



Évaluation des effets d'entraînements avec tablette tactile destinés à favoriser l'écriture de lettres cursives chez des enfants de Cours Préparatoire

► **Caroline Jolly** (LPNC, UMR5105, Grenoble), **Edouard Gentaz** (CNRS et FAPSE, Université de Genève, Suisse)

■ **RÉSUMÉ** • L'écriture manuscrite est une activité complexe qui nécessite la maîtrise et la coordination de compétences cognitives, perceptivo-motrices et linguistiques, et qui requiert plusieurs années d'apprentissage. Dans ce contexte, nous avons évalué les effets de deux entraînements – avec tablette tactile ou avec papier – destinés à favoriser l'écriture de lettres cursives chez des enfants de Cours Préparatoire (CP) présentant des difficultés de tracés. Les entraînements avec tablette comportaient des vidéos montrant le tracé des lettres entraînées en écriture cursive, vidéos qui étaient absentes dans les entraînements sur papier. L'analyse comparative des caractéristiques cinématiques de l'écriture avant et après entraînement a montré une amélioration significative des performances, et en particulier de la fluidité des tracés, des enfants entraînés sur tablette tactile par rapport aux enfants entraînés sur papier ou non entraînés. Ces résultats sont discutés en relation avec les spécificités des apports des tablettes tactiles.

■ **MOTS-CLÉS** • apprentissage ; écriture cursive ; interface tactile.

■ **ABSTRACT** • *Handwriting is a complex activity involving perceptuo-motor, cognitive and linguistic skills, and requires several years of formal training for a correct mastering. In this context, we evaluated two different trainings – using a touchpad or on paper – aiming at improving cursive letters handwriting in 1st-grade children presenting a delay in handwriting acquisition. The training using a tactile interface included demo videos showing the correct sense of production of cursive letters. A comparative analysis of the kinematic characteristics of handwriting before and after training showed a significant improvement of handwritten performances, in particular at the level of writing fluency, in children trained on the touchpad compared to children trained on paper or to non-trained children. These results are discussed in regards to the specificity of contributions of tactile devices.*

■ **KEYWORDS** • *cursive handwriting; learning; tactile interface.*

Caroline JOLLY, Edouard GENTAZ,
Interfaces tactiles et apprentissage de l'écriture manuscrite,
Sticef, vol.20, 2013, en ligne sur <www.sticef.org>

1. Introduction

L'écriture est un acquis culturel essentiel au fonctionnement de notre société. 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'habilités diverses, cognitives, perceptivo-motrices, attentionnelles et linguistiques (Blöte et Hamstra-Bletz, 1991) ; (Zesiger, 1995) ; (Vinter et Zesiger, 2007) ; (Bara et Gentaz, 2007), (Bara et Gentaz, 2010). De Ajuriaguerra, Auzias et Denner (De Ajuriaguerra *et al.*, 1979) résumant parfaitement la singularité de l'écriture en soulignant qu'elle est « à la fois praxie et langage ». Etant donné l'impact des tracés de lettres manuscrites sur d'autres activités d'écriture comme la copie ou la production de textes (Berninger *et al.*, 1997) ; (Bourdin et Fayol, 1994), (Bourdin et Fayol, 2000) ; (Graham, 1990) ; (Jones et Christensen, 1999), et le fait que les difficultés en écriture nécessitent une remédiation (Smits-Engelman et van Galen, 1997), il nous apparaît donc important d'évaluer les effets de nouveaux entraînements destinés à favoriser les tracés de lettres cursives chez des enfants d'âge scolaire.

Chez l'adulte, l'écriture manuscrite nécessite moins de ressources attentionnelles et cognitives que chez l'enfant, car les processus neuro-moteurs impliqués sont largement automatisés. En conséquence, nous oublions que c'est une activité hautement élaborée qui nécessite de longues heures d'entraînements (Blöte et Hamstra-Bletz, 1991) ; (Viviani, 1994) ; (Chartrel et Vinter, 2004) ; (Vinter et Zesiger, 2007). Comme nos ressources mnémoniques et attentionnelles sont limitées (Barrouillet et Camos, 2001) ; (Gavens et Camos, 2006), l'automatisation des tracés permet donc de libérer des ressources qui peuvent alors être utilisées pour les aspects linguistiques de l'écriture.

D'un point de vue expérimental, l'écriture peut être étudiée à trois niveaux en fonction de la taille des unités prises en compte : lettres, mots, ou textes (Vinter et Zesiger, 2008). Bien que seul le troisième niveau d'analyse reflète l'activité d'écriture véritable et permet d'étudier les aspects de composition, c'est-à-dire la manière dont un sujet va transcrire un message sous forme écrite, l'étude des deux autres niveaux est cependant particulièrement informative sur les processus neuro-moteurs sous-jacents à l'apprentissage normal et pathologique de l'écriture. Ainsi, la production de mots permet l'étude des processus orthographiques, et

l'étude de la production des lettres permet d'étudier les aspects perceptifs et moteurs de l'écriture. Nous savons que les trois niveaux sont interdépendants et s'influencent mutuellement. Plusieurs études ont montré que les processus grapho-moteurs interfèrent avec la construction et la production de textes. Ainsi, l'élaboration du contenu, la réalisation textuelle et la transcription puiseraient dans les mêmes (et limitées) ressources cognitives. Par exemple, la qualité d'un texte est meilleure quand les enfants dictent leur production à une autre personne que lorsqu'ils l'écrivent eux-mêmes (Graham, 1990). De même, les enfants parviennent mieux à rappeler l'information et à produire des phrases à l'oral qu'à l'écrit (Bourdin et Fayol, 2000). Des études évaluant les effets des entraînements sur le niveau d'écriture ont également permis de mettre en évidence un lien entre le tracé de lettres et la production de textes (Graham *et al.*, 2000).

L'apprentissage de l'écriture débute à l'école maternelle. L'enfant acquiert progressivement des compétences nécessaires à l'acte graphique, il apprend à écrire son prénom en lettres majuscules, scriptes et cursives, à copier quelques mots simples, et à écrire les lettres sur une ligne puis entre deux lignes. Les premiers entraînements consistent en des exercices de copie à partir de modèles, une tâche proche du dessin. Au fur et à mesure de l'apprentissage, l'enfant construit une représentation visuelle de la lettre, qui guide sa production, et une représentation motrice, spécifique à chaque lettre (Bara et Gentaz, 2007) ; (Bara et Gentaz, 2010) ; (Zesiger, 1995). Dès le début de l'apprentissage de l'écrit, les enfants peuvent se servir des représentations motrices des lettres pour construire leurs représentations visuelles. Ainsi, des psychologues montrent, chez des enfants japonais de troisième et de cinquième années de primaire, que la mémorisation de lettres est meilleure lorsque les enfants les apprennent en les écrivant que lorsqu'ils les voient (Naka, 1998). Renforcer les liens entre les compétences perceptives et motrices améliorerait la mémorisation des lettres (Longcamp *et al.*, 2005) et pourrait permettre de favoriser la compréhension du principe alphabétique chez les jeunes enfants.

Les apprentissages de l'écriture et de la lecture sont également étroitement liés et s'influencent mutuellement (Frith, 1985) ; (Dehaene *et al.*, 2011). Au début de l'apprentissage, ces activités se fondent sur un ensemble de connaissances et de processus communs ou en forte interaction, comme par exemple les connaissances du système alphabétique. La reconnaissance visuelle des lettres est donc essentielle puisqu'elle est le premier processus mis en jeu dans la lecture (Massaro et Klitzke, 1977) ;

(Adams, 1990) ; pour revue, (Dehaene *et al.*, 2011). Les méthodes multisensorielles s'appuient sur l'existence d'un lien fort entre l'écriture et la lecture et supposent que renforcer ce lien permettrait d'améliorer les compétences en lecture des enfants. En d'autres termes, ces expériences suggèrent que les aspects liés à la programmation et à l'exécution motrice (évalués par exemple par la vitesse du tracé de lettres isolées) sont liés aux aspects de composition et de génération de textes écrits, et soulignent donc l'importance pour l'enfant d'acquérir un tracé fluide et automatique (rapide et sans lever de crayon ou pause). Dans ce travail, nous allons examiner le développement des tracés de lettres à travers deux causes de progrès, les effets des entraînements multisensoriels et les apports des interfaces haptiques ou tactiles.

1.1. Le développement des tracés de lettres

L'écriture manuscrite des lettres est gérée par des règles de production motrice (Goodnow et al., 1973). Pour écrire leurs premières lettres, les enfants utilisent en général les mêmes règles de production motrice que celles utilisées pour le dessin. Les règles de production du dessin influencent l'écriture de la même manière que l'apprentissage de l'écriture engendre par la suite des changements dans ces règles. En France, le sens de rotation de l'écriture des lettres cursives, qui se fait dans le sens anti-horaire, impose des contraintes motrices fortes et de ce fait ne serait pas utilisé spontanément par les jeunes enfants. En effet, ce n'est que vers trois ou quatre ans que les enfants sont capables de produire des cercles dans le sens des aiguilles d'une montre ainsi que dans le sens inverse avec chaque main (Lurçat, 1974). Cette compétence particulière serait un pré-requis pour l'acquisition de l'écriture, mais le changement dans certaines de ces règles (comme le changement du sens de rotation par exemple) est une acquisition difficile pour le jeune enfant, qui nécessite une pratique intensive des activités d'écriture.

Au fur et à mesure de l'apprentissage de l'écriture, des différences aussi bien quantitatives (vitesse) que qualitatives (lisibilité) vont apparaître. L'émergence de ces différences s'explique non seulement par l'apprentissage en classe mais également par la maturation du système moteur qui permet à l'enfant d'exécuter les gestes fins requis pour former les lettres. L'évolution de l'écriture avec l'âge concerne à la fois les aspects statiques (forme, taille, agencement des lettres dans l'espace) et cinématiques de l'écriture (durée, vitesse, nombre et durée des pauses, etc.). Entre 7 et 10 ans, on observe une progression globale des différents indices statiques et

dynamiques, avec en particulier une diminution progressive de la taille des lettres, de la durée des tracés, et du nombre et de la durée des pauses. La variabilité des productions pour un même enfant tend également à diminuer. En parallèle, on observe également une forte augmentation de la vitesse. A partir de 10 ans, les changements observés sont mineurs et vont dans le sens d'une amélioration de l'automatisation et de la fluidité de l'écriture.

1.2. Les causes de progrès

1.2.1. Le passage d'un contrôle rétroactif à un contrôle proactif

En psychologie cognitive, il est classique de distinguer deux grands modes de contrôle des mouvements : un contrôle en boucle fermée (rétroactif) et un contrôle en boucle ouverte (proactif) (Zesiger, 1995). Dans le premier mode, une trace motrice stockée en mémoire à long terme détermine le début du mouvement qui est ensuite ajusté en temps réel grâce aux feedbacks sensori-moteurs. Ce mode de contrôle s'applique ainsi à des mouvements dont la durée est suffisamment importante pour permettre ces modifications (supérieurs à 100ms). En revanche, le contrôle en boucle fermée s'applique à des mouvements très rapides. Il suggère que le mouvement est entièrement programmé par avance et donc exécuté sans référence aux indices sensoriels. En réalité, quel que soit le mouvement, le mode de contrôle n'est jamais exclusif, mais intègre à la fois des feedbacks et des programmes moteurs dont la contribution respective dépend de la tâche et de l'expertise des participants (Desmurget et Graf-ton, 2000) ; (Zesiger, 1995).

Le mode de contrôle des mouvements serait essentiellement rétroactif au début de l'apprentissage. Les enfants utilisent, au cours du tracé de la lettre, les feedbacks sensoriels (visuels et kinesthésiques) issus de leurs propres mouvements manuels (Zesiger, 1995). Avec l'apprentissage et l'automatisation, un mode de contrôle proactif des mouvements deviendrait dominant. Ainsi, les enfants n'auraient plus besoin de feedbacks sensoriels pour tracer une lettre, car ils pourraient se baser sur un « programme moteur » comprenant des commandes motrices centrales nécessaires et suffisantes pour la tracer correctement et rapidement. En d'autres termes, les changements dans les aspects statiques et cinématiques de l'écriture, observés lors des premières années d'apprentissage, pourraient être la conséquence du passage d'une stratégie de contrôle rétroactif, basé sur les feedbacks sensoriels, à une stratégie de contrôle proactif, basé sur une représentation interne du programme moteur.

On constate également aussi que l'absence de feedback visuel a des effets plus importants chez les jeunes enfants que chez les enfants plus âgés et les adultes. En l'absence de feedback (yeux bandés), la durée du mouvement, et la dysfluence (i.e. le nombre de pics d'accélération et de décélération) augmentent (Chartrel et Vinter, 2006). Les différences entre « avec » et « sans feedback » sont plus importantes pour les enfants de 8 et 9 ans. En l'absence de feedback visuel, les enfants auraient tendance à essayer de maximiser les informations kinesthésiques en augmentant la taille des lettres produites. Ces feedback pourraient contribuer à l'élaboration des représentations internes du mouvement sur lesquelles s'appuient les enfants plus âgés et les adultes.

1.2.2. L'augmentation de la taille de l'unité du programme moteur

La taille de l'unité de base du programme moteur évoluerait également au cours de l'apprentissage de l'écriture. En utilisant une tâche de copie de phrases, Prêteur et Telleria-Jauregui (Prêteur et Telleria-Jauregui, 1986) ont étudié l'évolution de l'empan de transcription (nombre de séquences écrites sans recours au modèle) chez des élèves de première année d'école élémentaire (CP). Ils ont montré que la taille des unités transcrites sans recours au modèle augmente au cours de l'année scolaire. En début d'année, les élèves recopient des morceaux de lettres, puis des lettres entières et, en fin d'année, des morceaux de mot ou des petits mots entiers. L'acquisition de l'écriture se traduirait donc par l'augmentation de la taille des unités contenues dans le programme moteur.

En résumé, la qualité et la vitesse d'écriture augmentent graduellement avec l'âge mais tendent à stagner du point de vue de la qualité à partir de la troisième année d'école élémentaire. L'acquisition de l'écriture se traduit par (i) l'élaboration de programmes moteurs de plus en plus sophistiqués, (ii) un passage progressif d'un contrôle rétroactif des mouvements d'écriture vers un contrôle proactif, et (iii) une augmentation de la taille de l'unité de base du programme moteur.

1.3. Comment apprendre à tracer des lettres ?

L'enseignement de l'écriture a pour premier objectif d'aider les enfants à automatiser les aspects moteurs de l'écriture, en proposant différents exercices spécifiques (Bara et al., 2004). Certaines activités de pré-écriture, comme tracer des arcades et des cercles, permettraient de préparer efficacement les enfants à l'apprentissage de l'écriture. La qualité du tracé de lettres des enfants de maternelle qui reçoivent ce type d'entraînement

s'améliore de manière significative en comparaison d'un groupe contrôle (Smits-Engelsman et al., 2001).

Les méthodes d'apprentissage de l'écriture consistent principalement à montrer aux enfants comment reproduire les lettres selon un « modèle ». L'enfant doit être capable de percevoir non seulement la forme du modèle mais également la déviation de sa propre production par rapport au modèle. Les entraînements à l'écriture dirigés par l'enfant se basent sur l'utilisation d'une réflexion systématique de l'enfant après chaque exercice d'écriture (Jongmans et al., 2003). Ce type d'entraînements semble améliorer la qualité d'écriture (i.e. la lisibilité) chez des enfants faibles scripteurs, mais pas les caractéristiques cinématiques de leur écriture.

Il semblerait que la présentation visuelle des lettres associée à des commentaires verbaux sur la manière de les former donne de meilleures performances dans la qualité du tracé des lettres en comparaison d'une présentation uniquement visuelle (Berninger et al., 1997). Ces résultats suggèrent que la capacité des enfants à percevoir précisément la forme des lettres est un facteur important pour le développement de l'écriture. La perception et la mémorisation de la forme des lettres constitueraient donc la première étape dans l'apprentissage de l'écriture. En outre, une étude comparative de différents types d'apprentissage (moteur, visuel ou visuo-moteur) de l'écriture de lettres cursives chez l'enfant pré-scripteur a montré l'importance des informations visuelles dynamiques dans cet apprentissage (Vinter et Chartrel, 2010). Plus récemment, nous avons montré chez des enfants de 5-6 ans que l'exploration visuo-manuelle de lettres en relief dans un entraînement de préparation de l'écriture améliorerait leur reconnaissance et la qualité globale de leur tracé par rapport à une exploration seulement visuelle (Bara et Gentaz, 2011).

1.4. Apport d'une interface visuo-haptique dans l'apprentissage de l'écriture

Les dispositifs haptiques sont des interfaces permettant à l'utilisateur d'interagir avec le monde virtuel via le sens du toucher. Contrairement aux interfaces traditionnelles qui fournissent des informations visuelles et auditives, les interfaces haptiques génèrent des signaux mécaniques (forces, vibrations, mouvement) qui stimulent les voies kinesthésiques du sujet (Hayward *et al.*, 2004) pour revue. De ce fait, le guidage par interface haptique a été largement utilisé pour l'apprentissage de l'écriture (Bluteau *et al.*, 2008) ; (Henmi et Yoshikawa, 1998) ; (Srimathveeravalli et Thenkurussi, 2005).

Dans une étude précédente, nous avons développé une interface visuo-haptique ergonomique nommée Télémaque (Hennion *et al.*, 2005). Ce dispositif utilise un stylo guidé par un bras-robot à retour de force (PHANTOM®). La cinématique des mouvements utilisés par Télémaque est basée sur les règles de production motrice décrites par Lacquaniti, Terzuolo et Viviani (Lacquaniti *et al.* 1983). Ce dispositif a été testé auprès d'enfants de grande section de maternelle (GS) et de CP, dans le but de leur apprendre à reproduire des lettres selon un modèle non seulement statique mais également dynamique (Palluel-Germain *et al.*, 2007). Nos résultats montrent que l'utilisation de Télémaque est bénéfique dans l'apprentissage du tracé des lettres aussi bien chez les scripteurs débutants (GS, 5-6 ans) que chez les enfants de CP (6-7 ans). Les enfants entraînés avec Télémaque présentent en particulier une écriture plus fluide après entraînement. Ces observations suggèrent que Télémaque permettrait à l'enfant d'incorporer les règles de production motrice, et les aiderait à passer d'une stratégie de contrôle rétroactif à une stratégie de contrôle proactif basé sur une représentation interne du programme moteur. En outre, cette interface pourrait être particulièrement intéressante dans la remédiation contre les problèmes de distorsion de l'écriture (lettres de forme incorrecte ou irrégulière, lettres disjointes, problèmes de proportionnalité entre lettres, etc.).

1.5. Apport d'une interface tactile dans l'apprentissage de l'écriture

Malgré l'intérêt que présente clairement le dispositif Télémaque, il n'est malheureusement pas possible à l'heure actuelle de l'utiliser à grande échelle dans les écoles ordinaires en raison de leur coût (en achat et en suivi). En outre, la technologie du bras-robot est relativement éloignée d'une situation réelle d'écriture en milieu scolaire. Dans ce contexte, nous avons donc récemment cherché à élaborer un nouveau type d'entraînements à l'écriture utilisant une technologie beaucoup plus accessible : une tablette tactile. Il s'agit en fait d'un écran d'ordinateur tactile sur lequel on écrit directement à l'aide d'un stylo adapté. L'apport principal de nos entraînements par rapport à des entraînements classiques sur papier est qu'ils incluent des démonstrations du tracé des lettres sous forme de vidéos, que l'enfant peut visionner plusieurs fois dans son espace de travail proche (plan horizontal de son bureau/cahier). En effet, il a été montré que la colocalisation des espaces de travail visuel et manuel favorise l'intégration multisensorielle (Congedo *et al.*, 2006). En outre, cette technique représente un environnement plus écologique et plus

proche d'une situation d'écriture en milieu scolaire que le bras-robot Télémaque. De plus, l'utilisation de ce matériel rend les exercices davantage attractifs du fait de leur caractère multimodal et sans jugement, ce qui est un avantage en particulier pour les enfants n'aimant pas les exercices d'écriture. Enfin, les exercices proposés sont évolutifs et peuvent donc être adaptés pour chaque enfant en fonction de ses difficultés propres ou en fonction de son niveau scolaire.

Nous avons donc généré des exercices d'écriture semblables à ceux utilisés lors des entraînements avec Télémaque, que nous avons ensuite testés auprès d'enfants de GS afin d'évaluer les effets de ce nouveau type d'entraînements sur l'apprentissage du tracé de lettres (Jolly et al., 2013). Nos résultats montrent une amélioration de la fluidité d'écriture plus importante pour les enfants entraînés sur la tablette tactile par rapport aux enfants ayant réalisé des entraînements classiques sur papier. On observe en particulier chez les enfants entraînés sur tablette une diminution du temps de crayon en l'air, une diminution de la durée des tracés, ainsi qu'une augmentation de la vitesse moyenne d'écriture. Ainsi, tout comme Télémaque, ce type d'entraînements sur tablette tactile pourrait aider le système moteur à intégrer les règles de production motrice.

Dans la continuité de ces recherches, nous souhaitons déterminer si nos entraînements pouvaient également être bénéfiques non plus dans les premières étapes de l'apprentissage de l'écriture chez des enfants tout-venants, mais pour des enfants plus âgés (CP) présentant un simple retard en écriture non associé à un trouble des apprentissages. Notre hypothèse était que l'ajout des vidéos montrant le tracé correct des lettres devrait également entraîner une amélioration des performances des enfants faibles scripteurs, tout comme nous l'avons observée chez les enfants de GS. Les enfants faibles scripteurs tracent généralement des lettres plus grosses que les enfants normo-scripteurs, mais ils les tracent plus vite. Ceci s'explique par le principe d'isochronie, selon lequel la durée du mouvement est constante quelle que soit la longueur du tracé (Binet et Courtier, 1893) ; (Lacquanti *et al.*, 1983) ; (Wright, 1993). Ainsi, pour une même lettre à tracer, si la taille de la lettre augmente, la vitesse de traçage augmente donc proportionnellement, mais la durée totale du tracé ne varie pas. Dans ce contexte, si nos entraînements avec la tablette tactile améliorent la fluidité d'écriture des enfants faibles scripteurs, nous devrions donc observer une amélioration de certains paramètres cinématiques de leur écriture tels que la vitesse et la taille des lettres.

2. Méthode

2.1. Participants

Soixante-dix enfants scolarisés en classe de CP dans des écoles primaires des environs de Grenoble ont participé à cette étude. Ces enfants ont été répartis en deux groupes en fonction de leurs productions écrites avant entraînement (performances en pré-test), en accord avec les enseignants. Le premier groupe de 42 enfants (27 garçons ; $M_{age} = 6.4$ ans, $SD_{age} = 0.25$) présentait des performances en écriture standard pour des enfants de cet âge. Ce groupe n'a pas suivi d'entraînement particulier en plus du travail effectué en classe, et a donc servi de groupe Contrôle permettant d'évaluer la progression scolaire. Le second groupe de 28 enfants (19 garçons ; $M_{age} = 6.3 \pm 0.25$ ans) comprenait des enfants ayant été repérés par les enseignants comme présentant des difficultés en écriture. L'analyse de leurs performances écrites en pré-test a confirmé ces difficultés (cf. partie Résultats). Ces 28 enfants ont été aléatoirement séparés en deux groupes : un premier de 17 enfants (13 garçons ; $M_{age} = 6.2 \pm 0.25$ ans) qui a suivi les entraînements sur tablette tactile, et un deuxième groupe de 11 enfants (6 garçons ; $M_{age} = 6.4 \pm 0.33$ ans) qui a réalisé les mêmes exercices mais sur papier. Nous nous référerons à ces deux groupes sous les termes de « groupe tablette » et « groupe papier » respectivement. Aucun des enfants inclus dans cette étude ne présentait de trouble avéré des apprentissages.

Cette étude a été réalisée en accord avec la Déclaration d'Helsinki. Elle a été préalablement approuvée par le comité d'éthique du laboratoire. Elle a été menée avec le consentement écrit d'un parent de chaque enfant, et en accord avec les conventions éthiques, entre l'organisation académique (LPNC-CNRS) et les instances éducatives (Inspection Académique).

2.2. Matériel et procédure

La tablette tactile (Wacom Cintiq©) était insérée dans une planche de bois placée sur une table d'écolier, de manière que la tablette soit dans la continuité spatiale de la planche. L'enfant était confortablement installé en face de la table (Figure 1).

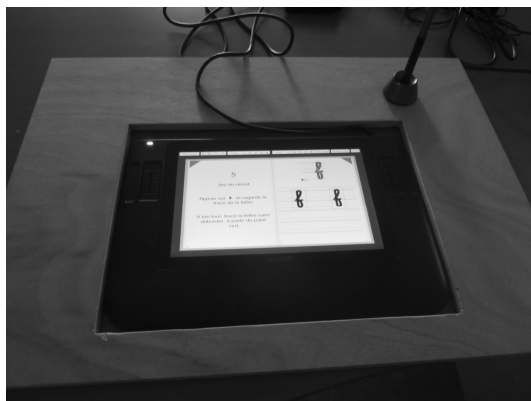


Figure 1 • Dispositif utilisé pour les entraînements. La tablette tactile est insérée dans une planche de bois.

Les livres d'exercices virtuels ont été générés à l'aide du logiciel Didapages© (Didapages 1, 2006). Les exercices proposés consistaient en une copie de plusieurs lettres que les enfants devaient tracer à partir d'un point de départ indiqué, après visionnage d'une vidéo montrant le tracé correct de la lettre (Figure 2).



Figure 2 • Exemple d'exercice proposé.

Les lettres entraînées ont été choisies en accord avec les enseignants : a, b, f, g, h, p, r, s, u et v. Chaque lettre était tracée 10 fois lors de chaque entraînement, et les enfants ont reçus 6 séances d'entraînement à raison d'un entraînement par semaine, entre début janvier et mi-février.

Les enfants des groupes « contrôle » et « papier » ont passé un temps équivalent aux enfants du groupe « tablette » sur l'ordinateur (jeux interactifs).

2.3. Pré- et post-tests

L'évaluation des productions écrites des enfants a été réalisée avant et après entraînement sur la base d'une dictée, dans un ordre aléatoire, des

10 lettres entraînées et de lettres non entraînées qui ont servi de contrôles (c, d, e, i, j, l, m, n, o et t). Les dictées ont été réalisées sur une feuille placée sur une tablette graphique (Wacom© Intuos 3 A5 USB) à l'aide d'un stylo à bille (Intuos Ink Pen, Wacom©). Ce système permet d'échantillonner les positions du stylo avec une fréquence de 50 Hz et avec une résolution spatiale d'environ 0.1 mm. Chaque test durait environ 5 minutes. Chaque tracé était ensuite analysé à l'aide du logiciel Scribble (Bluteau et al., 2010) ; (Jolly et al., 2010), qui calcule 8 paramètres cinématiques rendant compte de la fluidité d'écriture :

- la **longueur** totale du tracé (en cm)
- la **durée** totale du tracé (en secondes)
- la **vitesse** moyenne (en cm/sec),
- le **nombre de traits** qui constituent la lettre,
- le **temps de crayon en l'air** qui correspond au temps total (en secondes) durant lequel le stylo n'est plus en contact avec la tablette,
- le **nombre de pics de vitesse**. Le calcul de ce paramètre nécessite un filtrage préalable des données brutes avec un filtre Butterworth d'ordre 3 à une fréquence de coupure de 8 Hz (Butterworth, 1930),
- le **nombre de moments statiques**, qui correspond au nombre de périodes durant lesquelles la distance parcourue par le stylo est nulle,
- la **pression** moyenne du stylo sur la tablette.

2.4. Analyses statistiques

La moyenne et l'écart-type ont été calculées pour chaque lettre et chaque paramètre. La comparaison des performances de pré-test entre groupe contrôle et groupes entraînés a été réalisée à l'aide d'un test de Student. Les comparaisons des résultats entre les trois groupes (contrôle, tablette, papier) avant et après entraînement ont été réalisées par des ANOVAs avec le groupe comme variable dépendante et les différents paramètres comme variables inter-sujets.

3. Résultats

Une analyse comparative des performances en pré-test des enfants du groupe contrôle (N=42) et des enfants des deux groupes entraînés réunis (N=28) a tout d'abord été effectuée à l'aide d'un test de Student, afin de s'assurer que les performances des enfants ayant été sélectionnés pour suivre les entraînements étaient effectivement inférieures à celles des enfants du groupe contrôle. Les résultats mettent en évidence une différence significative entre le groupe contrôle et les deux groupes entraînés réunis pour 5 paramètres : la longueur des tracés ($p = 0$), la vitesse ($p = 0$),

le nombre de pics de vitesse ($p = 0.01$), le nombre de moments statiques ($p < 0.001$), et la pression ($p = 0.03$). Les enfants ayant été choisis pour les entraînements présentaient donc bien des difficultés en écriture par rapport aux enfants contrôles.

La progression des performances en écriture de chaque groupe d'enfants a ensuite été évaluée en calculant, pour chaque lettre entraînée (a, b, f, g, h, p, r, s, u et v) et pour chaque paramètre, la différence entre les résultats obtenus avant et après entraînement. Les mêmes calculs ont été faits pour les 10 lettres non entraînées (c, d, e, i, l, m, n, o et t). Des ANOVAs ont ensuite été réalisées pour mettre en évidence un éventuel effet du groupe sur les performances des enfants. Les résultats obtenus mettent en évidence un effet significatif du groupe sur trois paramètres : la longueur, qui reflète la taille des lettres [$F(2,67) = 6.425, p = 0.002, \eta_p^2 = 0.088$], la vitesse moyenne [$F(2,67) = 9.52, p = 0.0001, \eta_p^2 = 0.122$], et le nombre de pics de vitesse [$F(2,67) = 5.99, p = 0.003, \eta_p^2 = 0.08$]. En particulier, la longueur des tracés diminue significativement après entraînement pour le groupe « tablette » ($M = -0.365 \pm 0.88$ cm) alors qu'aucune progression n'est observée pour les groupes « papier » ($M = 0.018 \pm 0.55$ cm) et « contrôle » ($M = 0.015 \pm 0.31$ cm) (Figure 3A). De la même manière, la vitesse moyenne des tracés diminue après entraînement pour le groupe « tablette » ($M = -0.22 \pm 0.45$ cm/sec), alors qu'elle augmente pour le groupe « papier » ($M = 0.094 \pm 0.21$ cm/sec) et n'est pas modifiée pour le groupe « contrôle » ($M = -0.0005 \pm 0.24$ cm/sec) (Figure 3B). Enfin, le nombre de pics de vitesse augmente pour le groupe « tablette » ($M = 1.01 \pm 3.11$) mais de manière moins importante que pour le groupe « papier » ($M = 1.87 \pm 4.04$), alors qu'il diminue pour le groupe « contrôle » ($M = -0.417 \pm 2.8$) (Figure 3C).

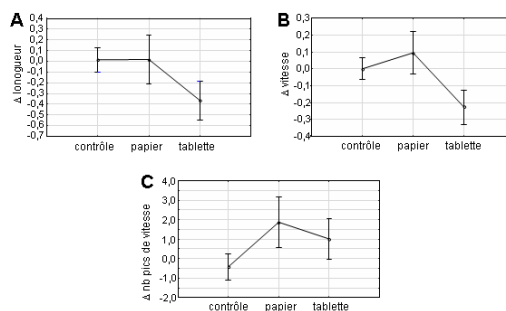


Figure 3 • Progression des paramètres de longueur (A), vitesse (B) et nombre de pics de vitesse (C) après entraînement pour le groupe contrôle, le groupe entraîné sur papier, et le groupe entraîné sur tablette.

En parallèle de cette amélioration des paramètres quantitatifs de l'écriture, nous observons également une amélioration qualitative de l'écriture des enfants entraînés avec la tablette tactile. Quelques exemples illustratifs de lettres tracées par des enfants de ce groupe avant et après entraînement sont présentés dans la Figure 4.

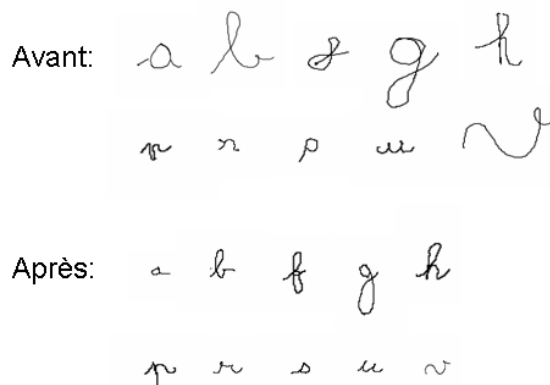


Figure 4 • Exemple de lettres tracées lors des tests de dictée effectués avant et après entraînement par dix enfants du groupe ayant réalisé les entraînements sur tablette tactile.

L'ensemble de ces résultats témoigne donc d'une augmentation significative de la fluidité de l'écriture uniquement chez les enfants ayant suivi les entraînements sur la tablette tactile.

4. Conclusion

Dans cette étude, nous avons évalué les effets d'entraînements avec tablette tactile sur la fluidité des tracés de lettres cursives isolées chez des enfants de CP présentant des difficultés en écriture. Nos résultats montrent une amélioration significative de l'écriture des lettres uniquement chez les enfants entraînés sur tablette tactile. Nous observons en particulier une diminution de la taille des lettres et de la vitesse moyenne d'écriture, et une augmentation du nombre de pics de vitesse moins importante que celle observée pour le groupe d'enfants entraînés sur papier. La diminution concomitante de la taille des lettres et de la vitesse est en accord avec le principe d'isochronie, selon lequel pour un même tracé, la durée du mouvement d'écriture reste constante quelle que soit la taille du tracé (Binet et Courtier, 1893) ; (Lacquaniti *et al.*, 1983) ; (Wright, 1993). En

outre, la diminution de la vitesse moyenne que nous observons est en accord avec des études antérieures, qui montrent que l'augmentation de la vitesse moyenne d'écriture se fait principalement entre 8 et 10 ans (Maeland et Karlsdottir, 1991) ; (Sassoon *et al.*, 1989). Enfin, des résultats obtenus récemment au laboratoire ont mis en évidence une diminution importante de la vitesse moyenne d'écriture entre la grande section de maternelle et le CP (C. Jolly, résultats non publiés). L'ensemble de ces observations témoigne donc d'une augmentation de la fluidité d'écriture. Ces résultats sont en accord avec nos précédentes études montrant l'apport d'entraînements utilisant Télémaque (Palluel-Germain *et al.*, 2007) ou la tablette tactile (Jolly *et al.*, 2013) sur l'apprentissage de l'écriture chez des enfants de GSM. Ainsi, les exercices que nous proposons pourraient être utilisés en milieu scolaire pour aider à l'apprentissage de l'écriture chez les enfants faibles scripteurs.

Comment expliquer les effets bénéfiques des entraînements sur tablette tactile ? Ces effets pourraient être dus à la composante dynamique de nos entraînements, c'est-à-dire aux vidéos montrant le tracé des lettres dans le même espace de travail d'écriture. En effet, les vidéos de démonstration constituent la différence principale entre les entraînements réalisés sur la tablette tactile et ceux réalisés sur papier. Dans le système scolaire, l'enseignement de l'écriture consiste principalement à montrer aux enfants comment reproduire les lettres selon un modèle. Or, dans la classe, l'enseignant ne peut montrer aux enfants qu'un nombre limité de fois comment tracer les lettres. En outre, lorsque les enfants réalisent des exercices d'écriture sur papier, ils ne disposent que d'un modèle statique qui ne leur permet donc pas de corriger un éventuel sens de production erroné. Bien que cette approche convienne à la grande majorité des enfants, elle semble poser problème aux enfants présentant des difficultés en écriture qui peuvent avoir besoin d'un plus grand nombre de démonstrations. Du fait des vidéos qu'ils contiennent, nos entraînements pourraient ainsi représenter une solution pour ces enfants. En outre, ils facilitent le travail en autonomie des enfants. Enfin, le tableau sur lequel l'enseignant écrit est parfois loin de l'enfant, alors que les vidéos se situent dans l'environnement de travail de l'enfant, permettant ainsi de mieux capter son attention. On sait en outre que la colocalisation des espaces de travail visuel et manuel favorise l'intégration multisensorielle (Congedo *et al.*, 2006).

Une autre hypothèse, que nous devons également prendre en compte, est l'aspect attractif de l'environnement numérique, qui pourrait simple-

ment favoriser une meilleure participation des enfants dans la tâche demandée, entraînant par conséquence de meilleures performances écrites. Bien que les dictées de pré- et post-tests aient été réalisées avec un stylo et une feuille de papier, et que les enfants des groupes « contrôle » et « papier » aient également utilisé l'ordinateur pour des jeux, il serait néanmoins essentiel dans une prochaine étude que les enfants du groupe « papier » réalisent également les entraînements sur la tablette tactile, mais sans vidéos, ceci afin d'écartier totalement l'hypothèse d'un simple effet du à l'attractivité de l'environnement numérique.

La technologie utilisée dans cette étude est intéressante du point de vue financier, et bien plus abordable pour les écoles que le système expérimental du bras-robot. Elle représente cependant un certain coût, qui reste encore une limitation à son transfert en milieu scolaire. En outre, elle implique l'utilisation d'un ordinateur, ce qui nécessite donc quelques compétences en informatique de la part des enseignants, un aspect qui peut parfois être limitant. Dans ce contexte, l'émergence récente et le développement massif des interfaces tactiles offre de nouveaux supports pour le développement d'exercices d'entraînements à l'écriture. Nous envisageons donc de développer nos entraînements sur ce type d'interfaces, dont le coût moindre et surtout la facilité d'utilisation devraient les rendre particulièrement attractives pour les enseignants et pourraient à terme permettre leur utilisation à grande échelle dans les écoles.

Il serait également intéressant de tester les apports de nos entraînements sur l'acquisition de l'écriture des chiffres. En particulier, l'orientation spatiale des lettres et des chiffres semble être l'attribut le plus difficile à acquérir, comme le montrent des études chez de jeunes enfants (Adams, 1990) ; (Gibson *et al.*, 1962) ou chez des enfants présentant des troubles de l'apprentissage (Lieberman *et al.*, 1971) ; (Terepocki *et al.*, 2002). Ainsi, une très grande partie des jeunes enfants (4-5 ans) passent par une étape « normale » au cours de l'apprentissage pendant laquelle ils présentent des difficultés à discriminer et les chiffres et certaines lettres de leur image en miroir, et/ou à tracer ces caractères correctement (Cornell, 1985) ; (Della Sala et Cubelli, 2007) ; (Schott, 1999), (Schott, 2007) ; Pegado *et al.*, 2011). Ce problème disparaît le plus souvent après une période d'apprentissage plus ou moins longue, mais il peut devenir très handicapant pour l'enfant s'il persiste. Dans ce contexte, il serait donc intéressant de tester si des entraînements comprenant des vidéos montrant le tracé des chiffres peuvent être bénéfiques pour l'apprentissage de l'écriture des chiffres, en particulier en diminuant l'écriture en miroir. Enfin, nos en-

traînements permettant d'améliorer l'écriture d'enfants faibles scripteurs, il serait également intéressant de tester si ce type d'entraînements peut permettre d'améliorer l'écriture d'enfants dysgraphiques (Jolly *et al.*, 2010) ; (Huron, 2011).

Remerciements

Nous remercions les directeurs d'école et les enseignants, les enfants ainsi que leurs parents pour leur participation. Nous remercions également Sébastien Boisard qui a développé le logiciel Scribble utilisé pour l'analyse des traces d'écriture. Ce travail a été financé par le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et par l'Université Pierre Mendès-France de Grenoble.

BIBLIOGRAPHIE

ADAMS M.J. (1990). *Beginning to read: thinking and learning about print*. Cambridge, MA : MIT press.

BARA F., GENTAZ E. (2007). Apprendre à écrire. *Médecine et Enfance*, p. 207-210.

BARA F., GENTAZ E. (2010). Apprendre à tracer des lettres : une revue de question. *Psychologie Française* Vol. 55, p. 129-144.

BARA F GENTAZ E. (2011). Haptics in handwriting teaching: the role of perceptual and motor skills. *Human Movement Science* Vol. 30, p. 745-759.

BARA F., GENTAZ E., COLE P. (2004). Quels entraînements de préparation à la lecture proposer aux jeunes enfants de maternelle? Dans E. Gentaz, P. Dessus (Eds.), *Comprendre les apprentissages. Sciences cognitives et éducation* (p. 11-25). Paris, France : Dunod.

BARROUILLET P., CAMOS V. (2001). Developmental increase in working memory span: Resource sharing or temporal decay ? *Journal of Memory and Language* Vol. 45, p. 1-20.

BERNINGER V.W., VAUGHAN K.B., ABBOTT R.D., ABBOTT S.P., ROGAN W., BROOKS A., REED E., GRAHAM S. (1997). Treatment of handwriting problems in beginning writers: Transfert from handwriting to composition. *Journal of Educational Research* Vol. 89, p. 652-666.

BINET A., COURTIER J. (1893). Sur la vitesse des mouvements graphiques. *Revue Philosophique* Vol. XXXV, p. 664-671.

BLÖTE A.W., HAMSTRA-BLETZ L. (1991). A longitudinal study on the structure of handwriting. *Perception and Motor Skills* Vol. 72, p. 983-994.

BLUTEAU J., COQUILLART S., PAYAN Y., GENTAZ E. (2008). Haptic guidance improves the visuo-manual tracking of trajectories. *PLoS ONE* Vol. 3 n°3, e1775.

BLUTEAU J., HILLAIRET DE BOISFERON A., GENTAZ E. (2010). Assess spatial and kinematics features of characters: a comparison between subjective and objective measures. *Sciyo.com* [open access].

BOURDIN B., FAYOL M. (1994.) Is written language production more difficult than oral language production. *International Journal of Psychology* Vol. 29, p. 591-620.

- BOURDIN B., FAYOL M. (2000). Is graphic activity cognitively costly? A developmental approach. *Reading and Writing: An interdisciplinary Journal* Vol. 13, p. 183-196.
- BUTTERWORTH S. (1930). On the theory of filter amplifiers. *Wireless Engineer* Vol. 7, p. 536-541.
- CHARTREL E., VINTER A. (2004). L'écriture : Une activité longue et complexe à acquérir. *Approche Neuropsychologique de l'Apprentissage chez l'Enfant* Vol. 78, p. 174-180.
- CHARTREL E., VINTER A. (2006). Rôle des informations visuelles dans la production de lettres cursives chez l'enfant et l'adulte. *L'Année Psychologique* Vol. 1, p. 34-64.
- CONGEDO M., LECUYER A., GENTAZ E. (2006). The influence of spatial delocation on perceptual integration of vision and touch. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* Vol. 15, p. 353-357.
- CORNELL J.M. (1985). Spontaneous mirror-writing in children. *Canadian Journal of Experimental Psychology* Vol. 39, p. 174-179.
- DE AJURIAGUERRA J., AUZIAS M., DENNER A. (1979). *L'écriture de l'enfant : 1. L'évolution de l'écriture et ses difficultés*. Paris, France : Delachaux et Niestlé.
- DEHAENE S., DEHAENE-LAMBERTZ G., GENTAZ E., HURON C., SPRENGER-CHAROLLES L. (2011). *Apprendre à lire : Des sciences cognitives à la salle de classe*. S. Dehaene Ed. Paris, France : Odile Jacob.
- DELLA SALA S., CUBELLI R. (2007). 'Directional apraxia': A unitary account of mirror writing following brain injury or as found in normal young children. *Journal of Neuropsychology* Vol. 1, p. 3-26.
- DESMURGET M., GRAFTON S.T. (2000). Forward modeling allows feedback control for fast reaching movements. *Trends in Cognitive Science* Vol. 4, p. 423-443.
- DIDAPAGES 1 (2006). *Didasystem Inc.*, <http://www.didasystem.com> (consulté le 10 septembre 2012).
- FRITH, U. (1985). Beneath the surface of developmental dyslexia. Dans K. Patterson, J. Marshall, M. Coltheart (Eds.), *Surface dyslexia, neuropsychological and cognitive studies of phonological reading* (p. 301-330). London, UK : Erlbaum.
- GAVENS N., CAMOS V. (2006). La mémoire de travail : une place centrale dans les apprentissages scolaires fondamentaux. Dans P. Dessus, E. Gentaz (Eds.), *Apprentissages et enseignement. Sciences cognitives et éducation* (p. 91-103). Paris, France : Dunod.
- GIBSON E.J., GIBSON J.J., PICK A.D. OSSER H. (1962). A developmental study of the discrimination of letter-like forms. *Journal of Comparative and Physiological Psychology* Vol. 55, p. 897-906.
- GOODNOW J.J., FRIEDMAN S., BERNBAUM M., LEHMAN E.B. (1973). Direction and sequence in copying: The effect of learning to write in English and Hebrew. *Journal of Cross-Cultural Psychology* Vol. 4, p. 263-282.
- GRAHAM S. (1990). The role of production factors in learning disabled students' compositions. *Journal of Educational Psychology* Vol. 82, p. 781-791.
- GRAHAM S., HARRIS K.R., FINK B. (2000). Is handwriting causally related to learning to write? Treatment of handwriting problems in beginning writers. *Journal of Educational Psychology* Vol. 92, p. 620-633.
- HAYWARD V., ASTLEY O., CRUZ-HERNANDEZ M., GRANT D., ROBLES-DE-LA-TORRE G. (2004). Haptic interfaces and devices. *Sensor Review* Vol. 24, p. 16-29.

- HENNION B., GENTAZ E., GOUAGOUT P., BARA F. (2005). Telemaque, a new visuo-haptic interface for remediation of dysgraphic children. *IEEE: WorldHaptic*, p. 410-419.
- HENMI K., YOSHIKAWA T. (1998). Virtual lesson and its application to virtual calligraphy system. *Proceedings of Robotics and Automation* Vol. 2, p. 1275-1280.
- HURON C. (2011). L'enfant dyspraxique : Mieux l'aider, à la maison et à l'école. Paris : Odile Jacob. 198 p.
- JOLLY C., HURON C., ALBARET J.-M., GENTAZ E. (2010). 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* Vol. 55, p. 145-170.
- JOLLY C., PALLUEL-GERMAIN R., GENTAZ E. (2013). Evaluation of a tactile training for handwriting acquisition in French kindergarten children: A pilot study. Dans H. Schwitzer, D. Foulke (Eds.), *Kindergartens: Teaching methods, expectations and current challenges* (p. 161-176). Hauppauge, USA : Nova Science Publishers.
- JONES D., CHRISTENSEN C.A. (1999). Relationship between automaticity in handwriting and student's ability to generate written text. *Journal of Educational Psychology* Vol. 91, p. 44-49.
- JONGMANS M.J., LINTHORST-BAKKER E., WESTENBERG Y., SMITS-ENGELSMAN B.C. (2003). Use of a task-oriented self-instruction method to support children in primary school with poor handwriting quality and speed. *Human Movement Science* Vol. 22, p. 549-566.
- LACQUANITI F., TERZUOLO C., VIVIANI P. (1983). The law relating the kinematic and figural aspects of drawing movements. *Acta Psychologica* Vol. 54, p. 115-130.
- LIBERMAN I.A., SHANKWEILER D., ORLANDO C. (1971). Letter confusions and reversals of sequence in the beginning reader: implications for Orton's theory of developmental dyslexia. *Cortex* Vol. 7, p. 127-142.
- LONGCAMP M., ZERBATO-POUDOU M.T., VELAY J.L. (2005). The influence of writing practice on letter recognition in preschool children: A comparison between handwriting and typing. *Acta Psychologica*. Vol. 119, p. 67-69.
- LURCAT L. (1974). *Etudes de l'acte graphique*. Paris, France : Mouton.
- MAELAND A.F., KARLSDOTTIR R. (1991). Development of reading, spelling and writing skills from third to sixth grade in normal and dysgraphic school children. Dans J. Wann, A.M. Wing, N. Sovik (Eds.), *Development of graphic skills*. London, UK: Academic Press.
- MASSARO D.W., KLITZKE D. (1977). Letters are functional in word identification. *Memory and Cognition* Vol. 5, p. 292-298.
- NAKA M. (1998). Repeated writing facilitates children's memory for pseudocharacters and foreign letters. *Memory and Cognition* Vol. 26, p. 804-809.
- PALLUEL-GERMAIN R., BARA F., HILLAIRET DE BOISFERON A., HENNION B., GOUAGOUT P., GENTAZ E. (2007). A visuo-haptic device - Telemaque - increases the kindergarten children's handwriting acquisition. *IEEE: WorldHaptics*, p. 72-77.
- PEGADO F., NAKAMURA K., COHEN L, DEHAENE S. (2011). Breaking the symmetry: Mirror discrimination for single letters but not for pictures in the Visual Word Form Area. *NeuroImage* Vol. 55, p. 742-749.
- PRETEUR Y., TELLERIA-JAUREGUI B. (1986). L'empan de copie comme un des indicateurs de l'acquisition de la langue écrite chez des enfants de 5-8 ans. *Psychologie Scolaire* Vol. 56, p. 5-29.

SASSOON R., NIMMO-SMITH I., WING A.M. (1989). Developing efficiency in cursive handwriting: An analysis of "t" crossing behavior in children. Dans R. Plamondon, C.Y. Suen, M.L. Simner (Eds), *Computer recognition and human production of handwriting* (p. 287-297). Singapore: World Scientific Publisher.

SCHOTT G.D. (1999). Mirror writing: Allen's self observations. Lewis Carroll's 'looking glass' letters, and Leonardo da Vinci's maps. *Lancet* Vol. 354, p. 2158-2161.

SCHOTT G.D. (2007). Mirror writing: neurological reflections on an unusual phenomenon. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry* Vol. 78, p. 5-13.

SMITS-ENGELSMAN B.C., VAN GALEN G.P. (1997). Dysgraphia in children: lasting psychomotor deficiency or transient developmental delay? *Journal of Experimental Child Psychology* Vol. 67, p. 164-184.

SMITS-ENGELSMAN B.C., NIEMEIJER A.S., VAN GALEN G.P. (2001). Fine motor deficiencies in children diagnosed as DCD based on poor grapho-motor ability. *Human Movement Science* Vol. 20, p. 161-182.

SRIMATHVEERAVALLI G., THENKURUSSI K. (2005). Motor skill training assistance using haptic attributes. *Proceedings of Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, WHC*, p. 452-457.

TEREPOCKI M., KRUK R.S., WILLOWS D.M. (2002). The incidence and nature of letter orientation errors in reading disability. *Journal of Learning Disabilities* Vol. 35, p. 214-233.

VINTER A., CHARTREL E. (2010). Effects of different types of learning on handwriting movements in young children. *Learning and Instruction* Vol. 20, p. 476-486.

VINTER A., ZESIGER P. (2007). L'écriture chez l'enfant : Apprentissage, troubles et évaluation. Dans S. Ionescu, & A. Blanchet (Eds.), *Psychologie du développement et de l'éducation* (pp 327-351). Paris, France : PUF.

VINTER A., ZESIGER P. (2008). L'activité d'écriture : acquisition, évaluation et troubles. In J. Lautrey (Ed.), *Psychologie du développement et de l'éducation*. Paris, France : IED.

VIVIANI P. (1994). Les habiletés motrices. Dans M. Richelle, J. Requin, M. Robert (Eds.), *Traité de Psychologie Expérimentale 1* (p. 778-857). Paris, France : Presses Universitaires de France.

WRIGHT C.E. (1993). Evaluating the special role of time in the control of handwriting. *Acta Psychologica* Vol. 82, p. 5-52.

ZESIGER P. (1995). *Ecrire : Approche cognitive, neuropsychologique et développementale*. Paris, France : Presses Universitaires de France.