
7

Impacts sur l'écriture manuscrite

Les compétences motrices fines font référence aux mouvements fins et précis qui sollicitent les petits muscles impliqués dans le fonctionnement des extrémités, notamment ceux de la main et des doigts (Gallahue et Ozmun, 2006). Ces compétences sont essentielles dans les activités quotidiennes telles que se nourrir et s'habiller, ou encore dans les activités scolaires telles que découper, dessiner, et écrire (McHale et Cermak, 1992 ; Marr et coll., 2003 ; Van der Linde et coll., 2013). Elles se développent progressivement chez l'enfant, et jouent un rôle important dans son développement. L'âge d'acquisition des différentes étapes de la motricité fine varie d'un enfant à l'autre, en fonction principalement de sa maturation cérébrale et de ses capacités perceptives et cognitives, mais également en fonction de son environnement, en particulier les stimulations qu'il reçoit. Les enfants porteurs d'un TDC présentent des déficits de la motricité globale et/ou de la motricité fine (Blank et coll., 2012 ; Albaret et Chaix, 2015). Ils ont des difficultés à réaliser des gestes coordonnés dans un but précis, en général dans le cadre d'un apprentissage spécifique et contextualisé : utiliser des couverts, manier un outil, découper, dessiner, écrire, jouer d'un instrument, attraper une balle, etc. Dans ce chapitre, nous allons voir en détail une des fonctions motrices fines qui pose particulièrement problème aux enfants présentant un TDC, l'écriture manuscrite. Nous ferons ici un point sur les connaissances actuelles concernant les troubles de l'écriture chez l'enfant présentant un TDC et les mécanismes mis en jeu.

L'écriture, un acquis essentiel dans nos sociétés lettrées

Même aujourd'hui, à l'heure du numérique et du digital, l'écriture manuscrite reste un acquis essentiel au fonctionnement de notre société (Bara et Gentaz, 2007). Elle est à la base de nombreuses productions aussi bien scolaires que professionnelles. Cependant, son acquisition est loin d'être triviale. En effet, apprendre à écrire est une activité complexe qui nécessite la maîtrise et la coordination d'habiletés diverses, cognitives, perceptives, attentionnelles et

linguistiques. L'apprentissage de l'écriture manuscrite reste aujourd'hui systématique dans nos sociétés lettrées. De ce fait, elle occupe immédiatement une place centrale dans les apprentissages scolaires. Elle représente effectivement la principale tâche académique des enfants, s'inscrivant quotidiennement dans 30 à 60 % de leurs activités à l'école (Paz-Villagrán et coll., 2012). L'écriture doit être facilement déchiffrable par le lecteur, tant en terme de trace écrite que de contenu symbolique. Dans un certain nombre de pays dont la France, la lisibilité est un facteur important d'évaluation des productions écrites par les enseignants, mais aussi un facteur de jugement par les pairs. En effet, plusieurs études ont montré qu'à contenu égal, une copie moins lisible est moins bien notée (Markham, 1976 ; Briggs, 1980 ; Hugues et coll., 1983).

Les mécanismes sous-jacents à l'acte d'écriture ont été relativement bien étudiés chez le sujet tout-venant, en particulier les aspects développementaux, et ce dans différentes langues. Il est cependant important de noter que les résultats obtenus sont parfois difficilement comparables entre pays, du fait de nombreuses différences entre les systèmes d'écriture utilisés, qui présentent des caractéristiques spatio-temporelles distinctes et/ou mettent en jeu des chaînes musculaires différentes (systèmes alphabétiques ou symboliques différents, sens de production de l'écriture différents, écriture cursive ou script, etc.).

Les troubles de l'écriture ou dysgraphies : définition et diagnostic

Dans la littérature scientifique, les difficultés d'écriture manuelle sont retrouvées sous plusieurs dénominations : troubles graphomoteurs, dysgraphie de développement, faible écriture manuelle (*poor handwriting*), ou encore écriture manuelle non fonctionnelle (Volman et coll., 2006 ; Ratzon et coll., 2007). Le terme de « difficultés graphomotrices » renvoie non seulement à une écriture manuelle faible, mais englobe plus généralement des difficultés dans la tenue du crayon, le dessin, le coloriage, le tracé, ou la copie (Albaret, 2004). Pour plus de clarté, nous emploierons tout au long de ce chapitre le terme de « dysgraphies » pour désigner les troubles qui affectent l'écriture. La définition de la dysgraphie qui prévaut encore aujourd'hui est celle proposée par Ajuriaguerra en 1974 : « Est dysgraphique tout enfant dont la qualité d'écriture est déficiente alors qu'aucun déficit neurologique important ou intellectuel n'explique cette déficience ».

Les dysgraphies sont généralement observées dans différents contextes pathologiques tels que la prématurité (Feder et coll., 2005), la dystonie (Deonna et coll., 1997), les troubles du spectre autistique (Fuentes et coll., 2009), mais surtout les troubles du développement comme le TDC (Schoemaker, 1993 ; Geuze, 2005 ; pour revue Albaret et coll., 2013), le TDA/H (Adi-Japha et coll., 2007 ; Racine et coll., 2008), ou encore la dyslexie (Capellini et coll., 2010 ; Mogasale et coll., 2012). La nature de ces associations fait encore débat aujourd'hui, et renvoie à la question des comorbidités (Habib, 2014). Il semble également que la dysgraphie puisse s'observer seule, en absence d'autres troubles associés. Ainsi, Albaret et coll. (2013) ont proposé l'emploi du terme « trouble d'apprentissage de la graphomotricité » (TAG) pour désigner ce déficit affectant uniquement les compétences graphomotrices et l'écriture.

Étant donné l'importance de l'écriture manuscrite aussi bien dans la réussite scolaire que professionnelle, le diagnostic et la prise en charge des dysgraphies sont donc essentiels. L'apparition de troubles de l'écriture non diagnostiqués et/ou non rééduqués peut en effet avoir de graves conséquences pour l'enfant puisqu'ils vont rapidement impacter les autres apprentissages, notamment l'orthographe, la grammaire, ou encore les aspects de composition (Christensen, 2009 ; Graham et coll., 1997 et 2000). Les conséquences à terme peuvent être une baisse d'intérêt pour les tâches scolaires, de l'anxiété, des comportements d'évitement, une dévalorisation, une perte de confiance en soi, et même l'échec scolaire (Sassoon, 1986 ; Zésiger, 1995 ; Sigurdsson et coll., 2002). Dès la maternelle, des observations peuvent être effectuées, mais c'est seulement après deux ans de pratique de l'écriture cursive, soit aux environs de 7 ans, qu'un diagnostic est envisageable. On sait que la rééducation sera d'autant plus efficace que le diagnostic est précoce. Du fait de l'absence de déficit neurologique, perceptif ou moteur avéré, le diagnostic de dysgraphie est donc plus compliqué qu'il n'y paraît au premier abord, et il ne peut être posé que par une équipe pluridisciplinaire (neuropédiatre, psychologue ou neuropsychologue, ophtalmologiste, psychomotricien, et ergothérapeute). L'échelle de diagnostic de la dysgraphie la plus utilisée à l'heure actuelle par les praticiens en milieu libéral et hospitalier pour l'évaluation de l'écriture est le test du BHK (Hamstra-Bletz et coll., 1987 ; version française par Charles et coll., 2003). Cette échelle d'évaluation repose sur une analyse du produit fini d'écriture, après copie d'un texte pendant cinq minutes. Un tracé est considéré de « mauvaise qualité » sur la base de critères qualitatifs (lisibilité, régularité des tracés, organisation spatiale, etc.) et quantitatifs (nombre de lettres copiées en 5 minutes)⁵⁵.

55. Plus de précisions sur le BHK ainsi que sur d'autres tests utilisés pour évaluer l'écriture et retrouvés dans la littérature sont présentés dans le chapitre « Outils d'évaluation ».

Les dysgraphies chez le sujet présentant un TDC

Le développement de la motricité fine et plus particulièrement la capacité à réaliser des mouvements différenciés des doigts contribuent au développement de la prise de l'outil scripteur (Kaiser et coll., 2013). De ce fait, il n'est pas étonnant qu'une des activités motrices fines qui pose le plus problème aux enfants présentant un TDC soit l'écriture. Les difficultés en écriture sont en effet, après les problèmes de motricité fine, la deuxième raison de consultation de ces enfants, suite à la plainte de l'enseignant, des parents ou de l'enfant lui-même (Miller et coll., 2001). L'association entre dysgraphie et TDC a été observée depuis longtemps par différents auteurs (Illingworth, 1963 ; Ajuriaguerra et coll., 1964 ; Sovik et Maeland, 1986 ; Nash-Wortham, 1987 ; Cratty, 1994). Environ la moitié des enfants diagnostiqués avec un TDC sont dysgraphiques sur la base du test du BHK selon Huau et coll. (2015), 87 % selon O'Hare et Khalid (2002). Vaivre-Douret et coll. (2011) trouvent 88 % d'enfants avec des troubles de l'écriture sans toutefois qu'un diagnostic de dysgraphie soit posé.

Caractéristiques des troubles d'écriture chez l'enfant présentant un TDC

Les difficultés d'écriture des enfants présentant un TDC concernent non seulement le produit final (problème de lisibilité, nombre d'erreurs plus important que chez les enfants typiques) mais également le processus d'écriture (Smits-Engelsman et coll., 2001 ; Huau et coll., 2015). Leur écriture est lente, et peu voire pas lisible (Albaret et coll., 2013 ; Prunty et coll., 2013 et 2014). Ils présentent une écriture moins fluide et régulière que les enfants typiques, avec en particulier des difficultés à contrôler et adapter la vitesse de leur stylo à la tâche. Les lettres qu'ils produisent sont très irrégulières, déformées, et l'agencement des lettres et des mots dans l'espace de la feuille est souvent désordonné. Ils ont en outre du mal à suivre les lignes et à respecter les hauteurs relatives des lettres et des portions de lettres (jambages et hampes de taille incorrecte). Ces résultats sont cohérents avec ceux plus généraux de Blank et coll. (2012) et Albaret et Chaix (2015) qui ont montré que les activités motrices finalisées des personnes présentant un TDC se caractérisent notamment par une lenteur et un manque de précision. La lenteur d'inscription (nombre de caractères produits par minute) observée chez les enfants présentant un TDC est en partie expliquée par le fait qu'ils font plus de pauses en l'air et/ou sur le papier pendant qu'ils écrivent (Smits-Engelsman et coll., 2001 ; Prunty et coll., 2013). Plus précisément, ces enfants font plus de pauses longues entre les lettres des mots (Prunty et coll.,

2014). Ces résultats sont néanmoins à interpréter avec précaution car une partie des enfants de ces études présentaient également un trouble déficitaire de l'attention (TDA/H), qui pouvait également impacter les productions écrites de ces enfants.

L'analyse de la cinématique d'écriture chez les enfants présentant un TDC a également mis en évidence d'importantes et nombreuses variations de vitesse par trait, un nombre de pics d'accélération et de mouvements de correction plus élevé, une vitesse moyenne par trait plus élevée, une vitesse en fin de traits plus élevée, et un défaut d'inhibition des co-mouvements (Smits-Engelsman et coll., 2001 et 2003 ; Chang et Yu, 2009 et 2010 ; Jolly et Gentaz, 2014 ; Jolly et coll., 2010 et 2014 ; Rosenblum, 2015). L'écriture des enfants présentant un TDC se caractérise également par une taille excessive : ils écrivent plus gros mais avec une vitesse instantanée plus élevée (Jolly et Gentaz, 2014 ; Jolly et coll., 2010 et 2014 ; Huau et coll., 2015). Ceci pourrait constituer une stratégie développée par ces enfants pour compenser leur déficit et leur permettre d'atteindre un certain niveau de compétences en écriture (Smits-Engelsman et coll., 2001 ; Jolly et coll., 2014). On note également des variations de l'angle du stylo avec la tablette pendant l'écriture chez les enfants présentant un TDC, rendant compte de difficultés du contrôle moteur fin au niveau des doigts (Rosenblum, 2015). Ce défaut de contrôle moteur n'est cependant pas dû à une force moindre, car ces enfants sont capables de produire la même force maximale au niveau des doigts que les enfants du groupe contrôle (Oliveira et coll., 2006). Enfin, il est important de noter que les différences entre enfants présentant un TDC et ceux typiques augmentent avec la complexité de la tâche : l'écriture des enfants présentant un TDC est beaucoup plus altérée lorsque des contraintes de taille ou de vitesse sont imposées (Smits-Engelsman et coll., 2001 ; Huau et coll., 2015). Ces résultats font écho à ceux de Geuze et Kalverboer (1987), Lundy-Ekman et coll. (1991) et Williams et coll. (1992) qui ont montré que les enfants présentant un TDC se caractérisent, entre autres, par une plus grande variabilité temporelle dans l'exécution des tâches demandant un timing précis qu'alors qu'un des traits les plus saillants de la coordination des mouvements chez le sujet sain est la consistance temporelle observée lors de répétitions d'un même geste.

Selon plusieurs auteurs, les difficultés d'adaptation motrice au niveau de l'écriture pourraient être liées au défaut d'automatisation chez les enfants présentant un TDC (Van Galen 1991 ; Rosenblum et Livneh-Zirinski, 2008 ; Prunty et coll., 2013 ; Jolly et Gentaz, 2014). Par ailleurs, le fait que l'écriture peut se révéler plus difficile en condition de dictée ou d'écriture libre qu'en condition de copie, suggère alors un problème pour mobiliser la

représentation interne du mouvement associé au tracé de chaque lettre (Jolly et coll., 2010).

On constate, en outre, une grande hétérogénéité concernant les déficits en écriture observés chez les enfants présentant un TDC, avec d'importantes variations interindividuelles et intra-individuelles en fonction de la complexité de la tâche ou des contraintes imposées (Rosenblum et coll., 2003 et 2006 ; Di Brina et coll., 2008 ; Rosenblum et Livneh-Zirinski, 2008 ; Huau et coll., 2015). Selon Huau et coll. (2015), cette hétérogénéité pourrait traduire un défaut de stabilisation des patrons moteurs. Elle est également à mettre en relation avec la complexité des comorbidités. Quelle qu'en soit l'origine, elle suggère néanmoins l'existence possible de sous-types de dysgraphies, qui pourraient être liés aux troubles associés, et souligne l'importance d'un diagnostic différencié et individualisé (Bo et coll., 2008 ; Huau et coll., 2015). De la même manière, Alexis et coll. (2006) soulignent l'importance d'un diagnostic bien différencié chez les enfants présentant un TDC, en particulier au niveau des processus visuo-attentionnels, afin de permettre une prise en charge mieux orientée tenant compte des processus spécifiquement atteints. En effet, les lenteurs d'apprentissage observées chez ces enfants pourraient ainsi être dues, au moins en partie, à un déficit visuel et/ou un défaut d'intégration des systèmes visuels et moteurs (Weil et Cunningham-Amundson, 1994 ; Beery et coll., 2004 ; Kaiser et coll., 2009 ; Rosenblum 2015 ; Scordella et coll., 2015). Enfin, Rosenblum (2013 et 2015) propose quant à elle que des troubles des fonctions exécutives, en particulier les fonctions de planification et d'organisation dans le temps et l'espace, pourraient être un mécanisme sous-jacent aux troubles de la coordination motrice, d'où l'importance de prendre également en compte ces fonctions pour l'évaluation et la prise en charge des personnes présentant un TDC.

Mécanismes sous-jacents aux troubles d'écriture

Les difficultés d'écriture observées chez les enfants présentant un TDC peuvent être liées à un défaut d'apprentissage moteur qui a été relevé aussi bien lors de nouvelles tâches que lors de l'adaptation d'un geste moteur à des contraintes imposées (Chang et Yu, 2009 ; Huau et coll., 2015). Ainsi, on note par exemple que l'apprentissage moteur du tracé d'une nouvelle lettre est plus long chez les enfants présentant un TDC et nécessite plus de répétitions que chez les enfants typiques, montrant donc des difficultés pour automatiser les compétences motrices (Chang et Yu, 2009 ; Huau et coll., 2015). D'autre part, les enfants porteurs d'un TDC présentent des difficultés dans l'ajustement fin de leurs forces dans des activités manuelles

(Smits-Engelsman et coll., 2008 ; Prunty et coll., 2013), et des difficultés dans l'apprentissage de séquences de mouvements (Gheysen et coll., 2011).

Les troubles d'écriture chez l'enfant présentant un TDC peuvent également être liés à un problème d'anticipation et/ou d'automatisation des composantes grapho-motrices bas niveau du processus d'écriture, c'est-à-dire les séquences de mouvements moteurs nécessaires à la réalisation de la tâche (Van Galen 1991 ; Rosenblum et Livneh-Zirinski, 2008 ; Prunty et coll., 2013 ; Jolly et Gentaz, 2014). Cette hypothèse repose notamment sur le fait que les enfants présentant un TDC sont moins performants que les enfants tout-venants même pour l'écriture de leur nom (Prunty et coll., 2013). En outre, il a été montré que les enfants présentant un TDC font plus de pauses entre les lettres à l'intérieur des mots que les enfants tout-venants (Prunty et coll., 2014). Ce type de pauses reflétant les composantes grapho-motrices bas niveau de l'écriture (Rosenblum et Livneh-Zirinski, 2008), l'augmentation des pauses intra-mots traduirait donc chez ces enfants un défaut d'automatisation des mouvements d'écriture (Prunty et coll., 2014).

Les troubles observés peuvent également être directement liés au déficit de la motricité fine, plus spécifiquement à la capacité à contrôler les mouvements et la coordination inter-segmentaire des doigts (Weintraub et Graham, 2000 ; Smits-Engelsman et coll., 2001 ; Feder et coll., 2005), et/ou à l'intégration visuomotrice, c'est-à-dire la coordination entre la perception visuelle et la coordination des doigts de la main (Weil et Cunningham-Amundson, 1994 ; Beery et coll., 2004 ; Kaiser et coll., 2009 ; Rosenblum 2015 ; Scordella et coll., 2015) ou à une immaturité du niveau de coordination inter-segmentaire (Lopez et coll., 2016). En effet, les enfants présentant un TDC semblent utiliser davantage les *feedbacks* visuels pendant l'exécution d'un mouvement d'écriture que les enfants typiques, c'est-à-dire qu'ils ajustent leurs mouvements en temps réel en se basant sur le retour visuel de leur tracé (Smits-Engelsman et coll., 2003). Ce mode de contrôle du mouvement dit « rétroactif », qui caractérise l'écriture chez les jeunes apprenti-scripteurs, se perd peu à peu au cours de l'apprentissage, au profit d'un mode de contrôle dit « proactif » basé sur l'automatisation et la programmation motrice des mouvements (Meulenbroek et Van Galen, 1988 ; Zesiger, 1995 ; Palluel-Germain et coll., 2007). Les enfants présentant un TDC auraient donc du mal à passer à ce mode de contrôle proactif, et donc à automatiser les gestes (Smits-Engelsman et coll., 2003). Selon Chang et Yu (2009), ceci ne semble pas spécifique à l'écriture, car ils ont montré que l'apprentissage de processus complexes, quels qu'ils soient, nécessite en outre davantage de *feedbacks* visuels chez l'enfant présentant un TDC.

Par ailleurs, la stabilité posturale du haut du corps semble également être importante pour le contrôle moteur fin du geste graphique (Miyahara et coll., 2008). En outre, certaines caractéristiques de l'écriture de ces enfants, comme par exemple l'augmentation du nombre de pauses pendant l'écriture, pourraient être dues à une fatigue plus importante lors de l'activité d'écriture, en raison d'une endurance moindre et/ou d'un manque de tonicité de la main, comme suggéré par Chang et Yu (2010), ou encore à une difficulté à maintenir une force constante adaptée à la tâche, comme cela a été montré dans des tâches de manipulation (Oliveira et coll., 2006 ; Smits-Engelsman et coll., 2008).

Enfin, il a également été proposé que les difficultés graphomotrices des enfants présentant un TDC pourraient être liées à un bruit neuro-moteur plus important, c'est-à-dire des perturbations aléatoires et imprévisibles du système neuro-moteur, d'origine interne ou externe (Van Galen et coll., 1993 ; Smits-Engelsman et coll., 2001 ; Smits-Engelsman et Wilson, 2013 ; Huau et coll., 2015). Ce bruit neuro-moteur plus élevé chez les enfants présentant un TDC pourrait être dû à un problème dans l'étape d'initiation musculaire du mouvement (Smits-Engelsman et Van Galen, 1997), entraînant une rigidité musculaire pour compenser et donc des difficultés dans les tâches de précision telles que l'écriture.

Si les troubles de l'écriture des enfants présentant un TDC ont été étudiés par plusieurs laboratoires à travers le monde, il reste pourtant difficile à l'heure actuelle de caractériser précisément les déficits observés et les mécanismes sous-jacents, et ce pour plusieurs raisons : (i) la difficulté à transférer les résultats obtenus dans différents systèmes d'écriture (par exemple hébreu et français), (ii) l'hétérogénéité des populations d'enfants porteurs d'un TDC étudiées, qui présentent souvent des troubles associés pouvant également affecter l'écriture des enfants, et (iii) l'inclusion dans certaines études d'enfants dont le diagnostic de TDC n'est pas fiable. Les seuls résultats qui semblent vraiment faire consensus sont que les enfants présentant un TDC écrivent plus gros et plus lentement que les enfants tout-venants, et qu'ils présentent une grande variabilité intra- et inter-individuelle en termes de performances d'écriture.

RÉFÉRENCES

- Adi-Japha E, Landau YE, Frenkel L, *et al.* ADHD and dysgraphia: underlying mechanisms. *Cortex* 2007 ; 43 : 700-7.
- Albaret JM. Les troubles de l'acquisition de la coordination. In : Billard C *et al.* (eds). *L'état des connaissances. Livret 5 : fonctions non-verbales*. Paris : Signes éditions, 2004 : 45-8.
- Albaret JM, Chaix Y. Troubles d'acquisition de la coordination (TAC). C'est quoi ? Et comment ça se soigne ? *Pédiatrie Pratique* 2015 ; 265 : 1-6.
- Albaret JM, Kiaser ML, Soppelsa R (eds). Des modèles à l'intervention. In : *Troubles de l'écriture chez l'enfant*. Paris : De Boeck Solal, 2013 : 155-73.
- Ajuriaguerra J de. *Manuel de psychiatrie de l'enfant* (2^e ed). Paris : Masson, 1974.
- Ajuriaguerra J de, Auzias M, Coumes I, *et al.* *L'écriture de l'enfant : vol. 1. L'évolution de l'écriture et ses difficultés*. Paris : Delachaux et Niestlé, 1964.
- Alexis C, Ducrot S, Lete B. La perception du mot écrit chez l'enfant dyspraxique. *ANAE* 2006 ; 18 : 207-13.
- Bara F, Gentaz E. Apprendre à écrire. *Médecine & Enfance* 2007 ; 206-10.
- Beery KE, Buktenica NA, Beery NA. *The Beery-Buktenica developmental test of visual-motor integration (VMI)* (5th ed). Lutz, FL : Psychological Assessment Resources, 2004.
- Blank R, Smits-Eneglsman B, Polatajko H, *et al.* European academy for childhood disability (EACD): recommendations on the definition, diagnosis and intervention of developmental coordination disorder (long version). *Dev Med Child Neurol* 2012 ; 54 : 54-93.
- Bo J, Bastian AJ, Kagerer FA, *et al.* Temporal variability in continuous versus discontinuous drawing for children with developmental coordination disorder. *Neurosci Lett* 2008 ; 431 : 215-20.
- Briggs D. A study of the influence of handwriting upon grades using examination scripts. *Educ Rev* 1980 ; 32 : 186-93.
- Capellini SA, Coppede AC, Valle TR. Fine motor function of school-aged children with dyslexia, learning disability and learning difficulties. *Pro Fono* 2010 ; 22 : 201-8.
- Chang SH, Yu NY. Computerized handwriting analysis in children with/without motor incoordination. *IFMBE Proceedings* 2009 ; 23 : 402-5.
- Chang SH, Yu NY. Characterization of motor control in handwriting difficulties in children with or without developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 2010 ; 52 : 244-50.
- Charles M, Soppelsa R, Albaret JM. *BHK – échelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant*. Paris : Éditions et Applications Psychologiques, 2003.
- Christensen CA. *The critical role handwriting plays in the ability to produce high-quality written text. The SAGE handbook of writing development*. Londres : SAGE Publication, 2009.

Cratty BJ. *Clumsy child syndromes: Description, evaluation and remediation*. Coire : Harwood Academic Publishers, 1994.

Deonna T, Roulet E, Ghika J, *et al.* Dopa-responsive childhood dystonia: A forme fruste with writer's cramp, triggered by exercise. *Dev Med Child Neurol* 1997 ; 39 : 49-53.

Di Brina C, Niels R, Overvelde A, *et al.* Dynamic time warping: a new method in the study of poor handwriting. *Hum Mov Sci* 2008 ; 27 : 242-55.

Feder K, Majnemer A, Bourbonnais D, *et al.* Handwriting performance in preterm children compared with term peers at age 6 to 7 years. *Dev Med Child Neurol* 2005 ; 47 : 163-70.

Fuentes CTBS, Mostofsky SHMD, Bastian AJP. Children with autism show specific handwriting impairments. *Neurology* 2009 ; 73 : 1532-37.

Gallahue D, Ozmun J. *Understanding motor development: infants, children, adolescents, adults* (6th ed). New York : McGraw-Hill, 2006.

Geuze RH. Motor impairment in DCD and activities of daily living. In : Sugden DA, Chambers ME (eds). *Children with developmental coordination disorder*. Londres : Whurr Publishers, 2005 : 19-46.

Geuze RH, Kalverboer AF. Inconsistency and adaptation in timing of clumsy children. *J Mot Behav* 1987 ; 20 : 341-67.

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

Graham S, Berninger VW, Abbott RD, *et al.* Role of mechanics in composing of elementary school students: a new methodological approach. *J Educ Psychol* 1997 ; 89 : 170-82.

Graham S, Harris KR, Fink B. Is handwriting causally related to learning to write? Treatment of handwriting problems in beginning writers. *J Educ Psychol* 2000 ; 92 : 620-33.

Habib M. *La constellation des dys : bases neurologiques de l'apprentissage et de ses troubles*. Paris : De Boeck-Solal, 2014.

Hamstra-Bletz E, De Bie J, Den Brinker BPLM. *Beknopte beoordelingsmethode voor kinderhandschriften [The concise assessment method for children's handwriting]*. Lisse : Swets & Zeitlinger, 1987.

Huau A, Velay JL, Jover M. Graphomotor skills in children with developmental coordination disorder (DCD): handwriting and learning a new letter. *Hum Mov Sci* 2015 ; 42 : 318-32.

Hugues DC, Keelings B, Tuck BF. Effects of achievement expectations and handwriting quality on scoring essays. *J Educ Measur* 1983 ; 20 : 65-70.

Illingworth RS. The clumsy child. In : Bax M, Mckeith R (eds). *Minimal cerebral dysfunction in children*. Londres : Spastics Society/Heinemann, 1963 : 26-27.

Jolly C, Huron C, Albaret JM, *et al.* Analyse comparative des tracés de lettres cursives d'une enfant atteinte d'un trouble d'acquisition de la coordination et

scolarisée en CP avec ceux d'enfants ordinaires de GSM et de CP. *Psychologie Française* 2010 ; 55 : 145-70.

Jolly C, Gentaz E. Analysis of cursive letters, syllables, and words handwriting in a French second-grade child with developmental coordination disorder and comparison with typically developing children. *Front Psychol* 2014 ; 4 : 1022.

Jolly C, Huron C, Gentaz E. A one-year survey of cursive letter handwriting in a French second-grade child with developmental coordination disorder. *L'Année Psychologique* 2014 ; 114 : 421-45.

Kaiser ML, Albaret JM, Doudin PA. Relationship between visual-motor integration, eye-hand coordination, and quality of handwriting. *J Occup Ther Schools Early Interv* 2009 ; 2 : 87-95.

Kaiser ML, Soppelsa R, Albaret JM (eds). Aspects développementaux. In : *Troubles de l'écriture chez l'enfant*. Paris : De Boeck Solal, 2013 : 31-59.

Lopez C, Hemimou C, Dutruel A, et al. The developmental organization of the child handwriting gesture: preliminary results. *Clin Neurophysiol* 2016 ; 46 : 268.

Lundy-Ekman L, Ivry R, Keele S, et al. Timing and force control deficits in cursive children. *J Cogn Neurosci* 1991 ; 3 : 370-77.

Markham LR. Influences of handwriting quality in teacher evaluation of written work. *Am Educ Res J* 1976 ; 13 : 277-83.

Marr D, Cermak S, Cohn ES, et al. Fine motor activities in head start and kindergarten classrooms. *Am J Occup Ther* 2003 ; 57 : 550-7.

Mchale K, Cermak SA. Fine motor activities in elementary school: preliminary findings and provisional implications for children with fine motor problems. *Am J Occup Ther* 1992 ; 46 : 898-903.

Meulenbroek RGJ, Van Galen GP. The acquisition of skilled handwriting: discontinuous trends in kinematic variables. In : Colley AM, Beech JR (eds). *Cognition and action in skilled behaviour*. Amsterdam : Elsevier, 1988 : 273-81.

Miller LT, Missiuna CA, Macnab JJ, et al. Clinical description of children with developmental coordination disorder. *Can J Occup Ther* 2001 ; 68 : 5-15.

Miyahara M, Piek JP, Barrett NC. Effect of postural instability on drawing errors in children: a synchronized kinematic analysis of hand drawing and body motion. *Hum Mov Sci* 2008 ; 27 : 705-13.

Mogasale VV, Patil VD, Patil NM, et al. Prevalence of specific learning disabilities among primary school children in a south indian city. *Ind J Pediatr* 2012 ; 79 : 342-47.

Nash-Wortham M. The clumsy, poorly co-ordinated child with associated speech, reading and writing difficulties. *Support for Learning* 1987 ; 2 : 36-9.

O'hare A, Khalid S. The association of abnormal cerebellar function in children with developmental coordination disorder and reading difficulties. *Dyslexia* 2002 ; 8 : 234-48.

Oliveira MA de, Shim JK, Fagundes Loss J, et al. Effect of kinetic redundancy on hand digit control in children with DCD. *Neurosci Lett* 2006 ; 410 : 42-6.

- Palluel-Germain R, Bara F, Hillairet De Boisferon A, *et al.* A visuo-haptic device – Telemaque – increases the kindergarten children’s handwriting acquisition. *IEEE WorldHaptics* 2007 ; 27-37.
- Paz-Villagran V, Gilhodes JC, Velay JL. Les enfants dysgraphiques sont-ils réellement plus lents que les autres ? *Développements* 2012 ; 4 : 38-44.
- Prunty MM, Barnett AL, Wilmut K, *et al.* Handwriting speed in children with developmental coordination disorder: are they really slower? *Res Dev Disab* 2013 ; 34 : 2927-36.
- Prunty MM, Barnett AL, Wilmut K, *et al.* An examination of writing pauses in the handwriting of children with developmental coordination disorder. *Res Dev Disab* 2014 ; 35 : 2894-905.
- Racine M, Majnemer A, Shevell M, *et al.* Handwriting performance in children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD). *J Child Neurol* 2008 ; 23 : 399-406.
- Ratzon NZ, Efraim D, Bart O. A short-term graphomotor program for improving writing readiness skills of first-grade students. *Am J Occup Ther* 2007 ; 61 : 399-405.
- Rosenblum S. Handwriting measures as reflectors of executive functions among adults with developmental coordination disorders (DCD). *Front Psychol* 2013 ; 4 : 357.
- Rosenblum S. Do motor ability and handwriting kinematic measures predict organizational ability among children with developmental coordination disorders? *Hum Mov Sci* 2015 ; 43 : 201-15.
- Rosenblum S, Livneh-Zirinski M. Handwriting process and product characteristics of children diagnosed with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2008 ; 27 : 200-14.
- Rosenblum S, Weiss PL, Parush S. Product and process evaluation of handwriting difficulties. *Educ Psychol Rev* 2003 ; 15 : 41-81.
- Rosenblum S, Dvorkin AY, Weiss PL. Automatic segmentation as a tool for examining the handwriting process of children with dysgraphic and proficient handwriting. *Hum Mov Sci* 2006 ; 25 : 608-21.
- Rosenblum S, Livneh-Zirinski M. Handwriting process and product characteristics of children diagnosed with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2008 ; 27 : 200-14.
- Sassoon R, Nimmo-Smith I, Wing AM. An analysis of children’s penholds. In : Kao HSR, Van Galen GP, Hoosain R (eds). *Graphonomics: contemporary research in handwriting*. Amsterdam : Elsevier, 1986 ; 2 : 93-106.
- Scordella A, Di Sano S, Aureli T, *et al.* The role of general dynamic coordination in the handwriting skills of children. *Front Psychol* 2015 ; 6 : 580.
- Schoemaker MM. The effects of physiotherapy on clumsy children’s drawing. *Handwriting Rev* 1993 ; 55-62.

- Sigurdsson E, Van Os J, Fombonne E. Are impaired childhood motor skills a risk factor for adolescent anxiety? Results from the 1985 UK Birth cohort and the National child development study. *Am J Psychiatr* 2002 ; 159 : 1044-6.
- Smits-Engelsman BC, Van Galen GP. Dysgraphia in children: lasting psychomotor deficiency or transient developmental delay. *J Exp Child Psychol* 1997 ; 67 : 164-84.
- Smits-Engelsman BC, Wilson PH. Noise, variability, and motor performance in developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 2013 ; 55 : 69-72.
- Smits-Engelsman BC, Niemeijer AS, Van Galen GP. Fine motor deficiencies in children diagnosed as DCD based on poor grapho-motor ability. *Hum Mov Sci* 2001 ; 20 : 161-82.
- Smits-Engelsman BC, Wilson PH, Westenberg Y, et al. Fine motor deficiencies in children with developmental coordination disorder and learning disabilities: an underlying open-loop control deficit. *Hum Mov Sci* 2003 ; 22 : 495-513.
- Smits-Engelsman BCM, Fiers MJ, Henderson SE et al. Interrater reliability of the movement assessment battery for children. *Phys Ther* 2008 ; 88 : 286-94.
- Sovik N, Maeland AF. Children with motor problems (clumsy children). *Scand J Educ Res* 1986 ; 30 : 39-53.
- Vaivre-Douret L, Lalanne C, Cabrol D, et al. Identification de critères diagnostiques des sous-types de troubles de l'acquisition de la coordination (TAC) ou dyspraxie développementale. *Neuropsychiatr Enfance Adolesc* 2011 ; 59 : 443-53.
- Van Der Linde BW, Van Netten JJ, Otten B, et al. Development and psychometric properties of the DCD daily: a new test for clinical assessment of capacity in activities of daily living in children with developmental coordination disorder. *Clinical Rehab* 2013 ; 27 : 834-44.
- Van Galen GP. Handwriting: issues from a psychomotor theory. *Hum Mov Sci* 1991 ; 10 : 165-91.
- Van Galen GP, Portier SJ, Smits-Engelsman BC, et al. Neuromotor noise and poor handwriting in children. *Acta Psychol* 1993 ; 82 : 161-78.
- Volman MJM, Van Schendel BM, Jongmans MJ. Handwriting difficulties in primary school children: a search for underlying mechanisms. *Am J Occup Ther* 2006 ; 60 : 451-60.
- Weil JM, Cunningham Amundson SJ. Relationship between visuomotor and handwriting skills of children in kindergarten. *Am J Occup Ther* 1994 ; 48 : 982-8.
- Weintraub N, Graham S. The contribution of gender, orthographic, finger function, and visual-motor processes to the prediction of handwriting status. *Occup Ther J Res* 2000 ; 20 : 121-40.
- Williams HG, Woollacott MH, Ivry RB. Timing and motor control in clumsy children. *J Mot Behav* 1992 ; 24 : 165-72.
- Zesiger P. *Écrire. Approches cognitive, neuropsychologique et développementale*. Paris : PUF, 1995.