis de faire le lien entre leurs symptômes (pauvreté de la planification d'actions futures et difficulté à inhiber des réponses inappropriées) et le dysfonctionnement exécutif (4). Ainsi, le flot d'activation emprunterait le circuit striato-frontal par les zones ventrales pour se diriger vers les zones médianes et dorso-latérales du cortex préfrontal. Une fois traitées, les nouvelles données influenceraient les zones motrices, par le biais des noyaux gris centraux. Cette façon qu'a l'activation de circuler respecte à la fois l'évolution du déve-

* Université du Québec à Montréal, Canada.

** Centre de réadaptation Constance-Lethbridge, Montréal, Québec, Canada.

Résumé

Au-delà des symptômes communément décrits en psychiatrie pour le trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH), ce trouble fait l'objet de plusieurs explications en neuropsychologie. L'un des modèles explicatifs qui dominent est celui du déficit de l'inhibition, à son tour responsable du mal fonctionnement d'une série de fonctions exécutives, notamment la mémoire de travail (MT). Celle-ci se divise en 2 modalités : verbale et non verbale ou spatiale.

Bien que le modèle du déficit de l'inhibition prévienne des difficultés pour la MT dans le TDAH, les résultats des recherches actuelles demeurent équivoques. Toutefois, il semble, d'après les travaux récents, que la MT spatiale soit la plus touchée, peut-être du fait de l'hypoactivité cérébrale droite rencontrée chez les personnes atteintes.

Mots-clés

Trouble déficitaire de l'attention
Hyperactivité
Mémoire de travail
Fonctions exécutives
Inhibition

lancement cérébral et sa contrepartie cognitive. Une hiérarchie existerait donc dans les processus exécutifs qui dépendent eux-mêmes des structures sous-corticales. Aussi, le contrôle exécutif suggère l'existence d'un mécanisme opérationnel intégrateur circulatoire qui s'autorégule et où chaque fonction exécutive joue son rôle. Dans ce mécanisme, la capacité d'inhibition agirait comme un interrupteur on/off. Grâce à ce fonctionnement, l'attention, la MT et le retour sur ses propres processus cognitifs peuvent se développer.

Les fonctions exécutives

À ce jour, une majorité des chercheurs conçoit le TDAH comme résultant d'un délai dans la maturation cérébrale (5). Ce délai rendrait compte de plusieurs des déficits rencontrés chez les enfants ayant un TDAH. En parallèle à ces recherches, il existe un intérêt clinique croissant pour l'utilisation de mesures du fonctionnement cognitif neuropsychologique, spécifiquement au niveau des processus exécutifs. Les fonctions exécutives rendent possible un changement rapide de nos pensées pour s'adapter à diverses situations et inhiber des comportements inappropriés. Elles permettent de créer un plan, d'amorcer son exécution et de poursuivre une tâche jusqu'à la fin (6). Les fonctions exécutives sont associées au lobe frontal, mais il est reconnu (*voir "Les zones cérébrales", page 54*) qu'elles impliquent aussi d'autres zones corticales et sous-corticales (7). Selon une méta-analyse de 83 études publiées entre 1994 et 2004, le TDAH serait effectivement associé à des déficits de fonctions exécutives – parmi lesquelles, plus spécifiquement, le contrôle inhibitoire, la MT, la flexibilité ou le contrôle de l'interférence – et à des difficultés au niveau de l'attention soutenue, de la persévérance de la réponse et de la fluidité verbale et non verbale (8).

Fonctions exécutives inférieures

Une majorité de chercheurs reconnaît que les fonctions exécutives sont symptomatiques dans le TDAH. Malgré des avancées importantes, le concept de

fonction exécutive demeure assez flou et sujet à controverse quant à ses mesures. Pour cette raison, on observe actuellement une tendance à diviser les fonctions exécutives en 2 groupes distincts sur les plans phylogénique, ontogénique et anatomique : les fonctions inférieures et les fonctions supérieures. Fait intéressant, une dichotomie anatomo-clinique existe au sein des lobes frontaux, les divisant en portions inférieures (ventro-orbitales) et supérieures (dorso-latérales) ; cela paraît appuyer la distinction des fonctions exécutives. Cette distinction permettrait d'améliorer la compréhension des mécanismes sous-jacents au TDAH. Les fonctions exécutives inférieures mettent en jeu des fonctions de base telles que la vitesse d'exécution motrice, l'inhibition d'une réponse comportementale, l'attention sélective soutenue et le contrôle de l'interférence. Les fonctions exécutives inférieures seraient des préalables aux fonctions exécutives supérieures, notamment la MT. Ainsi, le contrôle moteur, la performance à des tâches attentionnelles (attention sélective et soutenue) et le contrôle de l'interférence agissent comme conditions nécessaires au déclenchement des fonctions exécutives supérieures, parmi lesquelles la MT (9).

Le défaut d'inhibition

Selon une méta-analyse, seul un défaut d'inhibition motrice (impulsivité) apparaît de façon constante en cas de TDAH (10). Au cours des dernières années, un grand nombre de chercheurs ont exploré le rôle que joue le cortex préfrontal dans le TDAH et, plus spécifiquement, dans le défaut d'inhibition. Toutefois, selon C.A. Winstanley et al., le cortex préfrontal dorsal ne participerait pas seul au contrôle de l'impulsivité (11). L'inhibition de la réponse dépendrait surtout des zones préfrontales ventrales et médianes qui reçoivent des afférences du système limbique et du striatum (putamen, pallidum et noyau caudé). Le striatum interviendrait donc dans certains processus élémentaires mis à contribution dans les fonctions exécutives. Morphologiquement, il est d'ailleurs plus petit chez les individus présentant un TDAH. Plus précisément, plusieurs auteurs associent le noyau caudé au contrôle inhibiteur dans le TDAH (12).

Summary

Beyond symptoms commonly described in psychiatry for attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD), this disorder has recently received many neuropsychological explanations. One of the major theory for the understanding of ADHD is a deficit of inhibition. This deficit is responsible for the underachievement of a series of executive functions, namely working memory (WM). The latter subdivides in two modalities: verbal and non-verbal or spatial.

The inhibition theory predicts difficulties in WM for ADHD but, to this day, results of research remain inconsistent. However, according to recent data from a meta-analysis, spatial working memory is more impaired than verbal working memory in ADHD. This result could be due to the cerebral right hypofrontality commonly encountered in children with ADHD.

Keywords

Attention-deficit
Hyperactivity
Working memory
Executive functions
Inhibition

Fonctions exécutives supérieures

Les fonctions exécutives de type supérieur, parmi lesquelles la MT, sont essentielles à l'autorégulation des pensées et du comportement et mettent en jeu des processus exécutifs de haut niveau. Par exemple, dans le test du *Wisconsin Card Sorting Task (WCST)*, une épreuve prototype des mesures de fonctions exécutives supérieures, la résolution d'un problème exige de :

- construire une représentation du problème dans l'espace mémoire (*buffer*) en identifiant les dimensions pertinentes ;
- choisir un plan prometteur ;
- garder ce plan en mémoire suffisamment longtemps pour guider la pensée ou l'action ;
- poser le bon geste (13).

Le dysfonctionnement de ce système exécutif supérieur produit le syndrome dysexécutif. Les processus exécutifs exigent ainsi de porter des jugements sur des données maintenues en mémoire et de procéder activement à la récupération d'informations spécifiques gardées en mémoire à long terme. Le succès de ces opérations cognitives dépend alors de l'intégrité de la MT.

Interrelations des fonctions exécutives inférieures et supérieures

Ainsi, les fonctions de type hiérarchiquement inférieur diffèrent-elles – notamment sur le plan neuroanatomique – de celles de type supérieur. Les premières seraient au service des secondes – mais un défaut de ces fonctions inférieures entraînerait le dérèglement des fonctions supérieures : par exemple, le défaut d'inhibition motrice (fonction exécutive inférieure) limiterait le potentiel d'autorégulation cognitive ou/et de MT de l'enfant (fonction exécutive supérieure). La possibilité que les troubles des fonctions exécutives supérieures observés chez les enfants ayant un TDAH ne soient que le produit des troubles de fonctions exécutives inférieures mérite d'être mieux examinée, étant donné son importance théorique et clinique. Dans ce contexte, il apparaît que des fonctions cognitives supérieures – parmi lesquelles la MT – pourraient avoir été rendues simplement non opérationnelles, tout en restant effectivement préservées. Une expérimentation auprès d'enfants atteints de TDAH va précisément en ce sens, en montrant que la MT non verbale est améliorée à la suite d'un entraînement, ce qui indique que les capacités de la MT peuvent être dérégulées tout en étant préservées.

Zones cérébrales et mémoire de travail

Lors des tâches de MT, les zones cérébrales plus spécifiquement touchées sont situées dans le cortex préfrontal dorso-latéral, en particulier lorsqu'il y a surcharge d'informations. Cependant, il n'y aura dysfonction chez les sujets ayant une atteinte dans cette région que si une distraction ou un délai est introduit lors d'une tâche de MT. Cette constatation permet de croire qu'une fonction exécutive de type inférieur, le contrôle de l'interférence, est un prérequis à un fonctionnement efficace de la MT. Mais les résultats des recherches sur les patients lésés anatomiquement au niveau du cortex préfrontal dorso-latéral, avec des variations au niveau du délai de réponse, ne démontrent pas de façon manifeste son rôle dans la MT. Il semblerait que celle-ci fasse plutôt partie d'un ensemble de fonctions exécutives servant la résolution de problèmes dans la réalisation d'un but, grâce à des circuits neuroanatomiques favorisant la circulation d'informations sous-tendant plusieurs processus cognitifs. Dans ces circuits, il pourrait y avoir des mécanismes (méconnus) d'autorégulation permettant à un système de se maintenir en équilibre tout en intégrant d'autres systèmes.

Mémoire de travail et déficit de l'inhibition

La MT est cette capacité cognitive à récupérer et à garder en mémoire, pendant un court laps de temps, des informations en vue de les traiter afin de faciliter la résolution de problèmes et de guider les actions. Elle est aussi définie comme l'habileté à garder des informations à l'esprit en l'absence d'indice externe et à utiliser ces informations pour diriger une réponse imminente (14). Sur le plan ontogénique, l'inhibition comportementale et la réponse avec délai auraient permis à l'individu de passer d'un comportement influencé par des contingences externes à un comportement soumis à des règles internalisées. L'inhibition et le délai génèrent un intervalle de temps qui permet de se référer au passé et de maintenir des formes symboliques (dans la perspective d'un rappel ultérieur) en vue d'élaborer des situations hypothétiques et de leur associer leurs conséquences. Grâce à la mise en place de ces processus, des plans et des comportements anticipatoires s'amorcent. Une

autre fonction de la MT favorisée par le processus inhibitoire est le développement et l'internalisation du langage, lequel permet, à son tour, un retour sur ses actions, une évaluation et une modification de son comportement.

Le modèle de l'inhibition comportementale de R.A. Barkley met en évidence les effets débilissants de la dysfonction inhibitoire, dont découleraient tous les autres déficits exécutifs rencontrés dans le TDAH, parmi lesquels, hypothétiquement, ceux de la MT (15). L'auteur distingue 2 mémoires : la MT non verbale (capacité à manipuler mentalement des informations, à estimer le temps et à reproduire des séquences motrices complexes) et la MT verbale ou l'internalisation du langage (capacités d'autolangage consistant à se parler à soi-même, comme pour se donner des directives d'intériorisation des instructions, des règles et des métarègles, et de raisonnement). Selon ce modèle, l'inhibition de la réponse est liée à la MT, dans le sens où la première permet à la seconde de se développer et de fonctionner efficacement. Selon R.A. Barkley, la MT verbale joue ainsi un rôle important dans l'autorégulation comportementale, en offrant un espace cognitif où les verbalisations internes prennent place.

Mémoire de travail spatiale

Théoriquement, la MT apparaît donc comme une fonction centrale, de première importance dans les déficits cognitifs liés au TDAH. Toutefois, tous les auteurs ne confirment pas de déficit de la MT chez les enfants atteints de TDAH par comparaison avec des sujets sans TDAH (16). Une des premières revues d'importance concernant un éventuel déficit de la MT chez les enfants avec un TDAH, celle de B.F. Pennington et S. Ozonoff, faisait déjà état de résultats équivoques (17). De même, la méta-analyse de E.G. Willcutt et al. indique que, parmi 11 études, seule 1 sur 2 environ (55 %) rapporte une différence significative sur des tâches de MT verbale entre des groupes de sujets atteints de TDAH et des groupes de sujets contrôles (8). R. Martinussen et al. soulignent toutefois qu'il est difficile de généraliser ces résultats, car les premières études portaient surtout sur la MT verbale (18). Depuis, les études se sont aussi intéressées à la MT spatiale (non verbale). Ces derniers auteurs identifient quelques raisons au manque de convergence des résultats des études. Premièrement, les variations peuvent être dues à

la modalité, verbale ou spatiale, employée dans les tâches de MT. En outre, l'absence de contrôle de certaines variables, comme les difficultés de lecture et le fonctionnement intellectuel général, peut jouer dans la performance de la MT. Des études démontrent ainsi que le fait de contrôler les difficultés de lecture chez les participants avec TDAH élimine les différences de groupe (19). Le contrôle de la performance intellectuelle aurait le même genre d'effet (16). Les résultats de la méta-analyse de R. Martinussen et al. indiquent que les enfants avec un TDAH ont des déficits – variant de modérés à importants – pour les tâches de MT (18). Ces déficits sont plus marqués dans la modalité spatiale de la MT, les déficits dans la modalité verbale étant établis comme moindres. Enfin, le contrôle du facteur de la "difficulté de lecture/déficit langagier" explique une part significative de la variance de la MT spatiale, mais ne semble pas affecter autant la variance de la MT verbale. Les auteurs proposent d'expliquer cet écart des résultats entre MT spatiale et MT verbale (la première étant plus affectée que la seconde) par le fait que la MT spatiale relève davantage de l'hémisphère droit – lequel semble particulièrement impliqué dans la problématique du TDAH. Il se peut aussi que d'autres facteurs, comme la difficulté de coordination motrice, présente dans environ la moitié des cas de TDAH, n'aient pas été pris en compte dans ces études.

Conclusion

Les résultats actuels sur la MT indiquent un déficit chez les enfants avec un TDAH, surtout au niveau de la MT spatiale. Ce déficit peut s'expliquer par l'hypofrontalité droite fréquemment rencontrée dans ce trouble. Ces premiers résultats sont toutefois modulés par certains facteurs, comme les difficultés de lecture ou la performance intellectuelle. Dans l'ensemble, ces résultats s'accordent avec les données de neuropsychologie et d'imagerie cérébrale décrivant une dysfonction fronto-striatale, de même qu'avec les savoirs récents concernant le système dopaminergique qui serait défaillant dans le TDAH. La MT est en effet largement dépendante du fonctionnement des régions préfrontales du cerveau, tout en étant modulée par les catécholamines. Enfin, la MT étant tributaire des fonctions exécutives inférieures et des capacités d'inhibition, son étude doit être replacée dans le contexte global des processus exécutifs et cognitifs. ■

Références bibliographiques

1. Vaidya CJ, Bunge SA, Dudukovic NM, Zalecki CA, Elliott GR, Gabrieli JD. Altered neural substrates of cognitive control in childhood ADHD: evidence from functional magnetic resonance imaging. *Am J Psychiatry* 2005;162(9):1605-13.
2. Rubia K, Overmeyer S, Taylor E et al. Hypofrontality in attention deficit hyperactivity disorder during higher-order motor control: a study with functional MRI. *Am J Psychiatry* 1999;156(6):891-6.
3. Evans DW, Lewis MD, Lobst E. The role of the orbitofrontal cortex in normally developing compulsive-like behaviors and obsessive-compulsive disorder. *Brain Cog* 2004;55:220-34.
4. Elliott R. Executive functions and their disorders. *Br Med Bull* 2003;65:49-59.
5. Durston S. A review of the iological ases of ADHD: what have we learn from imaging studies? *Mental Retard Dev Disabil Res Rev* 2003;9:184-95.
6. Jurado MB, Rosseli M. The elusive nature of executive functions: a review of our current understanding. *Neuropsychol Rev* 2007;17:213-33.
7. Riccio CA, Reynolds CR, Lowe PA. *Clinical applications of continuous performance tests: measuring attention and impulsive responding in children and adults*. New York: John Wiley & Sons Inc., 2001.
8. Willcutt EG, Doyle AE, Nigg JT, Faraone SV, Pennington BF. Validity of the executive function theory of attention-deficit/hyperactivity disorder: a meta-analytic review. *Biol Psychiatry* 2005;57(11):1336-46.
9. Happaney K, Zelazo PD, Stuss DT. Development of orbitofrontal function: current themes and future directions. *Brain Cog* 2004;55(1):1-10.
10. Castellanos FX, Sonuga-Barke EJ, Milham MP, Tannock R. Characterizing cognition in ADHD: beyond executive dysfunction. *Trends Cog Sci* 2006;10(3):117-23.
11. Winstanley CA, Eagle DM, Robbins TW. Behavioral models of impulsivity in relation to ADHD: translation between clinical and preclinical studies. *Clin Psychol Review* 2006;26:379-95.

Retrouvez l'intégralité des références bibliographiques sur le site : www.edimark.fr

Références bibliographiques

1. Vaidya CJ, Bunge SA, Dudukovic NM, Zalecki CA, Elliott GR, Gabrieli JD. Altered neural substrates of cognitive control in childhood ADHD: evidence from functional magnetic resonance imaging. *Am J Psychiatry* 2005;162(9):1605-13.
2. Rubia K, Overmeyer S, Taylor E et al. Hypofrontality in attention deficit hyperactivity disorder during higher-order motor control: a study with functional MRI. *Am J Psychiatry* 1999;156(6):891-6.
3. Evans DW, Lewis MD, Lobst E. The role of the orbitofrontal cortex in normally developing compulsive-like behaviors and obsessive-compulsive disorder. *Brain Cog* 2004;55:220-34.
4. Elliott R. Executive functions and their disorders. *Br Med Bull* 2003;65:49-59.
5. Durston S. A review of the biological bases of ADHD: what have we learned from imaging studies? *Mental Retard Dev Disabil Res Rev* 2003;9:184-95.
6. Jurado MB, Rosselli M. The elusive nature of executive functions: a review of our current understanding. *Neuropsychol Rev* 2007;17:213-33.
7. Riccio CA, Reynolds CR, Lowe PA. *Clinical applications of continuous performance tests: measuring attention and impulsive responding in children and adults*. New York: John Wiley & Sons Inc., 2001.
8. Willcutt EG, Doyle AE, Nigg JT, Faraone SV, Pennington BF. Validity of the executive function theory of attention-deficit/hyperactivity disorder: a meta-analytic review. *Biol Psychiatry* 2005;57(11):1336-46.
9. Happaney K, Zelazo PD, Stuss DT. Development of orbitofrontal function: current themes and future directions. *Brain Cog* 2004;55(1):1-10.
10. Castellanos FX, Sonuga-Barke EJ, Milham MP, Tannock R. Characterizing cognition in ADHD: beyond executive dysfunction. *Trends Cog Sci* 2006;10(3):117-23.
11. Winstanley CA, Eagle DM, Robbins TW. Behavioral models of impulsivity in relation to ADHD: translation between clinical and preclinical studies. *Clin Psychol Review* 2006;26:379-95.
12. Vaidya JC, Austin G, Kirkorian G et al. Selective effects of methylphenidate in attention deficit hyperactivity disorder: a functional magnetic resonance study. *Proc Natl Acad Sci* 1998;95:14494-9.
13. Zelazo PD, Muller U. Hot and cool aspects of executive function: relations in early development. Dans : Zelazo PD, Muller U, Frye D, Marcovitch S. *The development of executive function in early childhood*. *Mono Soc Res Child Dev* 2003;68(3), Serial No. 274.
14. Goldman-Rakic PS. Regional and cellular fractionation of working memory. *Proc Natl Acad Sci USA* 1996;93:13473-80.
15. Barkley RA. *Taking charge of ADHD: the complete authoritative guide for parents*. New York: Guilford, 2005.
16. Kuntsi J, Oosterlaan J, Stevenson J. Psychological mechanisms in hyperactivity: I. Response inhibition deficit, working memory impairment, delay aversion, or something else? *J Child Psychol Psychiatry* 2001;42(2):199-210.
17. Pennington BF, Ozonoff S. Executive functions and developmental psychopathology. *J Child Psychol Psychiatry* 1996;37:51-87.
18. Martinussen R, Hayden J, Hogg-Johnson S, Tannock R. A meta-analysis of working memory impairments in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 2005;44:377-84.
19. Rucklidge JJ, Tannock R. Neuropsychological profiles of adolescents with ADHD: effects of reading difficulties and gender. *J Child Psychol Psychiatry* 2002;43:988-1003.