
8

Cognition

L'étude des fonctions cognitives telles que la perception, l'attention, les fonctions exécutives et la mémoire est essentielle à la compréhension des difficultés des individus présentant un TDC. En outre, il est important de prendre en compte d'éventuels troubles cognitifs dans le TDC car tous les enfants présentant des difficultés motrices développementales, quel que soit leur degré de sévérité, sont à risque de problèmes d'apprentissage, d'attention et de fonctionnement psychosocial (Dewey et coll., 2002⁵⁶). Par ailleurs, selon Michel et coll. (2018), la recherche de processus cognitifs sous-jacents au TDC est nécessaire pour comprendre l'étiologie et le pronostic. Néanmoins, il est actuellement difficile d'avoir une vision globale de la cognition dans le TDC.

Bien que les théories dynamiques et écologiques du contrôle moteur deviennent de plus en plus présentes dans les publications sur le TDC (voir Blank et coll., 2019 ; Wilson et coll., 2017a), la méta-analyse de Wilson et coll. (2013) et la revue systématique de Wilson et coll. (2017a) mettent en évidence que l'étude des fonctions de haut niveau dans le TDC est dominée par les théories cognitives depuis les années 1990. Cette approche considère que la production d'une réponse motrice est le résultat de la mise en œuvre de processus moteurs et cognitifs (Schmidt et Lee, 2002). Les deux équipes de recherches les plus représentatives dans ce domaine sont l'équipe de Peter Wilson située à Melbourne en Australie et celle de Chia-Lang Tsai située à Taïwan en Chine. Dans les publications, les processus cognitifs tels que la perception, l'attention, les fonctions exécutives, la métacognition et la mémoire sont envisagés de manière isolée. Ainsi, chaque publication traite d'un processus particulier, exploré par une méthode expérimentale spécifique, et donne lieu, la plupart du temps, à une conclusion en termes de déficits plutôt que de fonction préservée. Les protocoles consistent à comparer les performances à des tâches expérimentales de groupes de participants présentant un TDC aux performances de groupes contrôles ou dans

56. « *All children with developmental movement problems, no matter what the degree or severity are at risk for problems in learning, attention and psychological functioning.* » (Dewey et coll., 2002, p. 905).

la norme pour des tests neuropsychologiques standardisés. Les résultats présentés concernent des groupes (et donc des comparaisons de moyennes). Ils n'indiquent donc pas que tous les enfants présentant un TDC sont concernés par les déficits rapportés, d'autant plus qu'une grande diversité de cas est constatée. En outre, les déficits rapportés semblent aussi dépendre des tâches proposées. Or, en accord avec les approches dynamique et écologique de la motricité, il semble indispensable de prendre en compte l'interaction entre les particularités individuelles et les contraintes environnementales (exigences des tâches proposées) pour expliquer les déficits des TDC (Wilson et coll., 2017a ; 2017b ; Blank et coll., 2018). En d'autres termes, pour comprendre le déficit moteur, il semble important de prendre en compte le niveau de complexité de l'exercice moteur (Leonard et coll., 2015), mais aussi le rôle de la contrainte temporelle (puisque le TDC entraîne une lenteur dans la vitesse de traitement de l'information) (voir Bernardi et coll., 2016), la charge de mémoire de travail, le degré de perception visuo-spatiale et d'imagerie motrice requis.

Hétérogénéité des déficits perceptifs

Deux méta-analyses sur les processus cognitifs dans le TDC ont été réalisées par Wilson et son équipe (Wilson et McKenzie, 1998 ; Wilson et coll., 2013). La méta-analyse de Wilson et McKenzie (1998) porte sur 50 études réalisées de 1963 à 1996, correspondant à 374 tailles d'effet basées sur 983 TDC et 987 contrôles de 5 à 16 ans (diagnostiqués sur la base du DSM-IV). La méta-analyse de Wilson et coll. (2013) porte sur 129 études réalisées entre 1997 et 2011 avec 1785 tailles d'effets basés sur 2797 individus présentant un TDC et 3407 contrôles. Les deux méta-analyses révèlent des déficits perceptifs chez les individus présentant un TDC.

Peu d'études sur les déficits sensoriels primaires

Il semble important de préciser que les enfants porteurs d'un TDC ne présentent pas d'altération des organes de réception de l'information sensorielle (visuels et/ou auditifs notamment, ceci constituant des critères d'exclusion dans le DSM-5). Au niveau visuel, les études ne montrent pas de déficit dans les mesures de potentiels évoqués visuels enregistrés avec l'électroencéphalographie suggérant une préservation des voies visuelles (Mon-Williams et coll., 1994 et 1996 ; Wilson et McKenzie, 1998). Au niveau auditif, une étude ne montre pas de déficit auditif, mesuré à l'aide de potentiels évoqués auditifs (Mon-Williams et coll., 1994). Sur le plan

ophtalmique, selon Sumner et coll. (2016), les résultats sont controversés car certains indiquent une absence de différence entre les enfants présentant un TDC et ceux du groupe contrôle (Mon-Williams et coll., 1994), alors que d'autres trouvent que les enfants qui ont les difficultés motrices les plus sévères ont plus de risques de présenter une hypermétropie.

Hétérogénéité du déficit de perception visuelle

La perception visuelle n'est pas perturbée dans toutes les tâches

Les résultats ne sont pas unanimes concernant un déficit de perception visuelle chez les enfants présentant un TDC (Sumner et coll., 2016). Selon la méta-analyse de Wilson et McKenzie (1998 ; voir aussi Parush et coll., 1998 ; Schoemaker et coll., 2001), le déficit dans les tâches visuo-spatiales (VS) est retrouvé. Cependant, la taille de l'effet est majorée dans le cas de tâches impliquant la motricité (taille d'effet large : $r = 0,55$ versus taille d'effet modérée à large : $r = 0,43$ pour des tâches sans composante motrice). L'existence de ce déficit dans les tâches visuo-spatiales existe dans les tâches réalisées sous contrainte de temps comme dans les tâches réalisées à la vitesse que le sujet choisit. Une lenteur générale d'inspection visuelle est rapportée chez ces enfants (Piek et coll., 2007).

Wilson et coll., 2013, retrouve une large taille d'effet pour le déficit de la fonction sensori-perceptive incluant la détection de formes basiques, la détection de mouvements et le traitement de l'information visuo-spatiale avec et sans composante motrice.

Des travaux ultérieurs (Tsai et coll., 2008a ; Cheng et coll., 2014), portant sur une évaluation des habiletés perceptives avec le *Test of Visual-Perceptual Skills Revised* (TVPS-R) sur un grand échantillon d'enfants présentant un TDC ($n = 178$ enfants présentant un TDC et 200 enfants contrôles dans l'étude de Tsai et coll., 2008), précisent que ces derniers ont globalement un score total plus faible que les enfants du groupe contrôle mais pas tous et pas sur tous les sub-tests. Ceci pourrait être en partie dû à l'existence d'un sous-groupe d'enfants présentant des déficits de perception visuo-spatiale (Chaix et Albaret, 2014). Les conclusions récentes ne mettent pas en avant de déficit général visuel chez les enfants présentant un TDC (Sumner et coll., 2016). Il existe donc une hétérogénéité dans les troubles visuo-perceptifs au sein du TDC, avec une différence plus prononcée pour certains aspects. La perception visuelle des formes apparaît particulièrement affectée (discrimination visuelle, cohérence de forme visuelle (« visual form constancy ») de même que la complétion de forme (Tsai et coll., 2008a) et la

reconnaissance visuelle de formes testée avec une tâche de reconnaissance de figure à partir d'une figure incomplète⁵⁷ par Sigmundsson et Hopkins (2005). La méta-analyse de Wilson et coll. (2013) précise que les enfants présentant un TDC présentent non seulement une faible détection de formes statiques mais également de formes en mouvement. Sigmundsson et coll. (2003) interprètent ces déficits comme étant le reflet d'un dysfonctionnement des systèmes de traitement de l'information visuelle (voies visuelles extra-striées ventrale et dorsale). D'autres auteurs ont émis l'hypothèse selon laquelle la poursuite visuelle d'un objet pourrait être en lien avec un dysfonctionnement du cervelet, le cortex préfrontal, pariétal, les régions temporales médiales et le cortex visuel (Leonard, 2016), ce qui est cohérent avec les résultats d'une étude en neuro-imagerie montrant des activations atypiques de ces régions dans le TDC (Zwicker et coll., 2009).

La perception de mouvements/vitesses/distances a été étudiée de manière approfondie, mais sur un faible nombre d'enfants⁵⁸, par un groupe de recherche anglais. Les études portent sur le jugement de vitesse/distances chez les enfants présentant un TDC lors de mise en situation de traversées de route en présence d'automobiles (Purcell et coll., 2011). Les résultats indiquent que ces enfants présentent un déficit de jugement de la vitesse ainsi qu'un déficit de discrimination entre deux vitesses. Plus précisément, les enfants présentant un TDC ne distinguent pas si un véhicule dépasse la limite de vitesse autorisée et ils discriminent la vitesse de deux véhicules si l'un roule à 32 km/h et l'autre au-dessus de 164 km/h, alors que ceux qui ne présentent pas un TDC discriminent plus précisément entre 32 km/h et 85 km/h. Les auteurs trouvent également une corrélation entre le score au MABC-2 et les erreurs de discrimination de vitesse : plus la coordination motrice est perturbée, plus la difficulté à discriminer entre deux vitesses est importante. Ainsi, les TDCp (identifiés dans certains articles comme présentant un « TDC probable » car leurs résultats au MABC-2 sont compris entre le 5^e et le 15^e percentile) présentent des résultats équivalents aux enfants typiques en terme de jugement de vitesses, ils présentent, comme ceux présentant un TDC, une attitude prudente dans la décision de traverser ou non une route. Les auteurs ont émis l'hypothèse d'un manque d'expérience de la part des enfants présentant un TDC ou un TDCp pour expliquer ces résultats. Ils évoquent également le fait que des déficits dans la perception de vitesses pourraient entraîner des erreurs dans la décision de traverser ou non la route chez ces enfants.

57. *Illinois Test of Psycholinguistic Abilities*(ITPA)

58. 15 TD de 6 à 11 ans avec un score de MABC-2 >25^e percentile ; 9 DCD de 6 à 11 ans avec un score de MABC-2 < 5^e et 6 probables DCD de 7 à 11 ans avec un score de MABC-2 entre le 5 et le 16^e.

Lien perception visuelle – motricité

L'étude récente de Cheng et coll. (2014) indique que les scores au MABC-2 des enfants présentant un TDC sont corrélés avec différents scores aux tests perceptifs. La question du lien entre le déficit perceptif visuel et le déficit moteur a été discutée par Alloway (2006). Plusieurs hypothèses coexistent dans la littérature :

- une première hypothèse est que les déficits moteurs et visuels sont conjoints et s'expliquent par un dysfonctionnement commun. Cette hypothèse est étayée par les études montrant un dysfonctionnement cérébelleux dans le TDC (Lundy-Ekman et coll., 1991 ; Sigmundsson et coll., 2003 ; voir chapitre « Contrôle sensorimoteur ») ;
- une deuxième hypothèse est que les habiletés motrices et perceptives sont dissociées. Cette hypothèse est supportée par le fait que les performances visuelles (*Developmental Test of Visual Perception* : DTVP-2) et motrices (MABC) sont non corrélées (Lord et Hume, 1988 ; Henderson et coll., 1994 ; Schoemaker et coll., 2001) ou peu corrélées (Van Waelvelde et coll., 2004 ; Tsai et Wu, 2008) ;
- une troisième hypothèse intermédiaire, plus ancienne, est que les habiletés visuelles et motrices se développent indépendamment chez l'enfant typique mais que l'association entre troubles moteurs et visuels augmente avec la sévérité des déficits moteurs (Parush et coll., 1998). Cette hypothèse est en lien avec l'hypothèse du développement cérébral atypique (Kaplan et coll., 1998 ; Gilger et Kaplan, 2001) qui est une condition neuro-développementale généralisée reflétant des anomalies neurologiques diffuses communes à tous les troubles neuro-développementaux (TDA/H, TDC, dyslexie, etc.).

Dans l'hypothèse où il existe des liens directionnels entre perception visuelle et motricité, trois possibilités restent à explorer :

- une influence de la perception sur la motricité (approche *top-down* défendue par Wilson et McKenzie, 1998 ; Alloway, 2006) ;
- une influence de la motricité sur la perception (approche *bottom-up* défendue par Wade et coll., 2016) ;
- une interaction ou couplage entre la perception et l'action avec une influence mutuelle et permanente de l'une sur l'autre (approche écologique défendue par Wade et Kazeck, 2018 ou cognition incarnée défendue par Leonard, 2016). Selon cette perspective, la perception et l'action ne doivent pas être étudiée indépendamment puisque le déficit serait dû à un défaut de couplage perception – action et non à un déficit de perception ou de motricité (Wade et coll., 2005 ; Wade et Kazeck, 2018).

Importance de la prise en compte des troubles associés

L'étude de Crawford et Dewey (2008) a porté sur l'effet des troubles associés sur la perception visuelle *via* le *Test of Visual Perceptual Skills* (TVPS)⁵⁹. Les résultats indiquent que les enfants présentant un TDC sans trouble associé ne présentent pas de déficit de perception visuelle. La présence de déficit de perception visuelle est conditionnée par la présence d'association avec le TDA/H ou le déficit de lecture (voir aussi Loh et coll., 2011). Plus les troubles associés sont nombreux et plus le déficit perceptif est important. En revanche, lorsqu'il s'agit de raisonnement perceptif (évalué par le WISC-IV), les enfants présentant un TDC (avec ou sans comorbidité avec le TDA/H) présentent un déficit plus important que les enfants avec TDA/H seul et les enfants contrôles (Loh et coll., 2011).

Pour conclure, alors que le déficit de perception visuelle dans le TDC était au premier plan dans la méta-analyse de Wilson et McKenzie (1998), il prend une importance moindre par rapport à d'autres déficits (par ex., fonctions exécutives et imagerie motrice, que nous verrons plus loin) dans la méta-analyse de Wilson et coll. de 2013. Ceci peut être expliqué par le fait que les études mettent en avant une hétérogénéité des déficits, en fonction des tâches et des troubles associés. Enfin, le lien entre le déficit de perception visuelle et le déficit moteur reste à explorer.

Les autres modalités perceptives sont moins explorées

Si la modalité visuelle a été très explorée grâce à des tests ou des tâches expérimentales, les autres modalités sont beaucoup moins explorées.

Le déficit de perception des sensations kinesthésiques reste à confirmer

La perception kinesthésique correspond à la perception des déplacements de ses propres segments corporels lors de mouvements du corps. Dans leur méta-analyse, Wilson et McKenzie (1998) indiquent un déficit modéré de la perception kinesthésique (taille d'effet : $r = 0,40$). Ce résultat est basé sur des études assez anciennes qui suggèrent une acuité kinesthésique réduite chez les enfants présentant un TDC (Laszlo et coll., 1988 ; Coleman et coll., 2001 ; Smyth et Mason, 1998 ; Piek et coll., 1999) ou une amélioration de la motricité suite à un entraînement kinesthésique (Laszlo et coll., 1988) en contradiction avec des travaux ultérieurs (Polatajko et coll., 1995 ; Sims et

59. 188 enfants présentant TDC (n = 27), TDA/H (n = 11), TL (n = 14), TDC + TDA/H (n = 15), TDC + trouble de la lecture (TL) (n = 28), TDC + TDA/H + TL (n = 20) et 73 contrôles ont passé le test.

coll., 1996). La perception kinesthésique ayant fait l'objet de peu d'études ultérieures dans le TDC, son déficit reste donc à confirmer.

Il existe peu de travaux sur la perception des sensations haptiques

La perception haptique correspond à la perception des sensations tactiles et de pression exercées sur le corps. Quelques rares travaux révèlent un retard dans le développement de l'acuité proprioceptive chez les enfants présentant un TDC (Li et coll., 2015) ainsi que des difficultés dans le traitement des informations tactiles (O'Brien et coll., 2008) et de leurs localisations (Johnston et coll., 2017). Plus récemment, Wade et coll. (2016) ont testé vingt-quatre enfants contrôles (MABC-2 > 15^e percentile) et 24 enfants présentant un TDC (MABC-2 < 5^e percentile de 11-12 ans, droitiers). Les enfants devaient estimer la longueur d'un bâton par exploration manuelle (sans vision). Les résultats montrent que l'erreur d'estimation est plus grande chez les enfants présentant un TDC que chez les autres, d'autant plus que la longueur du bâton est grande, ce qui suggère un déficit de perception haptique dans le TDC. Les auteurs font l'hypothèse que ce déficit serait dû à un manque d'expérience motrice de ces enfants, qui ne pourraient pas développer un sens haptique mature. En l'absence d'autres études dans ce domaine, il est difficile de conclure sur un trouble généralisé de la perception haptique.

La perception auditive est également peu étudiée mais fait l'objet d'une attention grandissante

La perception auditive est très peu explorée dans le TDC. Une étude retrouve une perturbation de la stéréoaousie (par ex., une difficulté à localiser les sons) (Creavin et coll., 2014). Une autre étude (Holeckova et coll., 2014) porte sur l'enregistrement des signaux cérébraux à l'aide de l'électroencéphalographie lors d'une tâche passive de « oddball » auditive qui consiste à faire écouter des sons d'une même tonalité répétée puis à introduire de manière imprédictible un son de tonalité différente (voir aussi Cheliout-Heraut et coll., 2008). Les variations de l'activité cérébrale lors de l'introduction du son différent renseignent sur la détection précoce de la différence de tonalité. Les résultats de cette étude indiquent que les enfants présentant un TDC sont moins capables de détecter des petites différences entre deux *stimuli* acoustiques (moins de variation de l'activité cérébrale à l'introduction du son différent). Ces résultats méritent d'être répliqués, en ajoutant des résultats comportementaux en plus des résultats électrophysiologiques, pour confirmer un déficit de perception auditive dans le TDC. Ceci est d'autant plus important que les déficits de synchronisation auditivo-motrice rapportés

par de nombreux travaux (Williams et coll., 1992 ; Withall et coll., 2006 et 2008 ; Roche et coll., 2011 et 2016 ; Rosenblum et Regev, 2013 ; Puyjarinet et coll., 2017) pourraient en partie être expliqués par des déficits de discrimination de sons. La discrimination de durée mériterait également d'être étudiée. En effet, un déficit de perception temporelle auditive a été très récemment mis en avant et des travaux préliminaires confirment cette hypothèse (Trainor et coll., 2018).

La perception intermodale reste une hypothèse

Selon la méta-analyse de Wilson et McKenzie (1998), il existe un déficit de la perception inter-modale, c'est-à-dire la capacité à traduire les informations d'une modalité en une autre modalité, avec un effet de taille modéré ($r = 0,34$). Ce résultat est basé sur des travaux anciens suggérant que les informations tactiles, proprioceptives, vestibulaires seraient mal intégrées chez les enfants présentant un TDC (Ayres, 1972). La seconde méta-analyse de Wilson et coll. (2013) retrouve ce déficit en se basant sur des travaux suggérant que ces enfants ont des difficultés à retrouver visuellement une cible explorée tactilement au préalable (par ex., Mon-Williams et coll., 1994 et 1999 ; Sigmundsson et coll., 1997 ; Sigmundsson, 1999). Néanmoins, ces travaux concernent des enfants avec un diagnostic de maladresse ou de difficultés de coordination œil-main et les tâches proposées nécessitent un contrôle moteur important ce qui pourrait biaiser les résultats.

Une piste à explorer : l'intégration multisensorielle pro-active (pré-mouvement)

L'intégration multisensorielle correspond à l'intégration d'informations provenant de 2 modalités sensorielles ou plus (Stein et Meredith, 2013). Classiquement, le Temps de Réaction (TR) moyen de sujets adultes sains associé à la présentation de *stimuli* audio-visuels est amélioré comparé au TR associé à la présentation de *stimuli* visuels ou auditifs seuls. C'est un domaine qui a été très récemment exploré dans le TDC. Seule une étude de Coats et coll. (2015) a testé le TR associé à un stimulus visuel, auditif ou les deux chez 10 enfants présentant un TDC (MABC-2 < 9^e percentile) et 10 enfants contrôles (MABC-2 > 50^e percentile) de 7-10 ans. Les résultats indiquent que, comme les enfants du groupe contrôle, ceux qui présentent un TDC bénéficient de la multimodalité pré-mouvement pour améliorer leur TR. Ainsi, les enfants présentant un TDC ne présentent pas de déficit d'intégration multisensorielle sur la vitesse de traitement de l'information, en amont de la réponse motrice. En revanche, les enfants présentant un TDC bénéficient moins de la multimodalité que les enfants du groupe contrôle pour

accélérer la réponse motrice elle-même (voir chapitre « Contrôle sensorimoteur »).

Pour résumer, les travaux sur la perception dans le TDC sont essentiellement centrés sur la perception visuelle. Les perturbations de la perception visuelle sont fréquentes dans le TDC et doivent être explorées en prenant en compte la nature des tâches et des *stimuli* (tâches motrices et non motrices, formes, mouvement, longueurs, tailles, localisation, distance/vitesses), leur composante mnésique, l'existence ou non d'une la contrainte temporelle et les troubles associés (TDA/H et troubles spécifiques du langage notamment). Les liens directionnels entre les déficits perceptifs et moteurs restent à explorer, ainsi que les bases cérébrales associées aux éventuels déficits.

La nature et l'étendue d'un possible déficit attentionnel restent à clarifier

Plusieurs éléments vont dans le sens d'une perturbation de l'attention dans le TDC, mais la nature et l'étendue des déficits attentionnels restent à clarifier, notamment en les comparant aux déficits des enfants présentant un TDA/H (Goulardins et coll., 2015).

Quelques études basées sur des questionnaires rapportent que l'attention peut poser problème dans la vie quotidienne

L'idée selon laquelle les enfants ayant des problèmes moteurs ont fréquemment des problèmes attentionnels associés est assez répandue (Kaplan et coll., 1998 ; Dewey et coll., 2002). De même, les enfants ayant des problèmes attentionnels ont souvent des problèmes moteurs associés (Piek et coll., 1999 ; Pitcher et coll., 2003). De plus, l'association entre TDC et TDA/H est élevée (voir chapitre « Troubles associés ») ce qui suggère l'hypothèse d'une étiologie commune (Goulardins et coll., 2015), formalisée par l'hypothèse d'un développement cérébral atypique (Kaplan et coll., 1998 ; Gilger et Kaplan, 2001). En Suède, cette co-existence TDC-TDA/H a même fait l'objet d'une appellation à part entière : le déficit d'attention, de contrôle moteur et de perception (DAMP ; Gillberg, 1988). Mais cette appellation n'est pas reprise dans les autres pays.

L'étude de Dewey et coll. (2002) rapporte que les enfants présentant un TDC (N = 51) ou un TDC probable (TDCp), inclus à partir des tests BOTMP, MABC et DCDQ, obtiennent des scores au questionnaire *Child Behaviour Checklist* (CBCL, Achenbach, 1991) plus faibles sur les mesures

de l'attention en comparaison aux enfants contrôles (N = 78). Ces résultats indiquent que l'attention pourrait poser problème dans la vie quotidienne des enfants.

Les études qui évaluent l'attention à l'aide de questionnaires remplis par les parents restent subjectives et ne contrôlant pas la présence d'un TDA/H, il est nécessaire de se baser sur les études expérimentales pour confirmer la possibilité d'un déficit attentionnel dans le TDC. L'évaluation expérimentale de l'attention a fait l'objet de plusieurs publications évaluant les différentes formes d'attention : soutenue, préparatoire, divisée, sélective et l'orientation de l'attention. Certains types d'attention ont été plus explorés que d'autres dans les études expérimentales, mais il semble que le déficit ne soit pas général.

L'attention soutenue est peu explorée

L'attention soutenue est la capacité à maintenir son attention durant certaine une période de temps variant entre plusieurs secondes pour certains auteurs (Langner et Eickhoff, 2013) et au moins 10 minutes pour d'autres auteurs (Zimmermann et Fimm, 2002 ; Zomeren et coll., 1994) lors d'une tâche monotone. Il existe peu d'études portant spécifiquement sur l'attention soutenue dans le TDC. Un test permettant de mesurer ce processus est le *Continuous Performance test* (CPT ; Conners et coll., 2003) dans lequel les sujets doivent, pendant 14 minutes, regarder des lettres défiler sur un écran et appuyer sur un bouton chaque fois que la lettre X apparaît. Dans l'étude de De Castelneau et coll. (2007), 24 enfants présentant un TDC sans TDA/H de 8 à 13 ans et 60 enfants contrôles passent une version modifiée du CPT dans lequel des lettres leur sont présentées sur un écran une par une pendant 200 ms. Ils doivent appuyer sur la barre « Espace » chaque fois que la lettre présentée est identique à la précédente. Les résultats indiquent un pourcentage de réponses correctes inférieur chez les enfants présentant un TDC comparés aux contrôles. Les auteurs concluent que les enfants présentant un TDC ont une perturbation de l'attention soutenue, mais sans lien avec leurs performances motrices puisque les scores au CPT ne sont pas corrélés aux performances évaluées sur une tâche motrice (de synchronisation-continuation). Il faut noter néanmoins, que la modification de la tâche introduit une composante mnésique (mémoire de travail) même si elle est minime.

Une autre manière d'étudier l'attention est d'enregistrer les oscillations cérébrales liées à l'attention (ondes alpha pariéto-occipitales) à l'aide de l'ElectroEncéphaloGraphie (EEG). C'est ce qu'on fait Fong et collaborateurs (Fong et coll., 2016) pendant la réalisation du test M-ABC. L'étude révèle que,

lors de la réalisation des épreuves du M-ABC, les enfants présentant un TDC (avec ou sans comorbidité avec un TDAH) ont des activations des régions cérébrales attentionnelles moindres comparés à des enfants contrôles du même âge. Ces résultats pourraient suggérer que les enfants présentant un TDC ont moins de ressources attentionnelles pour réaliser des activités motrices, ceci pourrait impacter leurs performances.

Des études supplémentaires seront nécessaires pour pouvoir confirmer ou infirmer ces premiers éléments en faveur d'une perturbation de l'attention soutenue dans le TDC.

La question d'un déficit d'attention préparatoire dans le TDC reste ouverte

L'attention préparatoire est la capacité à utiliser un pré-indiçage (« pre-cueing ») pour augmenter son niveau de vigilance afin de se préparer à un évènement futur. Il n'existe aucun article qui traite spécifiquement la question de l'attention préparatoire à proprement parler dans le TDC. Pourtant, il y a plus de 20 ans, Wilson et coll. (1997a) stipulaient qu'il serait particulièrement intéressant d'examiner la capacité à utiliser des indices visuels dans la réalisation d'une tâche motrice. L'indiçage a été testé dans plusieurs études évaluant l'utilisation de pré-indiçages dans des tâches de pointage ou de préhension. Ces études ont révélé, dans le TDC, un déficit d'utilisation d'un indice spatial (Mon-Williams et coll., 2005 ; Pettit et coll., 2008 ; Wilmut et Wann, 2008) ou temporel (Debrabant et coll., 2013). La question d'un déficit d'attention préparatoire dans le TDC reste donc ouverte.

Les processus d'orientation de l'attention sont les plus étudiés dans le TDC : l'orientation automatique de l'attention est préservée mais son contrôle volontaire est déficitaire

Les processus d'orientation de l'attention correspondent à la capacité à déplacer un focus attentionnel vers une cible. Ils sont le plus souvent mesurés par des tâches d'orientation de l'attention visuo-spatiale (COVAT). Dans ces tâches, le sujet fixe le centre de l'écran jusqu'à ce qu'un indice oriente son attention vers une localisation de l'écran où un stimulus cible apparaîtra dans un second temps. L'indice peut orienter automatiquement l'attention vers la localisation du stimulus à venir (indice exogène, par exemple un point présenté à gauche qui capte l'attention à gauche) ou il peut nécessiter une orientation volontaire de l'attention (indice endogène, par exemple une

flèche centrale pointant vers la gauche). Les indices peuvent être valides (la localisation indiquée par l'indice et la localisation du stimulus cible sont congruentes) ou invalides (les 2 localisations ne sont pas congruentes). On mesure le temps de réaction du sujet à la présentation du stimulus cible. Le plus souvent on compare les temps de réactions dans les conditions avec indices aux temps de réactions dans une condition sans indice. On observe une réduction des temps de réaction dans les conditions avec indices valides comparées à la condition sans indice et une augmentation des temps de réaction dans les conditions avec indices invalides comparées à la condition sans indice.

Jusqu'à présent, neuf études ont comparé les performances d'enfants présentant ou non un TDC sur la tâche de COVAT. L'équipe taïwanaise du professeur Tsai y a largement contribué (voir Adams et coll., 2014 pour une revue systématique).

De manière générale, les études mettent en évidence des performances lors des tâches de COVAT relativement préservées, dans le TDC, dans des conditions d'orientation exogènes de l'attention, ce qui suggère que les processus automatiques de déplacement attentionnel sont épargnés. En revanche, l'ensemble des études retrouve une perturbation des performances dans les conditions où l'indice est endogène. Certains auteurs expliquent cette perturbation par un déficit du contrôle volontaire de l'orientation de l'attention (Wilson et coll., 1997) alors que d'autres suggèrent une difficulté à désengager l'attention de la localisation indiquée par l'indice, retardant son orientation vers la position de la cible (Mandich et coll., 2003). Une troisième hypothèse, plus récente, avance un problème de contrôle des mouvements oculaires (Adams et coll., 2014 ; Sumner et coll., 2016). Ces trois hypothèses restent plausibles à l'heure actuelle.

Des résultats complémentaires indiquent que le déficit est d'autant plus marqué qu'une réponse motrice est initiée (Mandich et coll., 2003). Il ne semble pas exister d'effet de l'effecteur (membres supérieur ou inférieur) et d'effet de latéralité pour les membres supérieurs seulement, ni de corrélation entre le déficit d'inhibition et le score au MABC (Tsai et coll., 2009), second résultat en accord avec Wilson et Maruff (1999). De plus, d'après Chen et coll. (2012), il n'y a pas d'effet de la sévérité du TDC sur les résultats à la tâche de COVAT.

Concernant le lien entre les résultats à la tâche de COVAT et la motricité, une étude échoue à montrer une corrélation significative entre les performances de la tâche d'orientation de l'attention et le score moteur pour les TDC sévères (Chen FC et coll., 2012). Néanmoins, les études de Tsai (2009

et 2012) suggèrent qu'un programme d'intervention en tennis de table et football améliore à la fois les performances attentionnelles telles qu'elles sont mesurées par les tâches de type COVAT et la motricité (MABC) et modifie l'activité cérébrale (Potentiels évoqués, diminution de la latence de P3), même si ces paramètres ne se normalisent pas. Il faut préciser que dans ces études, les enfants, âgés de 7 à 12 ans, ont un score au MABC < 15^e ou 5^e percentile, et que ceux présentant un TDA/H sont exclus seulement sur une partie des critères du DSM-IV-TR. Des mesures de certaines variables confondantes (MDT, QI, etc.) auraient également été appréciées.

Trois études de l'équipe de Tsai ont tenté de trouver les corrélats cérébraux du déficit de l'orientation de l'attention à l'aide de l'EEG pendant la COVAT (Tsai et coll., 2009 et 2010 ; Wang et coll., 2015). Typiquement, les processus d'orientation de l'attention sont associés à une activation des régions pariétales postérieures et des circuits fronto-pariétaux, avec un réseau pariétal dorsal pour les processus d'orientation volontaires (endogènes) et un réseau pariétal ventral pour les processus d'orientation automatiques (exogènes). Les résultats de Tsai et coll. (2009 et 2010) ont mis en évidence des potentiels évoqués (PE) atypiques chez les enfants présentant un TDC mais pas spécifiquement au niveau des régions pariétales. Selon Wang et coll. (2015), l'absence de modulation des ondes thêta frontales chez les enfants présentant un TDC pourrait suggérer un déficit attentionnel mais ne permet pas d'exclure un déficit d'intégration sensorimotrice. Les corrélats cérébraux des perturbations observées dans les tâches d'orientation de l'attention restent donc à clarifier.

Un déficit d'attention sélective reste à confirmer

L'attention sélective correspond à la capacité à sélectionner une information spécifique parmi des *stimuli* sensoriels multiples (distracteurs). Plusieurs auteurs ont cherché à observer dans quelle mesure des distractions de natures différentes pouvaient interférer avec la réalisation de tâches motrices. Ces travaux donnent des informations sur les processus de sélection/orientation attentionnelle dans la mesure où le sujet doit focaliser son attention sur les *stimuli* pertinents et ignorer les distracteurs. Ainsi, Miyahara et coll. (2006) proposent un protocole avec une tâche de tracé précis à réaliser en même temps qu'une tâche concurrente de résistance à des distracteurs, proposée dans 6 conditions différentes (1 condition contrôle et 5 conditions interférentes). 60 enfants de 7 à 13 ans dont 16 TDC-ID, 10 TDA/H, 11 TDA/H+DCD-ID et 23 contrôles ont passé l'ensemble des 6 conditions. Les résultats ne montrent aucune différence de groupes entre les conditions. La limite

de cette étude est qu'il n'existe pas de différence entre les conditions de distraction et la condition de base, même pour les contrôles, ce qui suggère que les tâches interférentes proposées n'ont pas eu l'effet distracteur escompté. Cette étude comporte donc des limites importantes qui ne permettent pas de conclure. Dans l'étude de Jarus et coll. (2015), les participants devaient apprendre une tâche motrice de poursuite d'une cible à trajectoire prédictible à l'aide d'un joystick, soit en se focalisant sur les informations internes provenant de leur corps (le mouvement lui-même) produit par les segments corporels, soit en se focalisant sur les informations provenant de l'environnement (le résultat du tracé en cours). Les résultats suggèrent que les enfants présentant un TDC ne présentent pas de différence entre les conditions de focus interne ou externe. Néanmoins, cette différence, pourtant attendue, n'a pas non plus été retrouvée chez les enfants contrôles. Sans cette condition, il n'est pas possible de conclure à une différence d'impact des tâches distrayantes sur la tâche motrice induite par le TDC. Dans l'étude plus récente de Sumner et coll. (2016), les participants étaient équipés d'un oculomètre et devaient réaliser une tâche de poursuite visuelle de cibles. Les auteurs trouvent une augmentation des saccades anticipatrices pendant la poursuite de cible chez les enfants présentant un TDC comparés aux enfants contrôles, ce qui suggère un déficit de maintien du focus attentionnel. Cependant, seules des études supplémentaires avec plus de participants et un contrôle du focus attentionnel pourraient confirmer ce résultat.

L'attention divisée, mesurée par la double tâche, peut être déficitaire si la tâche cognitive ou motrice est complexe

L'attention divisée correspond à la capacité à partager son attention entre deux sources d'informations concomitantes. Elle est classiquement testée par un paradigme de double tâche durant lequel on mesure la différence de performance d'un sujet lorsqu'il réalise la tâche principale seule ou en même temps qu'une tâche secondaire. Dans ces études, plus la différence de performance est faible et plus la tâche principale est considérée comme automatisée (Passingham, 1996). À l'heure actuelle, 6 études ont testé le paradigme de double tâche dans le TDC. Diverses tâches principales ont été testées, comme la posture, la marche ou la conduite automobile. Comme le montre le tableau 8.I, 2 études ne retrouvent pas de différence entre les groupes d'enfants présentant un TDC et contrôle et 4 études retrouvent une différence, mais uniquement si la tâche principale est assez complexe. Reste à savoir comment déterminer *a priori* si une tâche est complexe ou pas. Le problème est que la majorité de ces études présentent des biais méthodologiques importants, en ne proposant pas de tâche secondaire ou en n'en

contrôlant pas la performance ni systématiquement la comorbidité avec le TDA/H. Il n'en reste pas moins qu'il semble que la réalisation de deux tâches motrices concurrentes perturbe plus les enfants présentant un TDC que ceux du groupe contrôle (Wilmot et coll., 2007). Les résultats des études portant sur le paradigme de double tâche ne sont pas unanimes mais la possibilité d'un déficit d'attention divisée dans le TDC n'est donc pas exclue. Des recherches plus rigoureuses sur le plan méthodologique doivent être menées pour confirmer dans quelles conditions ce déficit se manifeste.

Pour résumer, la littérature scientifique n'apporte pas de preuve d'un déficit général d'attention dans le TDC, ce qui est cohérent avec le fait que l'attention n'est pas une fonction cognitive retrouvée comme déficitaire dans la méta-analyse de Wilson et coll. (2013). Néanmoins, les résultats portant sur une perturbation des processus volontaires de l'orientation de l'attention retrouvée dans la tâche de COVAT semblent robustes, bien que les mécanismes qui la sous-tendent restent à préciser. En revanche, le faible nombre d'études portant sur les autres composantes du système attentionnel ne permet pas de porter des conclusions définitives quant à leur éventuelle perturbation. Des études sur la comparaison des patterns de perturbations des différentes formes d'attention chez les enfants présentant un TDC et ceux présentant un TDA/H pourraient apporter des informations sur la spécificité des troubles attentionnels dans le TDC.

De nombreuses études retrouvent une perturbation de certaines fonctions exécutives dans le TDC

Il existe un grand nombre de travaux sur les fonctions exécutives (FE) dans le TDC. Il faut dire que les fonctions exécutives regroupent plusieurs fonctions cognitives complexes (planification, inhibition et l'administrateur central de la mémoire de travail) qui permettent de réaliser des tâches nouvelles ou difficiles avec des conditions changeantes ou des contraintes temporelles élevées ou encore une très forte exigence de précision (Hughes et Graham, 2002), ce qui amène les auteurs à les qualifier de terme générique (« umbrella term ») (voir par exemple Piek et coll., 2004 ou Pratt et coll., 2014). La méta-analyse de Wilson et coll. (2013) montre que les fonctions exécutives sont touchées avec des tailles d'effets très larges. Ce déficit est de nouveau mis en avant dans la publication très récente de Blank et coll. (2018).

Piek et coll. (2007, DMCN) trouvent un déficit de FE plus important chez les enfants présentant un TDC que chez les enfants présentant un TDA/H. Le déficit de fonctions exécutives est également retrouvé chez les personnes

Tableau 8.1 : Tableau récapitulatif des 6 études portant sur l'attention divisée

Référence	Participants	Méthode	Résultat	Limites	Prise en compte du TDA/H
Wilmut et coll., 2007	3 groupes d'enfants contrôles (18 de 3,1 ans, 18 de 4,1 ans et 10 de 7,8 ans) et un groupe de TDC (7 de 7,5 ans)	Tâche d'attention visuelle avec 2 conditions : Simple tâche visuelle (oculomotricité) comparée visuelle + motrice (oculomotricité + réponse manuelle). Enregistrement de réponses oculomotrices et manuelles.	Les TDC présentent un déficit dans la condition « observe et pointe » quand ils produisent deux réponses motrices simultanées (oculomotrice et manuelle).	La tâche secondaire n'est pas cognitive	Non
Laufer et coll., 2008	26 enfants avec TDC (5,1 +/- 0,59 ans) et 20 enfants contrôles (5,0 +/- 0,57 ans)	Une tâche posturale consistant à rester debout sur une surface + une double tâche cognitive impliquant de nommer des objets apparaissant consécutivement sur un écran.	Le groupe avec TDC présente une dégradation de la performance sur la tâche posturale mais pas de dégradation supérieure pour la double tâche : la tâche cognitive concurrente dégrade la posture dans les deux groupes indifféremment.	La performance cognitive est plus affectée par la double tâche dans le groupe contrôle, suggérant que les TDC priorisent la tâche cognitive comparés aux contrôles. -> Pas de réponse sur le possible déficit d'attention partagée chez les TDC.	Oui : 3 enfants non inclus car déficit attentionnel
Tsai et coll., 2009	39 enfants contrôles et 39 enfants avec un TDC ayant un déficit d'équilibre	Tâche d'équilibre avec 5 tâches secondaires : comptage oral, temps de réaction auditivo-verbal, temps de réaction de choix auditif, tâche de mémoire auditive, articulation)	Dégradation de l'équilibre plus importante chez les TDC, seulement lors de conditions plus complexes (comptage, TR auditivo-verbal, mémoire auditive, et pas TR de choix auditif et articulation)	Les auteurs concluent que les TDC ont un déficit d'automatisation. Néanmoins, les TDC peuvent aussi présenter moins de capacité de partage des ressources attentionnelles. -> Pas de mesure de la performance sur la tâche secondaire	Oui : sur la base du <i>ADHD Rating Scale</i> et des critères du DSM-IV

Tableau 8.1 (suite) : Tableau récapitulatif des 6 études portant sur l'attention divisée

Référence	Participants	Méthode	Résultat	Limites	Prise en compte du TDA/H
Cherng et coll., 2009	14 enfants avec TDC (5,5 +/- 0,7 ans) et 28 enfants contrôles (5,3 +/- 0,7 ans) (DCD < 15 ^e)	Marche avec ou sans double tâche motrice ou cognitive plus ou moins complexe	Dégradation de la marche plus importante chez le TDC seulement si la tâche concurrente est motrice et difficile	Les auteurs n'ont pas mesuré la performance de la tâche concurrente. L'effet de la difficulté pourrait être dû à la double utilisation d'informations visuelles (marche en tenant un plateau avec des billes à l'intérieur vs plateau sans billes) et non à un déficit d'attention partagée.	Oui : non inclusion des enfants présentant un TDA/H ou un déficit intellectuel.
Oliveira et coll., 2011	23 jeunes adultes contrôles (18,6 +/- 1,9 ans) et 11 avec TDC (18,6 +/- 2,3 ans).	Expérience 1 : Tâche de conduite automobile seule. Expérience 2 : condition de freinage avec réponse verbale à des <i>stimuli</i> sonores. Les consignes sont de se focaliser sur le freinage (tâche prioritaire) tout en répondant aux <i>stimuli</i> .	Résultats Expérience 1 : dégradation freinage pour les TDC comparés aux contrôles Résultats Expérience 2 : Réponses plus lentes dans la condition de distraction pour les deux groupes, sans différence de groupe.	Les auteurs précisent qu'il semble que les TDC omettent plus de réponses verbales que les contrôles mais cette variable n'a pas été enregistrée. -> Pas de réponse sur le possible déficit d'attention partagée chez les TDC.	Non
Chen et coll., 2012	38 enfants contrôles (9,21 +/- 0,41 ans) et 38 enfants avec TDC (9,37 +/- 0,49 ans)	Tâche d'équilibre avec double tâche cognitive de mémoire de chiffres de 2 niveaux de difficulté	Les deux groupes présentent une perturbation de l'équilibre en condition de double tâche avec un haut niveau de difficulté, mais d'autant plus pour les enfants avec TDC. Les enfants contrôles sont plus perturbés par le haut niveau de difficulté de la double tâche que par le bas niveau de difficulté de la double tâche alors que ce n'est pas le cas des enfants avec TDC.	Il est possible que les TDC présentent un déficit d'attention partagée dans le TDC -> Il manque une tâche contrôle (simple tâche) pour connaître les effets de la double tâche	Oui : évalué par le <i>Attention-Deficit-Hyperactivity Disorder Diagnostic Teacher Rating Scale (ADHD-DTRS)</i>

présentant un TDC probable, même si l'attention est contrôlée (Tal Saban et coll., 2014 ; Leonard et coll., 2015) mais toutes les FE ne sont pas corrélées au score moteur (Piek et coll., 2004).

Certaines fonctions apparaissent plus touchées que d'autres

La revue de littérature récente de Leonard et coll. (2015) porte sur 5 fonctions dans le TDC en fonction du domaine (moteur, VS ou verbal) permettent en effet de constater que certaines fonctions sont plus étudiées que d'autres. Les résultats indiquent clairement que la MDT, l'inhibition, la planification sont plus étudiées que la flexibilité ou la fluence.

Une perturbation de la mémoire de travail visuo-spatiale a été retrouvée dans plusieurs études

Précisons d'emblée que si la mémoire de travail est généralement classée dans les fonctions exécutives dans la littérature sur le TDC, elle comporte aussi des composantes qui ne sont pas des fonctions exécutives (boucle phonologique et calepin visuo-spatial).

La mémoire de travail a été étudiée par Alloway et coll. depuis les années 2000. Les travaux révèlent de manière concordante que les 4 composantes peuvent être affectées (MDT V, VS, MCT V, VS). Le déficit est plus particulièrement centré sur la MDT VS, même en prenant en compte le QI (voir aussi Tsai et coll., 2008a). Il existe dans un grand nombre d'études une corrélation entre la MDT VS et le score au MABC-2 (Piek et coll., 2004 ; Alloway, 2007 ; Alloway et Temple, 2007 ; Alloway et Archibald, 2008 ; Michel et coll., 2011 ; Rigoli et coll., 2012 ; Pratt et coll., 2014). Une corrélation entre la MDT et les habiletés scolaires chez les enfants présentant un TDC est rapportée par Alloway (2007 ; voir également Michel et coll., 2011 ; Kadesjo et Gillberg, (1999, citée par Alloway et Warner, 2008). L'étude d'Alloway (2007) indique qu'un sous-groupe d'enfants porteur d'un TDC avec MDT VS déficitaire (n = 35) présente plus d'échec scolaire qu'un sous-groupe avec MDT VS préservé (n = 20), même en tenant compte du QI. Ces résultats soulignent l'intérêt d'une évaluation précoce de la MDT.

Par ailleurs, des études montrent que le déficit est plus prononcé chez les enfants présentant un TDC que pour ceux présentant d'autres troubles neuro-développementaux (trouble des apprentissages, TDA/H, trouble du spectre de l'autisme – TSA, trouble spécifique du langage oral – TSLO, dyslexie) DD (MDT VS similaire TDC – TDA/H) (Alloway, 2007 et 2011 ; Alloway et Temple, 2007 ; Alloway et Archibald, 2008). Ainsi, les enfants présentant

un TDC présenteraient un profil de déficit de MDT particulier (visuo-spatial épargnant la MDT auditivo-verbale), ce qui est en défaveur de l'hypothèse d'un Développement Cérébral Atypique commun à l'ensemble des troubles neuro-développementaux (Kaplan et coll., 1998).

Le lien entre motricité et mémoire de travail a été précisément exploré dans l'étude de Rigoli et coll. (2013). Plusieurs études avaient déjà montré la corrélation entre motricité et MDT chez des enfants sans trouble (Murray et coll., 2006 ; Ridler et coll., 2006 ; Piek et coll., 2008 ; Roebbers et Kauer, 2009 ; Niederer et coll., 2011). Rigoli et coll. (2013) ont examiné les corrélations entre le score moteur et la MDT lors d'une étude longitudinale de 18 mois chez des enfants de 5 à 11 ans avec et sans difficultés motrices. Les résultats montrent que le score de motricité fine (évalué par le test de McCarron) prédit le score de MDT (évalué par un test de One back) 18 mois plus tard chez les enfants avec difficultés motrices et pas chez des enfants contrôles. Le score de MDT prédit le score moteur 18 mois plus tard pour les deux groupes. Les auteurs concluent qu'il existerait un lien réciproque entre le score de motricité fine et le score de MDT chez les enfants avec difficultés motrices seulement.

Selon Rigoli et coll. (2013), il est possible que le manque de pratique d'activités physiques (AP) entraîne un déficit moteur et cognitif. L'étude d'Alloway et Warner (2008) a testé les effets d'un programme de 13 semaines d'intervention « Brain Gym », basé sur des exercices de motricité, sur la MDT et les habiletés scolaires chez des enfants présentant un TDC et un pTDC (n = 10). Les résultats indiquent que, comparés à un groupe contrôle ne pratiquant pas le programme (n = 10), les enfants bénéficiant du programme d'intervention ont amélioré significativement leur MDT VS mais pas les habiletés scolaires. Il existerait donc un effet spécifique du programme, mais pas d'effet de transfert sur les habiletés scolaires. Cette étude présente donc des résultats intéressants mais on peut regretter plusieurs limites importantes. Par exemple, les critères d'inclusion n'étaient pas clairs (basés seulement sur le questionnaire du MABC et incluent des TDC probables) et le nombre d'enfants de chaque groupe est très faible. De plus, on ne peut pas exclure que les effets de l'intervention soient uniquement liés à la relation établie avec les intervenants car le groupe contrôle n'a bénéficié d'aucune intervention. De nouvelles études sur les effets de la rééducation psychomotrice pour améliorer la MDT et les apprentissages scolaires sont donc nécessaires pour mieux comprendre les éventuels liens entre déficit moteur et trouble de la MDT VS.

Un déficit de la MDT VS est retrouvé de manière concordante dans la littérature scientifique. Cependant, les travaux sur la MDT émanent de la

seule équipe d'Alloway et nécessitent d'être répliqués. Les critères d'inclusion sont discutables (scores MABC, QI, médication des TDA/H). En outre, les tâches expérimentales utilisées présentent des difficultés d'interprétation liées notamment au fait de ne pas pouvoir stocker des informations visuo-spatiales dans le calepin visuo-spatial (ne relevant donc pas des fonctions exécutives) et d'autres qui sont liées au fait de ne pas pouvoir les manipuler (donc l'administrateur central exécutif). Enfin, il est également possible que le trouble de MDT VS présenté par les enfants présentant un TDC soit (au moins en partie) dû à la présentation dynamique des *stimuli* du test d'évaluation AWMA (*Automated Working Memory Assessment*, Alloway, 2007) qui implique une forte composante de rotation mentale qui, comme nous le verrons dans la partie sur les fonctions d'imagerie mentale, est aussi retrouvée déficitaire.

Peu d'évidence d'un déficit de flexibilité mentale

Peu d'études se sont intéressées à la flexibilité mentale chez les enfants présentant un TDC et les résultats sont contradictoires. Selon les études de Michel et coll. (2011) et de Piek et coll. (2004), qui ont testé des tâches de type *Cognitive Flexibility task* requérant de donner des réponses en alternant des catégories, les enfants présentant un TDC ne présentent pas de déficit. Selon les études de Wuang et coll. (2011) et de Piek et coll. (2007), qui ont testé des tâches de type *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST), qui nécessitent de changer les règles du jeu en cours de route, ils présentent un déficit. Mais une étude plus récente testant 10 enfants présentant un TDC ou pTDC et 11 enfants au développement typique indiquent que les performances au WCST sont similaires malgré des activations cérébrales différentes (mesurées en IMR fonctionnelle), suggérant ainsi une compensation des déficits chez les enfants présentant un TDC (Koch et coll., 2018). Selon Pratt et coll. (2014), les différences entre les études pourraient être dues aux tranches d'âges étudiées ou à la méthode de recrutement des enfants (screening dans les écoles ou enfants diagnostiqués). En absence d'autres études, il est donc difficile de conclure sur l'existence d'un déficit de flexibilité mentale chez les enfants présentant un TDC.

Résultats controversés sur le déficit de planification motrice et exécutive

Il faut d'abord préciser que, bien que beaucoup de tâches de la vie quotidienne requièrent à la fois de la planification motrice et exécutive (« action planning »), il convient de distinguer expérimentalement la « planification motrice » et la « planification exécutive » (Van Swieten et coll., 2010). La planification motrice présente une forte composante motrice et est évaluée

à l'aide d'une tâche de « Grasp and Turn » qui mesure le type de préhension sélectionnée par le participant pour réaliser une tâche à deux étapes (par ex., prendre et tourner un objet en sens horaire ou anti-horaire) (par ex., Cohen et Rosenbaum, 2004). Les adultes sont capables d'adopter une position de départ inconfortable pour arriver à une position finale la plus confortable (« end state comfort effect »), contrairement aux enfants de 4 à 8 ans (Smyth et Mason, 1997). Les résultats des études utilisant cette tâche chez des enfants présentant un TDC ou un TDC probable sont controversés. Certaines études trouvent un déficit (Van Swietten et coll., 2010 ; Pratt et coll., 2014 ; Wilmut et Byrne, 2014 ; Fuelscher et coll., 2016) alors que d'autres non (Smyth et Mason, 1997 ; Noten et coll., 2014).

La planification exécutive peut être évaluée grâce à des tâches impliquant une séquence de choix ou de mouvements qui doivent être arrangés de manière à atteindre un but prédéfini (Tour de Hanoï, par ex., Hill 2004 ; Tour de Londres, Shallice 1991). Les résultats sont également controversés pour ce type de tâche : une étude trouve un déficit chez les enfants présentant un TDC (Pratt et coll., 2014) alors qu'une autre n'en trouve pas (Van Swietten et coll., 2010).

En conclusion, l'équipe de Van Swietten et coll. (2010), qui étudie particulièrement la planification chez l'enfant, défend l'idée que les enfants présentant un TDC présentent un déficit de planification motrice et non exécutif, mais les résultats restent controversés.

Un déficit d'inhibition peut être retrouvé quand la réponse à inhiber est automatique ou le stimulus émotionnel

Tout d'abord, notons que toutes les études examinant la possibilité d'un déficit d'inhibition ont exclu la comorbidité avec le TDA/H. Selon Sumner et coll. (2016), le déficit d'inhibition chez les enfants présentant un TDC est retrouvé malgré des méthodologies et modalités différentes (motrice, verbale, visuo-spatiale). Un défaut d'inhibition motrice est retrouvé chez les enfants présentant un TDC : ils ont plus de difficultés que les enfants contrôles à stopper une réponse en cours ou à supprimer des réponses incorrectes (Tallet et coll., 2013 ; Blais et coll., 2017). Les tâches proposées étant bimanuelles, des difficultés pourraient être en lien avec un défaut d'inhibition inter-hémisphérique (Blais et coll., 2018, avec de l'EEG ; He et coll., 2018 avec de la TMS). Très récemment, l'étude de Hé et coll. (2018b) a retrouvé le déficit de l'inhibition chez des adultes présentant un TDC, dans deux tâches différentes, explorant l'inhibition d'une réponse programmée (*go-no go* et *stop-signal*). Les enfants présentant un TDC ont également un déficit d'inhibition d'une réponse automatique (Mandich et coll., 2002 ; Pratt

et coll., 2014), que la réponse soit motrice ou verbale (Bernardi et coll., 2016). Plus récemment, une étude a révélé que les performances au test Stroop, qui évalue l'inhibition d'une réponse automatique (lecture d'un mot), sont similaires chez les enfants présentant un TDC ou un pTDC et chez les enfants au développement typique, malgré des activations cérébrales différentes (mesurées en IMR fonctionnelle), suggérant ainsi une compensation des déficits chez les enfants présentant un TDC (Koch et coll., 2018). Selon Pratt et coll. (2014), ce n'est pas la composante motrice de la tâche qui importe mais le caractère plus ou moins automatisé de la réponse. Cette hypothèse est confortée par les résultats de certaines études qui indiquent une préservation de l'inhibition d'une réponse à un stimulus, lors d'une tâche de *go-no go*⁶⁰, qui requiert de stopper une réponse programmée, mais non automatique (Querne et coll., 2008 ; Pratt et coll., 2014 ; Thornton et coll., 2018). Selon certains auteurs, cette préservation serait plutôt une compensation du déficit pour des tâches impliquant l'inhibition d'une réponse non automatique. Des données de neuro-imagerie indiquent en effet que, pour obtenir une performance identique à celle des enfants du groupe contrôle, les enfants présentant un TDC démontrent une sur-activation de certaines aires cérébrales (Querne et coll., 2008). En revanche, la récente étude de Thornton et coll. (2018) remet en question le déficit d'inhibition d'une réponse automatique. En effet, les auteurs ne retrouvent pas de différence comportementale ni cérébrale lors d'une tâche de *go-no go* chez des enfants présentant un TDC comparées à des enfants au développement typiques. Néanmoins, ils retrouvent des différences chez les enfants présentant un TDC et un TDA/H associé. Ces travaux confirment l'obligation d'exclure la comorbidité avec le TDA/H dans les prochaines études (Sergeant et coll., 2006).

Enfin, deux études se sont intéressées aux fonctions exécutives « chaudes », c'est-à-dire à l'inhibition ou la gestion de *stimuli* émotionnels, de récompenses et d'un délai de gratification, en opposition avec les fonctions exécutives « froides » qui se réfèrent à la MDT, le contrôle inhibiteur et l'attention exécutive à des *stimuli* décontextualisés (Leonard et Hill, 2015 ; Rahimi-Golkhandan et coll., 2015). La première étude a testé des enfants présentant un TDC à l'aide d'un jeu vidéo impliquant des récompenses (Rahimi-Golkhandan et coll., 2014). Les résultats suggèrent que ces enfants sélectionnent plus fréquemment des options désavantageuses que les enfants

60. La tâche de *go-no go* consiste à répondre ou inhiber la réponse à un stimulus en fonction de ses caractéristiques. Le stimulus (par ex. rond vert) auquel il faut répondre apparaît fréquemment alors que le stimulus pour lequel il faut inhiber la réponse (par ex. rond rouge) apparaît moins fréquemment. Le nombre d'erreurs (répondre au rond rouge) informe sur la capacité d'inhibition.

du groupe contrôle. Deux autres études ont testé des enfants présentant un TDC (7-12 ans) à l'aide d'une tâche de *go-no go* avec *stimuli* émotionnels à savoir des visages neutres, joyeux ou exprimant la peur (Rahimi-Golkhandan et coll. 2015). Des études préliminaires montrent qu'il est plus difficile d'inhiber une réponse face à des visages joyeux (Hare et coll., 2005). Les résultats de l'étude de Rahimi-Golkhandan et coll. (2015) suggèrent que les enfants présentant un TDC font plus d'erreurs d'inhibition en réponse à des expressions faciales de joie, suggérant ainsi un défaut d'inhibition aux *stimuli* émotionnels. Les auteurs évoquent deux hypothèses explicatives : un problème de maturation des systèmes neuromoteurs frontaux (système de récompense) et/ou un manque de stimulation de ces systèmes grâce à des expériences sensorimotrices appropriées. Bien que ces travaux soient intéressants, il aurait été judicieux de vérifier que la reconnaissance des émotions sur les visages était identique chez les enfants présentant ou non un TDC, en amont de la tâche d'inhibition. À notre connaissance, aucune autre étude depuis 2015 n'a permis d'approfondir ces résultats.

Les aspects métacognitifs et d'auto-régulation en lien avec l'apprentissage moteur sont peu étudiés mais semblent également touchés

La méta-analyse de Wilson et coll. (2013) montre que la métacognition est touchée dans un contexte d'apprentissage ($d = 1,44$). Plus récemment, une étude a porté sur 15 enfants présentant ou non un TDC filmés pendant un apprentissage moteur (Sangster-Jokic et coll., 2016) (voir aussi Martini et coll., 2004 ; Jokic et coll., 2001). Les auteurs ont codé les « schèmes d'auto-régulation » qui correspondent aux verbalisations des enfants à propos de leur performance (analyses qualitatives). Les résultats suggèrent que les enfants porteurs d'un TDC présentent des schèmes d'auto-régulation moins efficaces que les enfants du groupe contrôle. Ils sollicitent plus l'intervenant extérieur et présentent plus de régulations émotionnellement négatives. Ceci pourrait suggérer un déficit d'auto-régulation dans l'apprentissage moteur.

Un lien entre déficit des fonctions exécutives et difficultés scolaires et de vie quotidienne a été rapporté mais pas démontré dans le TDC

Il a été rapporté un lien entre les fonctions exécutives et la réussite scolaire (voir Michel et coll., 2011 ; voir aussi Alloway et coll., 2009). Néanmoins, il n'existe actuellement pas d'étude qui démontre un lien direct entre la perturbation des fonctions exécutives et le niveau scolaire des enfants

présentant un TDC. Il convient donc de rester prudent quant aux mécanismes sous-tendant les difficultés scolaires que rencontrent certains enfants porteurs de TDC.

Dans la vie quotidienne, une étude de Kirby et coll. (2008) révèle que 55 % des adultes présentant un TDC rapportent des difficultés pour planifier ou organiser leur travail ou se rappeler de faire certaines tâches. Néanmoins, là encore la démonstration du lien de ces difficultés de vie quotidienne avec les perturbations des fonctions exécutives reste à faire, d'autres mécanismes pouvant être à l'origine de telles difficultés.

Très récemment, une étude longitudinale de Michel et coll. (2018) a porté sur des enfants de 4 à 6 ans évalués à 1 an d'intervalle⁶¹. Les évaluations ont porté sur les fonctions exécutives (MDT, switching, inhibition, contrôle des interférences), la MABC-2 et la condition physique (non rapportée ici), réalisées à T0 et à T1, un an après T0. Les résultats indiquent que la moitié des enfants avec difficultés motrices rejoignent les enfants du groupe contrôle lors de la seconde évaluation au MABC-2 (groupe rémission) alors que l'autre moitié reste déficitaire au MABC-2 (groupe persistant). De plus, les auteurs constatent que les enfants du groupe "rémission" présentaient des fonctions exécutives supérieures (contrôle des interférences) aux deux mesures, ce qui n'est pas le cas du groupe « persistant ». Ceci suggère que le bon fonctionnement précoce des fonctions exécutives pourrait prédire la rémission d'enfants avec difficultés motrices. Enfin les auteurs ont trouvé une corrélation significative entre FE et MABC-2 pour le groupe persistant, suggérant que les enfants ayant le plus de difficultés motrices sont ceux qui ont les fonctions exécutives les plus dégradées. Le lien entre fonctions exécutives et motrices souligne ainsi l'importance de prendre en compte l'évaluation précoce des fonctions exécutives chez les enfants susceptibles de présenter un TDC. Ce lien pourrait également avoir une importance pour l'intervention, puisque les résultats suggèrent un rôle protecteur des FE dans le développement moteur (Michel et coll., 2018). Plus récemment, Bernardi et coll. (2016) ont mené une étude longitudinale de 2 ans chez des enfants avec difficultés motrices et TDC de 7 à 11 ans. Leurs résultats indiquent que les enfants avec difficultés motrices, qu'ils soient diagnostiqués avec un TDC ou non, présentent des difficultés exécutives, plutôt dans le domaine non verbal. Elles sont moindres et moins persistantes chez les enfants avec difficultés motrices sans diagnostic de TDC.

61. Deux groupes d'enfants ont été faits sur la base du MABC-2 : 48 ont été placés dans le groupe contrôle et 48 dans le groupe avec difficultés motrices, sur la base du score au MABC-2.

En résumé, les fonctions exécutives sont importantes à prendre en compte étant donné leur lien probable avec les habiletés scolaires et sociales. Les fonctions exécutives ne semblent pas affectées de manière globale mais apparaissent déficitaires pour ce qui concerne la MDT, surtout le domaine VS, et l'inhibition d'une réponse automatique ou à un stimulus émotionnel. Pour la flexibilité mentale ou la planification, les résultats sont plus controversés. Les enfants identifiés comme TDC_p sont également concernés par le déficit de FE mais la question de savoir si les perturbations des fonctions exécutives sont à l'origine du déficit moteur (lien *top-down*) ou si, au contraire le déficit moteur induit le déficit des fonctions exécutives (lien *bottom-up*), reste en suspens.

Les études sur les fonctions exécutives souffrent également de certaines limites (voir Leonard et coll., 2015). Premièrement, les FE sont testées par des tâches de laboratoire et/ou des questionnaires pour des FE du quotidien (gestion du temps, organisation, planification). Or il existe très peu de corrélation entre ces deux mesures. Il semble donc important de combiner les mesures des FE en situations expérimentale et écologique (pour la partie écologique, voir Toussaint-Thorin et coll., 2013). Deuxièmement, les enfants testés ont généralement entre 5 et 11 ans. Or les FE se développent encore à l'adolescence et à l'âge adulte. Deux études (Wilmot et coll., 2013 ; 2014) montrent l'intérêt d'étudier l'adulte qui semble présenter des atypies dans le fonctionnement des FE. Ces résultats sont importants pour envisager l'hypothèse d'un trouble plutôt que d'une immaturité des FE dans le TDC. Troisièmement, les FE ne sont que rarement toutes testées pour un même enfant. Or, il est possible qu'il existe des profils différents de déficits des FE, variant sur le nombre plutôt que le type de FE déficitaires. Enfin, si toutes les études examinant l'inhibition proposent une méthodologie rigoureuse et excluent le TDA/H, certaines études évaluant l'attention ne contrôlent pas certains biais ou la présence d'un TDA/H. Il convient donc de prendre ces résultats sur l'attention avec précaution.

Les fonctions d'imagerie motrice sont perturbées

L'imagerie motrice se réfère à la capacité à construire une représentation mentale de l'action sans produire la séquence de mouvements (Guillot et coll., 2012). Il s'agit d'une simulation mentale de l'action sans acte moteur (Decety, 1996, in Williams et coll., 2011 ; Wilson et coll., 2016). A l'heure actuelle, il existe plus de 15 ans de recherches sur l'imagerie motrice dans le TDC (voir Hyde et coll., 2014). En tout, la question de l'imagerie motrice dans le TDC a fait l'objet d'une revue de travaux (Gabbard et Bobbio, 2011),

d'une méta-analyse (Adams et coll., 2014) et d'une revue systématique (Reynolds et coll., 2015).

L'imagerie motrice (aussi appelée « *covert manual action* ») peut revêtir deux formes : explicite et implicite (Gabbard et Gobbio, 2011 ; Adams et coll., 2014). L'imagerie motrice explicite a pour but d'imaginer une action sans l'effectuer alors que l'imagerie motrice implicite consiste à réaliser une tâche nécessitant d'imaginer le mouvement mais l'imagerie n'est qu'un moyen de réaliser la tâche et non un but. Ces deux formes d'imagerie sont explorées par deux paradigmes basés sur le fait que l'imagerie mentale reflète la représentation interne de l'action et donc doit respecter les lois du mouvement.

L'imagerie motrice explicite est étudiée grâce à un paradigme de chronométrie mentale lors de tâches de pointage visuellement guidées (VGPT pour *Visually Guided Pointing Tasks*). Le sujet est invité à imaginer le pointage d'une cible plus ou moins large et plus ou moins distante et à indiquer le début et la fin du mouvement imaginé. Si l'imagerie motrice est correcte, le temps de mouvement imaginé doit être proche du temps de mouvement réel. Le paradigme permettant d'explorer l'imagerie motrice implicite est la rotation mentale. Le sujet doit juger la latéralité ou l'identité d'un stimulus (mains, corps, lettre) présenté avec différents angles de rotation. Le temps de réaction et le nombre d'erreurs sont mesurés. La méta-analyse de Wilson et coll. (2013) indique un déficit de « modèle interne » avec une large taille d'effet pour l'imagerie motrice explicite ($dw = 2,43$) et implicite ($dw = 0,84$).

Il existe à l'heure actuelle 6 études sur l'imagerie motrice explicite (VGPT). Les résultats indiquent de manière unanime un déficit dans le TDC (Maruff et coll., 1999 ; Wilson et coll., 2001 ; Lewis et coll., 2008 ; Williams et coll., 2013 ; Ferguson et coll., 2015 ; Adams et coll., 2017).

Concernant l'imagerie motrice implicite (rotation mentale), 14 études ont été menées avec des résultats moins concordants (tableau 8.II). Neuf études sur 13 indiquent clairement un déficit chez les individus présentant un TDC (Wilson et coll., 2004 ; Williams et coll., 2008, 2011, 2012 et 2013 ; Hyde et coll., 2014 et 2017 ; Fuelscher et coll., 2015 ; Reynolds et coll., 2015), une seule étude ne montre pas de déficit d'imagerie motrice (Lust et coll., 2006) et deux études ne montrent pas de déficit d'amélioration de l'imagerie motrice avec la pratique répétée (Wilson et coll., 2002 ; Wilson et coll., 2016). Les études restantes suggèrent un déficit relatif (Deconinck et coll., 2009 ; Noten et coll., 2014).

Deux études utilisent des questionnaires d'imagerie motrice (*Praxis Imagery Questionnaire*) pour évaluer le possible déficit chez les personnes présentant un TDC dans une perspective plus écologique. Leurs résultats sont

relativement concordants mais une étude suggère un déficit spécifique kinesthésique (Wilson et coll., 2001) alors que l'autre suggère un déficit global (Sinani et coll., 2011).

De manière générale, quel que soit le paradigme, le déficit apparaît présent chez l'enfant et adulte (voir Hyde et coll., 2014 pour l'adulte) sans spécificité d'un effecteur (rotation de main ou du corps entier). Le déficit dépend de la sévérité du trouble et de la complexité des tâches (Williams et coll., 2008 ; Noten et coll., 2014). Une étude trouve que l'association avec le TDA/H dégrade l'imagerie motrice (Lewis et coll., 2008) alors qu'une autre étude ne trouve pas de différence (Williams et coll., 2013). Il existe un effet bénéfique de l'intervention (protocole de pratique de l'imagerie) sur l'imagerie et le score moteur, que le TDC soit probable (Wilson et coll., 2002) ou non (Wilson et coll., 2016) et le déficit peut disparaître si des instructions sont données pour améliorer l'imagerie (Reynolds et coll., 2015), à condition que le TDC ne soit pas sévère (Williams et coll., 2006 et 2008). Des auteurs suggèrent un lien entre défaut d'imagerie et défaut de planification (Fuelscher et coll., 2016) car ils trouvent que le développement de l'imagerie motrice semble être lié au développement de la planification motrice chez l'enfant typique (particulièrement entre 6 et 12 ans) et pas chez l'enfant présentant un TDC probable. Ce lien est corroboré par une étude originale testant l'estimation de distances par imagerie motrice chez des enfants avec et sans TDC (Caçola et coll., 2014) : les enfants présentant un TDC démontrent un déficit de la capacité à estimer si une cible est atteignable ou pas (sans bouger), dans le cas où la cible est placée dans l'espace extra-personnel lointain. Ceci suggère un déficit d'imagerie motrice en lien avec la planification du geste. Enfin, Hyde et coll. (2014) notent une hétérogénéité dans le trouble d'imagerie motrice chez les enfants présentant un TDC (« deficits in MI are by no means universal ») (voir aussi Reynolds et coll., 2015).

Trois hypothèses explicatives du déficit d'imagerie motrice ont été avancées. La première hypothèse défendue par Wilson et coll. (2004) est un déficit de stratégie des enfants présentant un TDC : ces enfants utiliseraient l'imagerie visuelle (rotation 3^e personne) plutôt que l'imagerie mentale (rotation 1^{re} personne). Mais les résultats de Deconink et coll. (2009) ne vont pas dans ce sens et montrent que les enfants présentant un TDC utilisent l'imagerie mentale pour ces tâches. La deuxième hypothèse est celle d'un déficit de modèle interne qui correspond à un processus qui simule la réponse effective dans le but d'estimer ses conséquences (Gabbard et Gobbio 2011 ; Adams et coll., 2014). Ce processus est sous la dépendance de la boucle cortico-cérébelleuse. Les enfants présentant un TDC utilisent l'imagerie mais le modèle interne est « moins bien défini » (Deconink et coll., 2009), en lien

Tableau 8.II : Résumé des études sur l'imagerie motrice. Adapté et actualisé à partir de Adams et coll., 2014

Référence	Participants	Méthode	Résultats	Conclusion
Rotation mentale				
Wilson et coll., 2002	54 enfants avec troubles moteurs (MABC < 50 ^e percentile, 11 < au 15 ^e dans chaque groupe 7-12 ans)	Entraînement à l'imagerie mentale (18 enfants) Entraînement perceptivo-moteur (18 enfants) Liste d'attente (18 enfants)	Pratique mentale aussi efficace que pratique perceptivo-motrice Pas de déficit d'apprentissage par pratique mentale Mais enfants avec difficultés motrices, pas tous TDC	Pas de déficit (apprentissage)
Lust et coll., 2006	7 contrôles 10 TDC (MABC < 15 ^e percentile) Âge : 10,4 ans (9-11 ans) 14 adultes	Rotation mentale avec des mains (+ EEG, potentiels évoqués)	Rotation mentale identique aux contrôles	Pas de déficit. Notons également que les auteurs ne trouvent pas de différence de Groupe dans les potentiels évoqués au niveau cérébral
Williams et coll., 2006	18 contrôles 18 TDC (MABC < 15 ^e percentile) Âge : 9,7 +/- 0,7 ans	Rotation mentale avec des mains (avec ou sans instructions) et avec lettres et corps entier	Les TDC ne bénéficient pas des instructions	Déficit
Williams et coll., 2008	21 contrôles 21 TDC probables (MABC 6-14 percentile) 9,2 +/- 1,4 ans 21 TDC sévères (MABC < 5 ^e percentile) 9,4 +/- 0,7 ans	Rotation mentale avec des mains (avec ou sans instructions) et avec corps entier (avec ou sans instructions)	Déficit de rotation mentale, corrélé avec le degré de déficit moteur	Déficit
Deconinck et coll., 2009	13 contrôles 13 TDC (MABC ≤ 15 ^e percentile) Âge : 9 +/- 0,7 ans	Rotation mentale avec mains et lettres	Déficit de rotation mentale (plus lente et moins précise)	Déficit
Williams et coll., 2011	21 contrôles 21 TDC 21 paralysés cérébraux (PC) Âge : 9,4 +/- 0,7 ans	Rotation mentale avec des mains (avec ou sans instructions) et avec corps entier (avec ou sans instructions)	Déficit de rotation mentale (mains et corps entier) Déficit chez les TDC et PC	Déficit
Noten et coll., 2014	56 contrôles 21 TDC (MAND ≤ 15 ^e percentile) 7-12 ans	Rotation mentale avec mains et images + tâche de planification d'action	Déficit de rotation mentale et de planification d'action, sans corrélation entre les deux	Déficit

Hyde et coll., 2014	47 contrôles (MAND > 20 ^e percentile) 12 jeunes adultes (19-35 ans) avec TDC probable (MAND < 25 ^e percentile)	Rotation mentale	Les adultes TDC probables ont des capacités d'imagerie mentales inférieures aux contrôles	Déficit d'imagerie mentale chez l'adulte TDC probable
Reynolds et coll., 2015	22 contrôles (9,68 +/- 1,53 ans) 22 TDC probables (9,9 +/- 1,57 ans, MABC-2 < 16 ^e percentile)	Rotation mentale avec des mains (avec ou sans instructions)	Déficit d'imagerie mentale mais les deux groupes bénéficient des instructions	Déficit d'imagerie mentale mais effet des instructions chez les TDC probables
Fuelscher et coll., 2015	17 contrôles (11,2 +/- 1,18 ans, MAND < 20 ^e percentile) 17 TDC probables (11,22 +/- 1,11 ans, MAND < 15 ^e percentile) 8-12 ans	Rotation mentale avec des mains + pointage de cibles avec changement de direction (<i>double-step reaching task</i>)	Déficit de rotation mentale, associé au déficit de correction du pointage de cible	Déficit
Wilson et coll., 2016	36 enfants TDC (MABC < 10 ^e percentile)	Réplique Wilson et coll., 2002, avec des TDC	Pratique mentale aussi efficace que pratique perceptivo-motrice Pas de déficit d'apprentissage par pratique mentale chez les TDC	Pas de déficit (apprentissage)
Hyde et coll., 2017	8 adultes avec TDC 21 contrôles 18-36 ans	Rotation mentale (main droite) + Stimulation Magnétique Transcrânienne (TMS) au-dessus du cortex prémoteur gauche	Contrairement aux contrôles, les adultes présentant un TDC n'ont pas d'activité augmentée du cortex prémoteur gauche lorsqu'ils réalisent une imagerie motrice de leur main droite	Mise en évidence de corrélats cérébraux du déficit d'imagerie mentale
Chronométrie mentale				
Maruff et coll., 1999	20 contrôles 24 TDC (MABC < 15 ^e percentile) 9,8 ans (9-10,8 ans)	Tâche de pointage visuellement guidée	Les TDC ont un déficit de chronométrie mentale (les lois de mouvements sont respectées seulement si les mouvements sont réellement exécutés)	Déficit de chronométrie mentale chez les TDC

Wilson et coll., 2001	20 contrôles 20 TDC (MABC < 15 ^e percentile) 10 ans (8,1-11,5 ans)	Tâche de pointage visuellement guidée	Les TDC ont un déficit de chronométrie mentale (les lois de mouvements sont respectées seulement si les mouvements sont réellement exécutés)	Déficit de chronométrie mentale chez les TDC
Lewis et coll., 2008	15 contrôles 15 TDC 14 TDC + TDA/H MABC < 15 ^e percentile 8-12 ans	Tâche de pointage visuellement guidée	Les TDC ont un déficit de chronométrie mentale (les lois de mouvements sont respectées seulement si les mouvements sont réellement exécutés) Les TDC + TDA/H n'ont pas de déficit de chronométrie mentale (les lois de mouvements sont respectées si les mouvements sont réellement exécutés ou imaginés)	Déficit de chronométrie mentale chez les TDC La comorbidité avec le TDA/H n'aggrave pas le trouble
Ferguson et coll., 2015	30 contrôles (8,4 +/- 1,4 ans) 30 TDC (8,3 +/- 1,4 ans, MABC-2 < 5 ^e percentile) 6-10 ans	Tâche de pointage visuellement guidée + tâche informatisée qui teste la rotation mentale de manière plus « pure » de l'imagerie mentale	Les TDC ont un déficit de chronométrie mentale pour les deux tâches	Déficit de chronométrie mentale chez les TDC
Adams et coll., 2018	30 contrôles (MABC-2 > 15 ^e percentile) 30 TDC (MABC-2 < 16 ^e percentile) 6-11 ans	Tâche de pointage visuellement guidée 3 mesures longitudinales avec un an entre la première et la 3 ^e mesure	Les TDC ont un déficit de chronométrie mentale avec une évolution identique aux contrôles avec l'âge	Délai de développement de l'imagerie motrice : retard précoce mais évolution normale
Chronométrie mentale + Rotation mentale				
Williams et coll., 2013	18 contrôles 10 TDC (MABC < 15 ^e percentile ; âge : 8,45 +/- 1,25 ans) 16 TDC + TDA/H (9,07 +/- 1,07 ans)	Tâche de pointage visuellement guidée + Rotation mentale	Les TDC ont un déficit de chronométrie mentale (les lois de mouvements sont respectées seulement si les mouvements sont réellement exécutés) Rotation mentale : TDC et TDC + TDA/H moins précis	Déficit TDC < TDC + TDA/H pour la chronométrie mentale TDC = TDC + TDA/H pour la rotation mentale

avec un dysfonctionnement de la boucle cortico-cérébelleuse impliquée dans le modèle interne (pariéto-cérébelleux). Ceci expliquerait les déficits de contrôle moteur (anticipation, programmation, corrections) (Adams et coll., 2014, 2016). Ainsi, beaucoup de résultats expérimentaux peuvent être interprétés selon l'hypothèse du défaut de modèle interne (voir chapitre « Contrôle sensorimoteur »). La troisième théorie, plus récente, est celle du dysfonctionnement du système miroir qui correspond à un réseau cérébral (fronto-pariétal) de simulation automatique de l'action (Reynolds et coll., 2015). S'il s'agit d'une hypothèse intéressante pour comprendre les difficultés motrices, et de cognition sociale des enfants présentant un TDC (Werner et coll., 2012 ; Reynolds et coll., 2015), il existe à l'heure actuelle peu d'études pour pouvoir étayer cette hypothèse. Une étude expérimentale en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) a néanmoins révélé un dysfonctionnement du système miroir lors de l'observation et imitation de séquences motrices (Reynolds et coll., 2015).

Pour conclure, la littérature rapporte un déficit d'imagerie motrice dans le TDC. Les points forts des études sur l'IM sont qu'elles sont nombreuses et comportent des réplifications de résultats. Quatre études excluent les enfants présentant un TDA/H et 2 études comparent les ceux qui présentent également un TDA/H. Il existe néanmoins quelques limites : notamment, les seuils de MABC sont variables, les critères DSM incomplets, les variables confondantes sont peu prises en compte (par ex., kinesthésie, QI, attention voire TDA/H, MDT) (Ferguson et coll., 2015), les effectifs sont petits (mais tailles d'effet satisfaisantes), les résultats statistiques ne sont pas toujours précis.

Parmi les différents types de mémoire, la mémoire procédurale est la plus explorée

Alors que la mémoire de travail (MDT) a été principalement analysée comme relevant des fonctions exécutives dans la littérature sur le TDC, les autres types de mémoire ont été peu étudiés, si ce n'est la mémoire procédurale.

La mémoire à long terme procédurale pourrait être perturbée dans certaines conditions

L'essentiel des travaux sur la mémoire à long terme porte sur l'apprentissage et la mémoire procédurale qui concerne la mémorisation et la rétention à long terme de savoir-faire. La méta-analyse de Wilson et coll. (2013) indique

que l'apprentissage procédural est déficitaire avec une large taille d'effet (1,50). Si l'on considère le modèle de Doyon et coll. (2003), il existe deux types d'apprentissages procéduraux : les apprentissages par adaptation visuo-motrice, sous la dépendance de la boucle cortico-thalamo-cérébelleuse et les apprentissages par mémorisation de séquences, qui sont sous la dépendance de la boucle cortico-thalamo-striatale. Selon l'hypothèse de Nicolson et coll. (2007), le TDC affecterait les apprentissages de séquences (alors que la dyslexie affecterait plutôt les adaptations visuo-motrices).

Concernant les apprentissages par adaptation visuo-motrice, il existe des évidences d'un déficit chez les enfants présentant un TDC, entraînant des difficultés à améliorer la précision des réponses lors de tâches de lancers avec des lunettes prismatiques ou de tracés avec des contraintes visuo-spatiales importantes, en lien avec un possible dysfonctionnement de la boucle cortico-thalamo-cérébelleuse (Kagerer et coll., 2004 et 2006 ; Mariën et coll., 2010 ; Zwicker et coll., 2011 ; Cantin et coll., 2014).

Les apprentissages de séquences ont été étudiés dans 5 études dont les résultats sont contradictoires. Les études de Wilson et coll. (2013, DMCN), Lejeune et coll. (2013, RiDD, 2016) ne montrent pas de déficit alors que les études de Gheysen et coll. (2011, RiDD) et Jarus et coll. (2015, RiDD) révèlent un déficit chez les enfants présentant un TDC. Des différences méthodologiques sont à noter entre les études et pourraient expliquer les résultats contradictoires. Une étude de Biotteau et coll. (2015) a testé le déficit de l'automatisation dans le TDC (« Automatization Deficit Hypothesis ») (Fawcett et Nicolson, 1990 ; Visser, 2003) en mesurant la performance en double tâche avant et après la pratique d'une tâche de séquences motrices. Les résultats suggèrent que les enfants présentant un TDC ne présentent pas plus de difficultés d'automatisation que ceux qui présentent une dyslexie ou les 2 troubles associés. Cependant, l'absence de groupe contrôle limite les conclusions de cette étude. Deux études plus récentes de Blais et coll. (2017a, 2018) indiquent que les adolescents présentant un TDC sont capables d'apprendre une nouvelle coordination bimanuelle complexe en améliorant la précision et la stabilité de leurs mouvements, mais qu'ils présentent des signes discrets de déficit de contrôle moteur malgré la pratique. On peut donc conclure que les enfants présentant un TDC semblent capables d'apprendre des séquences dans certaines conditions (amélioration de la vitesse de réponses), même s'ils restent toujours plus lents dans leurs réponses et présentent plus de réponses incorrectes que les enfants typiques.

Les conditions de pratique pouvant influencer l'apprentissage n'est pas encore développée à l'heure actuelle. Il a été montré que l'organisation de la pratique (bloquée ou aléatoire) ne semble pas avoir d'impact sur l'apprentissage d'un

jeu vidéo : les enfants présentant un TDC apprennent de manière identique aux contrôles quelle que soit l'organisation de la pratique (Bonney et coll., 2017). Néanmoins, d'autres études sont requises pour compléter ce résultat.

En résumé, le déficit de MLT procédurale ne semble pas encore clairement établi. Plusieurs hypothèses sont mises en avant pour expliquer les contradictions. Selon Tallet et coll. (2015), la complexité de la réponse motrice doit être prise en compte (notamment le caractère bimanuel ou unimanuel de la tâche à mémoriser). Il semble également important de tester les différentes phases de l'apprentissage, notamment la consolidation mnésique (sensible au développement). Il est nécessaire de prendre en compte le caractère explicite *versus* implicite de l'apprentissage, c'est-à-dire le fait que la consigne porte directement sur l'apprentissage (explicite) ou bien sur un autre paramètre (par exemple, la vitesse d'exécution du mouvement et non l'apprentissage, implicite) (Candler et Meeuwsen, 2002 ; Biotteau et coll., 2016). La durée de la pratique (quelques dizaines de minutes à plusieurs jours en fonction des études) semble également à prendre en compte. Gorgy (2012) avance l'hypothèse selon laquelle le TDC serait un « trouble de la mémoire implicite ». Cette hypothèse reste à tester puisqu'à l'heure actuelle, aucune étude n'a comparé l'apprentissage implicite ou explicite dans le TDC. Enfin, lors du dernier congrès sur le TDC (DCD12, Perth, Australie), l'accent a été mis sur l'importance de la motivation dans les apprentissages. Or, aucune étude à l'heure actuelle ne teste réellement le niveau de motivation impliqué dans les tâches d'apprentissage.

Peu d'études sur les autres types de mémoire

En ce qui concerne les autres types de mémoires, l'étude de Tsai et coll. (2008) indique un déficit de la mémoire visuelle à court terme. Ceci est concordant avec les études d'Alloway et coll. (2009) qui indiquent que, même si la MDT VS est la plus touchée, la MCT VS est également déficiente. L'étude de Crawford et Dewey (2008) suggère que le déficit de mémoire visuelle est d'autant plus important chez les enfants présentant à la fois un TDC et un TDA/H ou un trouble de la lecture (Reading Disabilities). La MCT V apparaît moins touchée que chez les enfants avec des troubles spécifiques du langage oral (TSLO) (Alloway et coll., 2009). L'étude de Crawford et Dewey (2008) sur l'effet des associations de troubles sur la MCT visuelle indique que les enfants présentant un TDC avec ou sans association avec le TDA/H ou les troubles de la lecture présentent un déficit de MCT visuelle.

Enfin, une seule étude s'est intéressée à la mémoire à long terme déclarative – qui concerne la mémoire des faits – dans le TDC (Chen IC et coll., 2013). Leurs résultats montrent que 52,6 % des enfants porteurs d'un TDC (pTDC) présentent des déficits de mémoire de faits quotidiens (*versus* 5,2 % des typiques). Ces résultats concernant un déficit de mémoire déclarative sont à relativiser dans la mesure où les troubles associés n'ont pas été pris en compte. D'autres études sont donc nécessaires pour confirmer l'existence d'un trouble de mémoire à long terme déclarative.

Les mécanismes cognitifs qui sous-tendent les difficultés scolaires dans le TDC sont peu étudiés

Des difficultés à l'école sont fréquemment rapportées chez les enfants présentant un TDC (par exemple Harrowell et coll., 2018) et constituent une inquiétude majeure des familles et une source fréquente de consultation. Néanmoins, peu de travaux se sont intéressés aux mécanismes cognitifs qui pourraient sous-tendre ces difficultés. Dans deux études, Gomez et coll. (2015 et 2016) ont comparé les compétences numériques de 20 enfants présentant un TDC de 7 à 10 ans et de 20 enfants contrôles. Les résultats mettent en évidence une perturbation du traitement des nombres qu'ils soient présentés sous forme symbolique (comparaison de chiffres, additions) ou non symbolique (comparaison de séries de points). Néanmoins, dans une tâche de ligne numérique dans laquelle les enfants devaient évaluer à quel nombre correspondait une marque verticale placée sur une ligne horizontale allant de 0 à 100, les résultats montrent qu'en dépit d'une estimation numérique moins précise, les enfants présentant un TDC ont compris le concept de linéarité qui leur permet de résoudre la tâche. D'autres études sont essentielles pour confirmer ces premiers résultats mais aussi pour préciser les mécanismes qui sous-tendent les difficultés en géométrie, en lecture, en géographie, etc.

RÉFÉRENCES

Achenbach TM, Edelbrock CS. *Manual for the child: behavior checklist and revised child behavior profile*. Burlington, VT : University of Vermont, Department of Psychiatry, 1983.

Adams IL, Lust JM, Wilson PH, *et al.* Compromised motor control in children with DCD: a deficit in the internal model? A systematic review. *Neurosci Biobehav Rev* 2014 ; 47 : 225-44.

Adams IL, Lust JM, Wilson PH, *et al.* Testing predictive control of movement in children with developmental coordination disorder using converging operations. *Br J Psychol* 2017 ; 108 : 73-90.

Alloway TP. Working memory skills in children with developmental coordination disorder. In : Alloway TP, Gathercole SE, eds. *Working memory and neurodevelopmental disorders*. New York : Psychology Press, 2006 : 161-85.

Alloway TP. Working memory, reading, and mathematical skills in children with developmental coordination disorder. *J Exp Child Psychol* 2007 ; 96 : 20-36.

Alloway TP. A comparison of working memory profiles in children with ADHD and DCD. *Child Neuropsychol* 2011 ; 17 : 483-94.

Alloway TP, Archibald L. Working memory and learning in children with developmental coordination disorder and specific language impairment. *J Learn Disabil* 2008 ; 41 : 251-62.

Alloway TP, Temple KJ. A comparison of working memory skills and learning in children with developmental coordination disorder and moderate learning difficulties. *Appl Cogn Psychol* 2007 ; 21 : 473-87.

Alloway TP, Warner C. Task-specific training, learning, and memory for children with developmental coordination disorder: a pilot study. *Percept Mot Skills* 2008 ; 107 : 473-80.

Alloway TP, Rajendran G, Archibald LM. Working memory in children with developmental disorders. *J Learn Disabil* 2009 ; 42 : 372-82.

American Psychiatric Association. *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5)*. Washington, DC : American Psychiatric Association, 2013.

Bernardi M, Leonard HC, Hill EL *et al.* Brief report: response inhibition and processing speed in children with motor difficulties and developmental coordination disorder. *Child Neuropsychol* 2016 ; 22 : 627-34.

Biotteau M, Chaix Y, Albaret JM. Procedural learning and automatization process in children with developmental coordination disorder and/or developmental dyslexia. *Hum Mov Sci* 2015 ; 43 : 78-89.

Biotteau M, Chaix Y, Albaret JM. What do we really know about motor learning in children with developmental coordination disorder? *Curr Dev Disord Rep* 2016 ; 3 : 152-60.

Blais M, Baly C, Biotteau M, *et al.* Lack of motor inhibition as a marker of learning difficulties of bimanual coordination in teenagers with developmental coordination disorder. *Dev Neuropsychol* 2017 ; 42 : 207-19.

Blais M, Amarantini D, Albaret JM, *et al.* Atypical inter-hemispheric communication correlates with altered motor inhibition during learning of a new bimanual coordination pattern in developmental coordination disorder. *Dev Sci* 2018 ; 21 : e12563.

Blank R, Barnett A, Cairney J, Green D, Kirby A, Polatajko H, *et al.* International clinical practice recommendations on the definition, diagnosis, assessment,

intervention, and psychosocial aspects of developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 2019 ; 61 : 242-85.

Bonney E, Ferguson G, Smits-Engelsman B. The efficacy of two activity-based interventions in adolescents with developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2017 ; 71 : 223-36.

Candler C, Meeuwse H. Implicit learning in children with and without developmental coordination disorder. *Am J Occup Ther* 2002 ; 56 : 429-35.

Cantin N, Ryan J, Polatajko HJ. Impact of task difficulty and motor ability on visual-motor task performance of children with and without developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2014 ; 34 : 217-32.

Chaix Y, Albaret JM. Trouble de l'acquisition de la coordination et déficits visuo-spatiaux. *Développements* 2014 ; 15 : 32-43.

Cheliout-Heraut F, Antonetti C, Lemaitre A, et al. Potentiels évoqués cognitifs et dyspraxie : étude préliminaire. *ANAE* 2008 ; 20 : 169-73.

Chen FC, Tsai CL, Biltz GR, et al. Variations in cognitive demand affect heart rate in typically developing children and children at risk for developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2015 ; 38 : 362-71.

Chen FC, Tsai CL, Stoffregen TA, et al. Postural adaptations to a suprapostural memory task among children with and without developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 2012 ; 54 : 155-9.

Chen IC, Tsai PL, Hsu YW, et al. Everyday memory in children with developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2013 ; 34 : 687-94.

Chen WY, Wilson PH, Wu SK. Deficits in the covert orienting of attention in children with developmental coordination disorder: does severity of DCD count? *Res Dev Disabil* 2012 ; 33 : 1516-22.

Cheng CH, Ju YY, Chang HW, et al. Motor impairments screened by the movement assessment battery for children-2 are related to the visual-perceptual deficits in children with developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2014 ; 35 : 2172-9.

Chereng RJ, Liang LY, Chen YJ, et al. The effects of a motor and a cognitive concurrent task on walking in children with developmental coordination disorder. *Gait Posture* 2009 ; 29 : 204-7.

Coats ROA, Britten L, Utley A, et al. Multisensory integration in children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2015 ; 43 : 15-22.

Cohen RG, Rosenbaum DA. Where grasps are made reveals how grasps are planned: generation and recall of motor plans. *Exp Brain Res* 2004 ; 157 : 486-95.

Coleman R, Piek JP, Livesey DJ. Kinaesthetic acuity in preprimary children at risk of developmental coordination disorder. *The Educational and Developmental Psychologist* 1997 ; 14 : 80-6.

Coleman R, Piek JP, Livesey DJ. A longitudinal study of motor ability and kinaesthetic acuity in young children at risk of developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2001 ; 20 : 95-110.

Conners CK, Epstein JN, Angold A, Klaric J. Continuous performance test performance in a normative epidemiological sample. *Journal of Abnormal Child Psychology* 2003 ; 31 : 555-62.

Crawford SG, Dewey D. Co-occurring disorders: a possible key to visual perceptual deficits in children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2008 ; 27 : 154-69.

Creavin AL, Lingam R, Northstone K, *et al.* Ophthalmic abnormalities in children with developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 2014 ; 56 : 164-70.

De Castelneau P, Albaret JM, Chaix Y, *et al.* Developmental coordination disorder pertains to a deficit in perceptuo-motor synchronization independent of attentional capacities. *Hum Mov Sci* 2007 ; 26 : 477-90.

Debrabant J, Gheysen F, Caeyenberghs K, *et al.* Neural underpinnings of impaired predictive motor timing in children with developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2013 ; 34 : 1478-87.

Decety J. Neural representations for action. *Rev Neuroscience* 1996 ; 7 : 285-97.

Deconinck FJA, Spitaels L, Fias W, *et al.* Is developmental coordination disorder a motor imagery deficit? *J Clin Exp Neuropsychol* 2009 ; 31 : 720-30.

Dewey D, Kaplan BJ, Crawford SG, *et al.* Developmental coordination disorder: Associated problems in attention, learning, and psychosocial adjustment. *Hum Mov Sci* 2002 ; 21 : 905-18.

Doyon J, Penhune V, Ungerleider LG. Distinct contribution of the cortico-striatal and cortico-cerebellar systems to motor skill learning. *Neuropsychologia* 2003 ; 41 : 252-62.

Ferguson GD, Wilson PH, Smits-Engelsman BC. The influence of task paradigm on motor imagery ability in children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2015 ; 44 : 81-90.

Fong SS, Chung JW, Cheng YT, *et al.* Attention during functional tasks is associated with motor performance in children with developmental coordination disorder: a cross-sectional study. *Medicine* 2016 ; 95 : e4935.

Fuelscher I, Williams J, Enticott PG, *et al.* Reduced motor imagery efficiency is associated with online control difficulties in children with probable developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2015 ; 45 : 239-52.

Fuelscher I, Williams J, Wilmot K, *et al.* Modeling the maturation of grip selection planning and action representation: insights from typical and atypical motor development. *Front Psychol* 2016 ; 7 : 108.

Gabbard C, Bobbio T. The inability to mentally represent action may be associated with performance deficits in children with developmental coordination disorder. *Int J Neurosci* 2011 ; 121 : 113-20.

Gheysen F, Van Waelvelde H, Fias W. Impaired visuo-motor sequence learning in developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2011 ; 32 : 749-56.

Gorgy O. TAC et dyspraxie : classifications, modèles théoriques et perspective neuroscientifique pour la compréhension de l'hétérogénéité des profils du trouble des coordinations motrices. *Thérapie Psychomotrice Recherches* 2012 ; n° 165 : 98-111.

Gilger JW, Kaplan BJ. Atypical brain development: a conceptual framework for understanding developmental learning disabilities. *Dev Neuropsychol* 2001 ; 20 : 465-81.

Gillberg C, Rasmussen P, Carlström G, *et al.* Perceptual, motor and attentional deficits in six-year-old children. Epidemiological aspects. *J Child Psychol Psychiatry* 1982 ; 23 : 131-44.

Gomez A, Piazza M, Jobert A, *et al.* Mathematical difficulties in developmental coordination disorder: symbolic and nonsymbolic number processing. *Res Dev Disabil* 2015 ; 43-44 : 167-78.

Gomez A, Piazza M, Jobert A, *et al.* Numerical abilities of school-age children with developmental coordination disorder (DCD): a behavioral and eye-tracking study. *Hum Mov Sci* 2016 ; 55 : 315-26.

Goulardins JB, Rigoli D, Licari M, *et al.* Attention deficit hyperactivity disorder and developmental coordination disorder: two separate disorders or do they share a common etiology. *Behav Brain Res* 2015 ; 292 : 484-92.

Guillot A, Hoyek N, Louis M, *et al.* Understanding the timing of motor imagery: recent findings and future directions. *Int Rev Sport Exerc Psychol* 2012 ; 5 : 3-22.

Hare TA, Casey BJ. The neurobiology and development of cognitive and affective control. *Cognition Brain Behavior* 2005 ; 9 : 273-86.

Harrowell I, Hollén L, Lingam R, *et al.* The impact of developmental coordination disorder on educational achievement in secondary school. *Res Dev Disabil* 2018 ; 72 : 13-22.

Hé J, Fuelscher I, Coxon J, *et al.* Impaired motor inhibition in developmental coordination disorder. *Brain Cogn* 2018 ; 127 : 23-33.

Henderson SE, Henderson L. Toward an understanding of developmental coordination disorder. *Adapt Phys Activ Q* 2002 ; 19 : 11-31.

Hill EL. Executive dysfunction in autism. *Trends Cogn Sci* 2004 ; 8 : 26-32.

Holeckova I, Cepicka L, Mautner P, *et al.* Auditory ERPs in children with developmental coordination disorder. *Activitas Nervosa Superior* 2014 ; 56 : 37-44.

Hughes C, Graham A. Measuring executive functions in childhood: problems and solutions? *Child Adolesc Ment Health* 2002 ; 7 : 131-42.

Hyde C, Fuelscher I, Buckthought K, *et al.* Motor imagery is less efficient in adults with probable developmental coordination disorder: evidence from the hand rotation task. *Res Dev Disabil* 2014 ; 35 : 3062-70.

Hyde C, Fuelscher I, Williams J, *et al.* Corticospinal excitability during motor imagery is reduced in young adults with developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2018 ; 72 : 214-24.

Jarus T, Ghanouni P, Abel RL, *et al.* Effect of internal versus external focus of attention on implicit motor learning in children with developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2015 ; 37 : 19-126.

Johnson DC, Wade MG. Children at risk for developmental coordination disorder: judgement of changes in action capabilities. *Dev Med Child Neurol* 2009 ; 51 : 397-403.

Johnston JS, Begum Ali J, Hill EL, Bremner AJ. Tactile localization performance in children with developmental coordination disorder (DCD) corresponds to their motor skill and not their cognitive ability. *Hum Mov Sci* 2017 ; 53 : 72-83.

Jokic CS, Whitebread D. The role of self-regulatory and metacognitive competence in the motor performance difficulties of children with developmental coordination disorder: a theoretical and empirical review. *Educ Psychol Rev* 2011 ; 23 : 75-98.

Kadesjo B, Gillberg C. Developmental coordination disorder in Swedish 7-year-old children. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 1999 ; 38 : 820-8.

Kagerer FA, Bo J, Contreras-Vidal JL, *et al.* Visuomotor adaptation in children with developmental coordination disorder. *Motor Control* 2004 ; 8 : 450-60.

Kagerer FA, Contreras-Vidal JL, Bo J, *et al.* Abrupt, but not gradual visuomotor distortion facilitates adaptation in children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2006 ; 25 : 622-33.

Kaplan BJ, Wilson BN, Dewey D, *et al.* DCD may not be a discrete disorder. *Hum Mov Sci* 1998 ; 17 : 471-90.

McLeod KR, Langevin LM, Goodyear B G, *et al.* Functional connectivity of neural motor networks is disrupted in children with developmental coordination disorder and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Neuroimage Clin* 2014 ; 4 : 566-75.

Kirby A, Sugden D, Beveridge S, *et al.* Dyslexia and developmental coordination disorder in further and higher education : similarities and differences. Does the label influence the support given? *Dyslexia* 2008 ; 14 : 197-213.

Koch JKL, Miguel H, Smiley-Oyen AL. Prefrontal activation during stroop and Wisconsin card sort tasks in children with developmental coordination disorder: a NIRS study. *Exp Brain Res* 2018 ; 236 : 3053-64.

Langevin LM, Macmaster FP, Dewey D. Distinct patterns of cortical thinning in concurrent motor and attention disorders. *Dev Med Child Neurol* 2015 ; 57 : 257-64.

Langevin LM, Macmaster FP, Crawford S, *et al.* Common white matter microstructure alterations in pediatric motor and attention disorder. *J Pediatr* 2014 ; 164 : 1157-64.

Laszlo JI, Bairstow PJ, Bartrip J, *et al.* Clumsiness or perceptuo-motor dysfunction? *Adv Psychol* 1988 ; 55 : 293-310.

Laufer Y, Ashkenazi T, Josman N. The effects of a concurrent cognitive task on the postural control of young children with and without developmental coordination disorder. *Gait Posture* 2008 ; 27 : 347-51.

Lejeune C, Catale C, Willems S, *et al.* Intact procedural motor sequence learning in developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2013 ; 34 : 1974-81.

Lejeune C, Wansard M, Geurten M, *et al.* Procedural learning, consolidation, and transfer of a new skill in developmental coordination disorder. *Child Neuropsychol* 2016 ; 22 : 143-54.

Leonard HC, Hill EL. Executive difficulties in developmental coordination disorder : methodological issues and future directions. *Cur Dev Dis Rep* 2015 ; 2 : 141-9.

Leonard HC, Bernardi M, Hill EL, *et al.* Executive functioning, motor difficulties, and developmental coordination disorder. *Dev Neuropsychol* 2015 ; 40 : 201-15.

Leonard HC. The impact of poor motor skills on perceptual, social and cognitive development: the case of developmental coordination disorder. *Front Psychol* 2016 ; 7 : 311.

Lewis M, Vance A, Maruff P, *et al.* Differences in motor imagery between children with developmental coordination disorder with and without the combined type of ADHD. *Dev Med Child Neurol* 2008 ; 50 : 608-12.

Li KY, Su WJ, Fu HW, Pickett KA. Kinesthetic deficit in children with developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2015 ; 38 : 125-33.

Loh PR, Piek JP, Barrett NC. Comorbid ADHD and DCD: examining cognitive functions using the WISC-IV. *Res Dev Disabil* 2011 ; 32 : 1260-9.

Lundy-Ekman L, Ivry R, Keele S, *et al.* Timing and force control deficits in clumsy children. *J Cogn Neurosci* 1991 ; 3 : 367-76.

Lust JM, Geuze RH, Wijers AA, *et al.* An EEG study of mental rotation-related negativity in children with developmental coordination disorder. *Child Care Health Dev* 2006 ; 32 : 649-63.

Mackenzie SJ, Getchell N, Deutsch K, *et al.* Multi-limb coordination and rhythmic variability under varying sensory availability conditions in children with DCD. *Hum Mov Sci* 2008 ; 27 : 256-69.

Mandich A, Buckolz E, Polatajko H. On the ability of children with developmental coordination disorder (DCD) to inhibit response initiation : the Simon effect. *Brain Cogn* 2002 ; 50 : 150-62.

Mandich A, Buckolz E, Polatajko H. Children with developmental coordination disorder (DCD) and their ability to disengage ongoing attentional focus: more on inhibitory function. *Brain Cogn* 2003 ; 51 : 346-56.

Mariën P, Wackenier P, De Surgeloose D, *et al.* Developmental coordination disorder: disruption of the cerebello-cerebral network evidenced by SPECT. *Cerebellum* 2010 ; 9 : 405-10.

Martini R, Wall AET, Shore BM. Metacognitive processes underlying psychomotor performance in children with differing psychomotor abilities. *Adapt Phys Activ Q* 2004 ; 21 : 248-68.

- Maruff P, Wilson P, Trebilcock M, *et al.* Abnormalities of imaged motor sequences in children with developmental coordination disorder. *Neuropsychologia* 1999 ; 37 : 1317-24.
- Michel E, Molitor S, Schneider W. Differential changes in the development of motor coordination and executive functions in children with motor coordination impairments. *Child Neuropsychol* 2018 ; 24 : 20-45.
- Michel E, Roethlisberger M, Neuenschwander R, *et al.* Development of cognitive skills in children with motor coordination impairments at 12-month follow-up. *Child Neuropsychol* 2011 ; 17 : 151-72.
- Miyahara M, Piek J, Barrett N. Accuracy of drawing in a dual-task and resistance-to-distraction study: motor or attention deficit? *Hum Mov Sci* 2006 ; 25 : 100-9.
- Mon-Williams MA, Pascal E, Wann JP. Ophthalmic factors in developmental coordination disorder. *Adapt Phys Activ Q* 1994 ; 11 : 170-8.
- Mon-Williams MA, Wann JP, Pascal E. Visual-proprioceptive mapping in children with developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 1999 ; 41 : 247-54.
- Mon-Williams MA, Mackie RT, McCulloch DL, *et al.* Visual evoked potentials in children with developmental coordination disorder. *Ophthal Physiol Opt* 1996 ; 16 : 178-83.
- Mon-Williams MA, Tresilian JR, Bell VE, *et al.* The preparation of reach-to-grasp movements in adults, children, and children with movement problems. *Q J Exp Psychol A* 2005 ; 58 : 1249-63.
- Nicolson RI, Fawcett AJ. Automaticity: a new framework for dyslexia research? *Cognition* 1990 ; 35 : 159-82.
- Nicolson RI, Fawcett AJ. Procedural learning difficulties: reuniting the developmental disorders? *Trends Neurosci* 2007 ; 30 : 135-41.
- Noten M, Wilson P, Ruddock S, Steenbergen B. Mild impairments of motor imagery skills in children with DCD. *Res Dev Disabil* 2014 ; 35 : 1152-9.
- O'Brien JC, Williams HG, Bundy A, Lyons J, Mittal A. Mechanisms that underlie coordination in children with developmental coordination disorder. *J Mot Behav* 2008, 40 : 43-61.
- Oliveira RF de, Wann JP. Driving skills of young adults with developmental coordination disorder: regulating speed and coping with distraction. *Res Dev Disabil* 2011 ; 32 : 1301-8.
- Omer S, Jijon AM, Leonard HC. Research review: internalising symptoms in developmental coordination disorder: a systematic review and meta-analysis. *J Child Psychol Psychiatry* 2018. doi : 10.1111/jcpp.13001.
- Parush S, Yochman A, Cohen D, *et al.* Relation of visual perception and visual-motor integration for clumsy children. *Percept Mot Skills* 1998 ; 86 : 291-5.
- Passingham RE. Attention to action. *Phil Trans Roy Soc Lond B* 1996 ; 351 : 1473-9.
- Pettit L, Charles J, Wilson AD, *et al.* Constrained action selection in children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2008 ; 27 : 286-95.

Piek JP, Dyck MJ, Francis M, *et al.* Working memory, processing speed, and set-shifting in children with developmental coordination disorder and attention-deficit-hyperactivity disorder. *Dev Med Child Neurol* 2007 ; 49 : 678-83.

Piek JP, Dyck MJ, Nieman A, *et al.* The relationship between motor coordination, executive functioning and attention in school aged children. *Arch Clin Neuropsychol* 2004 ; 19 : 1063-107.

Pitcher TM, Piek JP, Hay DA. Fine and gross motor ability in males with ADHD. *Dev Med Child Neurol* 2003 ; 45 : 525-35.

Polatajko H, Fox M, Missiuna C. An international consensus on children with developmental coordination disorder. *Can J Occup Ther* 1995 ; 62 : 3-6.

Posner MI. Structures and function of selective attention. In : Boll T, Bryant DK (eds). *Clinical neuropsychology and brain function: research, assessment and practice*. Washington, DC : American Psychological Association, 1988 : 173-202.

Pratt ML, Leonard HC, Adeyinka H, *et al.* The effect of motor load on planning and inhibition in developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2014 ; 35 : 1579-87.

Purcell C, Wann JP, Wilmut K, *et al.* Roadside judgments in children with developmental co-ordination disorder. *Res Dev Disabil* 2011 ; 32 : 1283-92.

Puyjarinet F, Bégel V, Lopez R, *et al.* Children and adults with attention-deficit/hyperactivity disorder cannot move to the beat. *Sci Rep* 2017 ; 7 : 11550.

Querne L, Berquin P, Vernier-Hauvette MP, *et al.* Dysfunction of the attentional brain network in children with developmental coordination disorder: a fMRI study. *Brain Res* 2008 ; 1244 : 89-102.

Rahimi-Golkhandan S, Piek J, Steenbergen B, *et al.* Hot executive function in children with developmental coordination disorder: evidence for heightened sensitivity to immediate reward. *Cognitive Development* 2014 ; 32 : 23-37.

Rahimi-Golkhandan S, Steenbergen B, Piek J, *et al.* Reprint of Deficits of hot executive function in developmental coordination disorder: sensitivity to positive social cues. *Hum Mov Sci* 2015 ; 42 : 352-67.

Reynolds JE, Licari MK, Reid SL, *et al.* Reduced relative volume in motor and attention regions in developmental coordination disorder: a voxel-based morphometry study. *Int J Dev Neurosci* 2017 ; 58 : 59-64.

Reynolds JE, Thornton AL, Elliott C, *et al.* A systematic review of mirror neuron system function in developmental coordination disorder: imitation, motor imagery, and neuroimaging evidence. *Res Dev Disabil* 2015 ; 47 : 234-83.

Rigoli D, Piek JP, Kane R, *et al.* An examination of the relationship between motor coordination and executive functions in adolescents. *Dev Med Child Neurol* 2012 ; 54 : 1025-31.

Rigoli D, Piek JP, Kane R, *et al.* An 18-month follow-up investigation of motor coordination and working memory in primary school children. *Hum Mov Sci* 2013 ; 32 : 1116-26.

- Roche R, Viswanathan P, Clark JE, *et al.* Children with developmental coordination disorder (DCD) can adapt to perceptible and subliminal rhythm changes but are more variable. *Hum Mov Sci* 2016 ; 50 : 19-29.
- Roche R, Wilms-Floet AM, Clark JE, *et al.* Auditory and visual information do not affect self-paced bilateral finger tapping in children with DCD. *Hum Mov Sci* 2011 ; 30 : 658-71.
- Roebers CM, Kauer M. Motor and cognitive control in a normative sample of 7-year-olds. *Dev Sci* 2009 ; 12 : 175-81.
- Rosenblum S, Regev N. Timing abilities among children with developmental coordination disorders (DCD) in comparison to children with typical development. *Res Dev Disabil* 2013 ; 34 : 218-27.
- Sangster-Jokic CA, Whitebread D. Self-regulatory skill among children with and without developmental coordination disorder: an exploratory study. *Phys Occup Ther Pediatr* 2016 ; 36 : 1-21.
- Schmidt RA, Lee T, Winstein C, *et al.* *Motor control and learning*, 6th ed. London : Human Kinetics, 2018.
- Schoemaker MM, Van Der Wees M, Flapper B, *et al.* Perceptual skills of children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2001 ; 20 : 111-33.
- Schmidt RA, Lee T, Winstein C, Wulf G, Zelaznik H. *Motor control and learning*, 7th ed. London : Human kinetics, 2019.
- Sergeant JA, Piek JP, Oosterlaan J. ADHD and DCD: a relationship in need of research. *Hum Mov Sci* 2006 ; 25 : 76-89.
- Shallice T, Vanier M. *Test de la Tour de Londres*. Université de Montréal, décembre 1991.
- Sigmundsson H, Hansen PC, Talcott JB. Do clumsy children have visual deficits. *Behav Brain Res* 2003 ; 139 : 123-9.
- Sigmundsson H, Hopkins B. Do clumsy children have visual recognition problems? *Child Care Health Dev* 2005 ; 31 : 155-8.
- Sigmundsson H, Ingvaldsen RP, Whiting HTA. Inter-and intra-sensory modality matching in children with hand-eye co-ordination problems. *Exp Brain Res* 1997 ; 114 : 492-99.
- Sigmundsson H, Whiting HTA, Ingvaldsen RP. Putting your foot in it ! A window into clumsy behaviour. *Behav Brain Res* 1999 ; 102 : 129-36.
- Sims K, Henderson SE, Morton J, *et al.* The remediation of clumsiness. II: is kinaesthesia the answer? *Dev Med Child Neurol* 1996 ; 38 : 988-97.
- Sinani C, Sugden DA, Hill EL. Gesture production in school vs. clinical samples of children with developmental coordination disorder (DCD) and typically developing children. *Res Dev Disabil* 2011 ; 32 : 1270-82.
- Smyth MM, Mason UC. Planning and execution of action in children with and without developmental coordination disorder. *J Child Psychol Psychiatry* 1997 ; 38 : 1023-37.

Smyth MM, Mason UC. Use of proprioception in normal and clumsy children. *Dev Med Child Neurol* 1998 ; 40 : 672-81.

Stein BE, Meredith MA. *The merging of the senses*. Cambridge, MA : MIT Press, 1993.

Sumner E, Hutton SB, Kuhn G, *et al.* Oculomotor atypicalities in developmental coordination disorder. *Dev Sci* 2018 ; 21. doi: 10.1111/desc.12501.

Tal Saban MT, Ornoy A, Parush S. Executive function and attention in young adults with and without developmental coordination disorder: comparative study. *Res Dev Disabil* 2014 ; 35 : 2644-50.

Tallet J, Albaret JM, Barral J. Developmental changes in lateralized inhibition of symmetric movements in children with and without developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2013 ; 34 : 2523-32.

Tallet J, Albaret JM, Riviere J. The role of motor memory in action selection and procedural learning: insights from children with typical and atypical development. *Socioaffect Neurosci Psychol* 2015 ; 5 : 28004.

Thornton S, Bray S, Langevin LM, *et al.* Functional brain correlates of motor response inhibition in children with developmental coordination disorder and attention deficit/hyperactivity disorder. *Hum Mov Sci* 2018 ; 59 : 134-42.

Trainor LJ, Chang A, Cairney J, *et al.* Is auditory perceptual timing a core deficit of developmental coordination disorder? *Ann NY Acad Sci* 2018 ; 1423 : 30-9.

Toussaint-Thorin M, Marchal F, Benkhaled O, *et al.* Executive functions of children with developmental dyspraxia: assessment combining neuropsychological and ecological tests. *Ann Phys Rehabil Med* 2013 ; 56 : 268-87.

Tsai CL. The effectiveness of exercise intervention on inhibitory control in children with developmental coordination disorder: using a visuospatial attention paradigm as a model. *Res Dev Disabil* 2009 ; 30 : 1268-80.

Tsai CL, Wilson PH, Wu SK. Role of visual-perceptual skills (non-motor) in children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2008a ; 27 : 649-64.

Tsai CL, Wu SK. Relationship of visual perceptual deficit and motor impairment in children with developmental coordination disorder. *Percept Mot Skills* 2008b ; 107 : 457-72.

Tsai CL, Wang CH, Tseng YT. Effects of exercise intervention on event-related potential and task performance indices of attention networks in children with developmental coordination disorder. *Brain Cogn* 2012 ; 79 : 12-22.

Tsai CL, Pan CY, Chang YK, *et al.* Deficits of visuospatial attention with reflexive orienting induced by eye-gazed cues in children with developmental coordination disorder in the lower extremities: an event-related potential study. *Res Dev Disabil* 2010 ; 31 : 642-55.

Tsai CL, Pan CY, Cherng RJ, *et al.* Dual-task study of cognitive and postural interference: a preliminary investigation of the automatization deficit hypothesis of developmental co-ordination disorder. *Child Care Health Dev* 2009a ; 35 : 551-60.

- Tsai CL, Pan CY, Cherng RJ, *et al.* Mechanisms of deficit of visuospatial attention shift in children with developmental coordination disorder: a neurophysiological measure of the endogenous Posner paradigm. *Brain Cogn* 2009b ; 71 : 246-58.
- Ullman MT, Pullman MY. A compensatory role for declarative memory in neurodevelopmental disorders. *Neurosci Biobehav Rev* 2015 ; 51 : 205-22.
- Van Swieten LM, van Bergen E, Williams JHG, *et al.* A test of motor (not executive) planning in developmental coordination disorder and autism. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 2010 ; 36 : 493-9.
- Visser J. Developmental coordination disorder: a review of research on subtypes and comorbidities. *Hum Mov Sci* 2003 ; 22 : 479-93.
- Wade MG, Kazeck M. Developmental coordination disorder and its cause: the road less travelled. *Hum Mov Sci* 2018 ; 57 : 489-500.
- Wade MG, Tsai CL, Stoffregen T, *et al.* Perception of object length via manual wielding in children with and without developmental coordination disorder. *J Mot Behav* 2016 ; 48 : 13-9.
- Wang CH, Lo YH, Pan CY, *et al.* Frontal midline theta as a neurophysiological correlate for deficits of attentional orienting in children with developmental coordination disorder. *Psychophysiology* 2015 ; 52 : 801-12.
- Werner JM, Cermak SA, Aziz-Zadeh L. Neural correlates of developmental coordination disorder: the mirror neuron system hypothesis. *J Behav Brain Sci* 2012 ; 2 : 258.
- Whitall J, Chang TY, Horn CL, *et al.* Auditory–motor coupling of bilateral finger tapping in children with and without DCD compared to adults. *Hum Mov Sci* 2008 ; 27 : 914-31.
- Whitall J, Getchell N, McMenamin S, *et al.* Perception–action coupling in children with and without DCD: frequency locking between task-relevant auditory signals and motor responses in a dual-motor task. *Child Care Health Dev* 2006 ; 32 : 679-92.
- Williams HG, Woollacott MH, Ivry R. Timing and motor control in clumsy children. *J Mot Behav* 1992 ; 24 : 165-72.
- Williams J, Anderson V, Reddihough DS, *et al.* A comparison of motor imagery performance in children with spastic hemiplegia and developmental coordination disorder. *J Clin Exp Neuropsychol* 2011 ; 33 : 273-82.
- Williams J, Omizzolo C, Galea MP, *et al.* Motor imagery skills of children with attention deficit hyperactivity disorder and developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2013 ; 32 : 121-35.
- Williams J, Thomas PR, Maruff P, *et al.* Motor, visual and egocentric transformations in children with developmental coordination disorder. *Child Care Health Dev* 2006 ; 32 : 633-47.
- Williams J, Thomas PR, Maruff P, *et al.* The link between motor impairment level and motor imagery ability in children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2008 ; 27 : 270-85.

Wilmot K, Wann J. The use of predictive information is impaired in the actions of children and young adults with developmental coordination disorder. *Exp Brain Res* 2008 ; 191 : 403-18.

Wilmot K, Byrne M. Grip selection for sequential movements in children and adults with and without developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2014 ; 36 : 272-84.

Wilmot K, Brown JH, Wann JP. Attention disengagement in children with developmental coordination disorder. *Disabil Rehabil* 2007 ; 29 : 47-55.

Wilmot K, Byrne M, Barnett AL. Reaching to throw compared to reaching to place: a comparison across individuals with and without developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2013 ; 34 : 174-82.

Wilson PH, McKenzie BE. Information processing deficits associated with developmental coordination disorder: a meta-analysis of research findings. *J Child Psychol Psychiatry* 1998 ; 39 : 829-40.

Wilson PH, Adams IL, Caeyenberghs K, *et al.* Motor imagery training enhances motor skill in children with DCD: a replication study. *Res Dev Disabil* 2016 ; 57 : 54-62.

Wilson PH, Maruff P, Butson M, *et al.* Internal representation of movement in children with developmental coordination disorder: a mental rotation task. *Dev Med Child Neurol* 2004 ; 46 : 754-9.

Wilson PH, Maruff P, Ives S, *et al.* Abnormalities of motor and praxis imagery in children with DCD. *Hum Mov Sci* 2001 ; 20 : 135-59.

Wilson PH, Maruff P, Lum J. Procedural learning in children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2003 ; 22 : 515-26.

Wilson PH, Ruddock S, Smits-Engelsman B, *et al.* Understanding performance deficits in developmental coordination disorder: a meta-analysis of recent research. *Dev Med Child Neurol* 2013 ; 55 : 217-28.

Wilson PH, Smits-Engelsman B, Caeyenberghs K, *et al.* Cognitive and neuroimaging findings in developmental coordination disorder: new insights from a systematic review of recent research. *Dev Med Child Neurol* 2017a ; 59 : 1117-29.

Wilson PH, Smits-Engelsman B, Caeyenberghs K, *et al.* Toward a hybrid model of developmental coordination disorder. *Curr Dev Disord Rep* 2017b ; doi:10.1007/s40474-017-0115-0.

Wilson PH, Thomas PR, Maruff P. Motor imagery training ameliorates motor clumsiness in children. *J Child Neurol* 2002 ; 17 : 491-8.

Wuang YP, Su CY, Su JH. Wisconsin card sorting test performance in children with developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2011 ; 32 : 1669-76.

Wulf G. Attentional focus and motor learning: a review of 15 years. *Int Rev Sport Exerc Psychol* 2013 ; 6 : 77-104.

Zwicker JG, Harris SR, Klassen AF. Quality of life domains affected in children with developmental coordination disorder: a systematic review. *Child Care Health Dev* 2013 ; 39 : 562-80.

Zwicker JG, Missiuna C, Boyd LA. Neural correlates of developmental coordination disorder: a review of hypotheses. *J Child Neurol* 2009 ; 24 : 1273-81.

Zwicker JG, Missiuna C, Harris SR, *et al.* Brain activation associated with motor skill practice in children with developmental coordination disorder: an fMRI study. *Int J Dev Neurosci* 2011 ; 29 : 145-52.