

Apprendre à écrire

F. Bara, université de Sherbrooke, Canada
E. Gentaz, laboratoire de psychologie
et neurocognition, CNRS UMR-5105,
université Pierre Mendès-France, Grenoble 2

SCIENCES COGNITIVES

Parmi les connaissances que doivent posséder les élèves de l'école primaire, nous avons vu les problèmes que posent l'apprentissage de la lecture (avril 2003) et celui du calcul (mars 2005). Florence Bara et Edouard Gentaz nous proposent cette fois d'examiner l'écriture. L'écriture n'est pas du dessin et, dès quatre ans, les enfants différencient ces deux activités. Sa maîtrise requiert deux prérequis : dominer la planification et l'exécution de mouvements fins dans l'espace de la page, maîtriser le codage phonologique de la parole que les lettres transcrivent sur le papier. E. Gentaz a montré comment l'apprentissage sensori-moteur du geste associé au son correspondant pouvait accélérer les premières étapes de l'acquisition de la lecture (septembre 2004) ; ici les auteurs se focalisent sur le versant moteur de l'apprentissage de l'écriture et décrivent un logiciel pouvant faciliter cet apprentissage, car n'oublions pas que les troubles de l'écriture peuvent être le signe d'appel d'une dyspraxie encore ignorée. G. Dehaene-Lambertz

L'écriture est une activité complexe qui implique la gestion de plusieurs processus, plus ou moins automatisés selon le niveau de compétence du scripteur. Au début de l'apprentissage, l'enfant doit apprendre à réaliser et à contrôler des mouvements fins afin de produire les traits qui constituent les lettres. Puis, progressivement, la réalisation du geste moteur va s'automatiser et une bonne maîtrise du tracé va permettre de libérer des ressources attentionnelles et cognitives qui pourront être tournées vers les aspects orthographiques et de construction de textes. Il est d'un intérêt crucial de comprendre les mécanismes sous-jacents à l'apprentissage de l'écriture, puisque la qualité du geste moteur lors de la production de lettres va contraindre la qualité de la production des textes écrits et de l'orthographe. Apprendre à écrire consiste globalement à acquérir une représentation visuelle de la lettre, qui guide sa production, et une représentation motrice, spécifique à chaque lettre. Cette acquisition se fait lentement et pose de nombreuses difficultés aux jeunes enfants. Plusieurs années d'apprentissage sont nécessaires pour qu'ils parviennent à une certaine maîtrise de

cette habileté et la graphie de certaines lettres reste difficile à acquérir jusqu'en troisième année d'école élémentaire.

LA NÉCESSITÉ COGNITIVE DE L'APPRENTISSAGE DE L'ÉCRITURE MANUSCRITE

A l'heure où l'informatique domine la sphère de la communication et où l'ordinateur est omniprésent dans l'environnement des enfants, on peut s'interroger sur la nécessité de l'apprentissage de l'écriture manuscrite. En effet, l'utilisation du clavier pour écrire, dominante chez l'adulte, s'étend de plus en plus à l'école. Cependant, l'apprentissage de l'écriture reste une condition essentielle d'intégration sociale et culturelle, et constitue pour cette raison un apprentissage fondamental dans le parcours scolaire, qui se mène parallèlement à l'apprentissage de la lecture. L'écriture manuscrite et au clavier sont deux manières distinctes d'écrire. Alors que l'écriture manuscrite requiert d'effectuer un mouvement qui définit les contours de la lettre, l'écriture au clavier correspond à un apprentissage spatial, et il n'y a pas de lien spécifique

entre le mouvement et la forme à produire. Certains chercheurs se sont intéressés à l'intérêt cognitif de l'apprentissage de l'écriture manuscrite à l'école. Par exemple, Velay et ses collègues [1, 2] ont évalué l'effet de l'utilisation d'un clavier à la place d'un crayon lors de l'apprentissage de l'écriture en grande section de maternelle. Ils ont ainsi montré que les lettres de l'alphabet étaient mieux retenues lorsque les enfants les avaient apprises en les traçant plutôt qu'en les tapant sur un clavier d'ordinateur. Des résultats similaires ont été observés pour l'apprentissage de l'orthographe des mots [3].

LE DESSIN ET L'ÉCRITURE MANUSCRITE

Les études en neuropsychologie ont montré, à partir de cas de double dissociation observés chez des adultes, que l'écriture et le dessin, bien qu'utilisant la même « sortie motrice », faisaient appel à deux systèmes bien différenciés. En effet, alors que certains patients, suite à une lésion cérébrale, perdent la capacité d'écrire mais pas celle de dessiner, chez d'autres patients c'est l'inverse qui est observé [4, 5]. L'écriture et le dessin seraient donc contrôlés par des systèmes corticaux différents, et les adultes réussiraient les activités d'écriture en inhibant le système utilisé pour le dessin [6]. Qu'en est-il chez les enfants ?

A l'école, les enfants apprennent simultanément différents systèmes de représentation tels que le dessin, les lettres et les nombres. La confrontation des enfants au domaine graphique commence par le dessin, qui est le premier système de représentation et de communication utilisé par l'enfant. On le voit notamment par le fait que la reconnaissance du dessin précède la reconnaissance de l'écriture, et que les jeunes enfants qui sont incapables de communiquer une signification par l'écriture recourent systématiquement à des stratégies de dessin [7]. L'enfant doit apprendre à différencier deux fonctions du tracé : le dessin (en rapport avec l'image) et

l'écriture (en rapport avec les signes et le code). Même si le dessin et l'écriture sont tous deux des mouvements organisés servant à réaliser des formes porteuses d'un contenu significatif, l'enfant doit comprendre que le dessin représente les propriétés perceptives d'un objet alors que ce n'est pas le cas pour l'écriture.

L'ÂGE DE LA DIFFÉRENCIATION

Le tracé des premières lettres consiste pour l'enfant à recopier des modèles de lettres, une tâche au début plus proche du dessin que de l'écriture proprement dite. Plusieurs études ont eu pour objectif de déterminer l'âge à partir duquel les enfants comprennent que le dessin et l'écriture sont deux systèmes de notation différents. Il semblerait que les enfants, avant même d'être des scripteurs compétents, traitent l'écriture et le dessin comme des tâches séparées [8-10]. Par exemple, les enfants de trois à cinq ans sont capables de reconnaître des formes distinctes de dessin et d'écriture et essaient de reproduire ces différences dans leurs productions, notamment en écrivant les mots de façon linéaire et horizontale. Les verbalisations des enfants révèlent leur compréhension que les dessins doivent refléter les propriétés visuelles des objets représentés alors que ce n'est pas le cas pour l'écriture [11]. Gombert et Fayol [12] ont observé une évolution de l'écriture de gribouillis vers l'écriture de lettres entre trois et six ans. De trois à quatre ans, l'écriture évolue de lignes ondulantes à des suites de cercles, de pseudo-lettres et de lettres, les premières lettres utilisées par les enfants étant essentiellement celles de leur prénom. A cinq ans, les lettres produites tendent à correspondre aux caractéristiques phonologiques des phrases dictées. Noyer et Baldy [13] se sont également intéressés au développement du dessin et de l'écriture. La tâche des enfants consistait à dessiner un objet, écrire son nom ou reconnaître le mot correspondant. A trois ans, les enfants utilisent une stratégie picturale qui se caractérise par une confusion entre le contour des dessins

et le contour des lettres. De quatre à cinq ans, l'écriture évolue d'une pseudo-écriture (caractérisée par la linéarité) à l'utilisation de pseudo-lettres, de nombres et de lettres. A six ans, les enfants utilisent une stratégie phonographique qui consiste à établir une correspondance entre les lettres et les sons. Les auteurs concluent que c'est à quatre ans que se fait la différenciation entre le dessin et l'écriture, puisque les enfants sont capables de reproduire certaines caractéristiques de l'écriture comme la linéarité et l'utilisation de pseudo-lettres.

Adi-Japha et Freeman [14] ont essayé de répondre plus précisément à la question de l'âge à partir duquel un système d'écriture distinct du système de dessin émerge, en analysant les caractéristiques cinématiques du dessin et de l'écriture. Des enfants de quatre à douze ans avaient pour tâche d'écrire ou de dessiner un « o » ou un « v » sur une page contenant soit un dessin soit de l'écriture. L'intérêt de cette étude est que les mêmes symboles étaient utilisés à la fois pour la tâche de dessin et pour celle d'écriture, permettant ainsi des comparaisons plus précises. Deux conditions étaient présentées : écrire dans une page d'écriture ou dessiner dans une page contenant un dessin (condition congruente) ; écrire dans un dessin ou dessiner dans une page d'écriture (condition incongruente). Les résultats montrent que l'écriture est plus fluide et plus rapide que le dessin à six, neuf et douze ans. L'effet facilitateur du contexte sur la vitesse d'écriture et de dessin apparaît vers six ans. Une émergence graduelle d'un avantage de l'écriture sur le dessin, en terme de vitesse (traitement plus automatique de l'écriture) apparaît également vers six ans. Cette supériorité de l'écriture sur le dessin en termes de vitesse et cet effet facilitateur du contexte congruent ne sont pas observés chez les jeunes enfants de quatre ans. Les auteurs suggèrent que des dispositifs graphiques différents devraient être utilisés pour le dessin et l'écriture afin de faciliter le développement d'une production automatique de l'écriture.

En effet, un contexte de dessin activerait la voie du dessin et interférerait avec les plans d'actions élaborés pour écrire.

En conclusion, le dessin va fortement influencer l'écriture au début de l'apprentissage, puis les deux systèmes se différencieront jusqu'à ce que l'activation d'un des deux inhibe l'autre. Ce serait à partir de six ans qu'une voie spécifique pour l'écriture émergerait de celle du dessin.

DES INTERACTIONS VERTUEUSES

L'influence entre l'écriture et le dessin peut s'observer à travers les règles de production motrice, qui décrivent des constances dans la manière de tracer les traits chez les enfants et les adultes [15]. Ainsi, pour dessiner des figures géométriques, les enfants commencent à un âge donné par le même point et procèdent dans la même direction. Les explications concernant l'organisation de ces règles sont multiples, elles seraient liées à des contraintes biomécaniques (ex. : commencer le trait vertical par le haut serait la conséquence d'une plus grande facilité pour effectuer ce type de mouvement), à des aspects cognitifs en lien avec la signification attribuée au dessin, à une économie de programmation (ex. : pour tracer deux parallèles, les deux traits sont effectués dans le même sens), ainsi qu'à la pratique des activités de lecture et d'écriture (qui implique la direction gauche-droite et la rotation antihoraire dans l'alphabet latin). Ces règles dépendraient également de caractéristiques propres au sujet (droitier ou gaucher) et de caractéristiques liées à la forme à produire, qui imposerait certaines contraintes motrices. Pour écrire leurs premières lettres, les enfants utilisent en général les mêmes règles de production motrice que celles qu'ils utilisent pour dessiner. Puis, l'apprentissage de l'écriture va provoquer des changements dans ces règles. Par exemple, on constate que les jeunes enfants dessinent les cercles dans le sens des aiguilles d'une montre, alors que les enfants plus âgés préfèrent le sens inverse [16]. Ce changement dans l'ordre

préférentiel du tracé serait la conséquence de l'apprentissage de l'écriture. En effet, contrairement aux langues qui utilisent l'alphabet latin, aucun changement n'est observé dans le sens du tracé des cercles chez les enfants qui apprennent à écrire en hébreu (de droite à gauche) [17]. Le sens de rotation de l'écriture des lettres cursives, qui se fait dans le sens antihoraire, 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 [18]. Cette compétence serait un prérequis pour l'acquisition de l'écriture. Dans le même sens, Meulenbroek et van Galen [19] montrent que les enfants de la première à la troisième année d'école élémentaire copient des traces dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens inverse plus rapidement que des traces alternant le sens de rotation. Les mêmes résultats ont été observés pour l'écriture de mots. Le changement dans certaines de ces règles (changement du sens de rotation préférentiel des cercles), nécessaire pour la production motrice de l'écriture, est une acquisition difficile pour le jeune enfant, et nécessite une pratique intensive des activités d'écriture.

L'AUTOMATISATION ET LA PERSONNALISATION DE L'ÉCRITURE MANUSCRITE

L'écriture est principalement un moyen de communication, dont le but est que l'information soit facilement déchiffrée par le lecteur. De ce fait, sa qualité peut être évaluée en fonction de la rapidité et de la précision des informations transmises. Au fur et à mesure de l'apprentissage, des différences aussi bien quantitatives (vitesse) que qualitatives (lisibilité) vont apparaître [20, 21]. L'émergence de ces différences s'explique non seulement par l'apprentissage en classe mais également par la ma-

turation du système moteur qui permet à l'enfant d'exécuter les gestes fins requis pour former les lettres. Selon la méthode utilisée pour préparer l'apprentissage de l'écriture, les enfants vont progresser plus ou moins rapidement, les différents types d'entraînement n'ayant pas la même efficacité (voir encadré).

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 (durée, vitesse, nombre et durée des pauses, dysfluence, qui correspond au nombre d'accélération et de décélération dans le mouvement) de l'écriture. Au début de l'apprentissage, l'attention des enfants est entièrement orientée vers le tracé des lettres dont il apprend la forme. L'accent est mis sur la maîtrise de la forme et sur le respect du modèle proposé. Les lettres sont tracées une à une, souvent même trait par trait. Les lettres sont en général de grande taille et on observe des cassures dans les traits et des tremblements. Le corps entier est engagé dans le mouvement (l'enfant balance le tronc, il a la tête inclinée sur la feuille...). Entre sept et neuf ans, on observe une progression globale des différents indices statiques et dynamiques, avec une diminution progressive de la taille du tracé, de la dysfluence, de la durée de réalisation de la trace, et du nombre et de la durée des pauses. La variabilité des productions pour un même enfant tend également à diminuer. L'intérêt pour le mot remplace celui pour la lettre. L'enfant devient capable de coordonner le mouvement des doigts pour l'inscription des lettres et le déplacement du bras pour la progression sur la ligne. Entre neuf et dix ans, la durée, la dysfluence et le nombre de pauses continuent de diminuer. On observe une forte augmentation de la vitesse, qui engendre un déclin temporaire de la précision et donc de la qualité de la trace produite. Cette stagnation dans la qualité de l'écriture s'expliquerait par les priorités de l'instruction (diminution de l'intérêt pour la réalisation graphique), l'exigence de vitesse et une re-

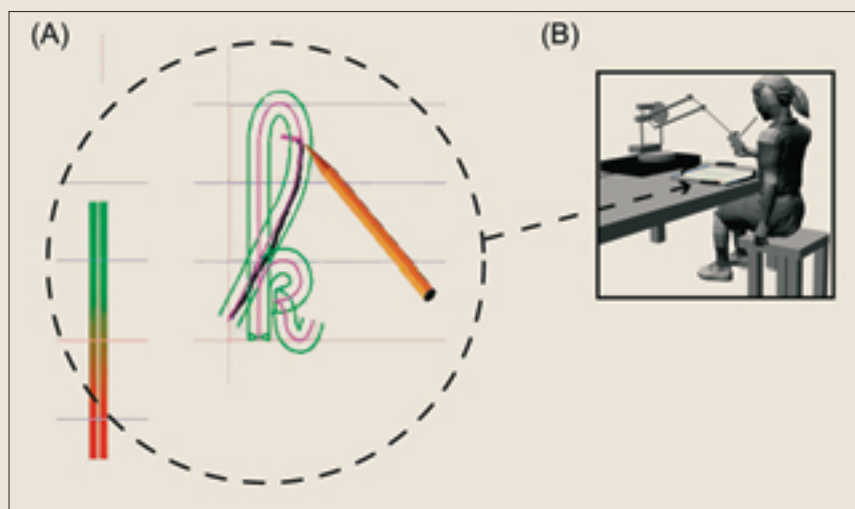
COMMENT AMÉLIORER L'APPRENTISSAGE DE L'ÉCRITURE

Le début de l'apprentissage de l'écriture consiste globalement pour l'enfant à construire la représentation visuelle de la lettre, qui va permettre de guider la production motrice, et à apprendre à maîtriser le geste moteur. Les entraînements ont pour objectif d'améliorer à la fois la représentation visuelle de la lettre et sa représentation motrice. La capacité des enfants à percevoir précisément la forme des lettres est un facteur important pour le développement de la qualité de l'écriture, puisque le traitement commencerait par la perception et le stockage en mémoire de la forme des lettres. La qualité de la formation des lettres serait donc liée à la qualité des références en mémoire pour le système moteur. La présentation visuelle de la lettre associée à l'explication verbale ou écrite (flèches numérotées) sur la manière de former chacun des traits qui la constituent semble être le moyen le plus efficace d'améliorer la représentation perceptive de la lettre en mémoire [29].

Pour améliorer la réalisation du geste moteur, les exercices de pré-écriture, qui consistent à tracer des boucles et des arcades (constituants de base des lettres) semblent produire des résultats efficaces [30]. Certaines recherches soulignent le rôle actif que doit avoir l'enfant dans l'apprentissage. Les entraînements qui sollicitent une réflexion de l'enfant sur la qualité des traces qu'il produit entraînent une amélioration de la qualité de l'écriture [31]. Il est intéressant de noter que les entraînements qui permettent d'améliorer la qualité et la vitesse du tracé de lettres améliorent également la production de textes.

Nous avons élaboré une interface, avec une équipe de France Télécom Recherche et Développement, appelée « Télémaque », qui utilise un bras robot à retour d'effort (Phantom 1.5) permettant de tracer les lettres avec un stylet (figure). Ce bras robot peut guider le stylet et ainsi contrôler non seulement la forme mais également la dynamique du mouvement d'écriture [32]. Cette interface permet d'apprendre aux enfants à reproduire une lettre selon un standard qui n'est pas seulement statique (forme correcte) mais aussi dynamique (règles de production motrice).

Trois exercices ludiques utilisant l'interface ont ainsi été élaborés : le jeu du circuit, dans lequel l'enfant doit reproduire la lettre en restant à l'intérieur d'un rail plus ou moins large ; le tracé dynamique, dans lequel le bras robot guide le stylet selon des mouvements dynamiques et spatiaux « idéaux » correspondant aux contours de la lettre ; la reconnaissance proprioceptive des lettres sans feedback visuel. Ce programme a pour objectif d'améliorer non seulement la perception visuelle de la lettre mais aussi l'acte moteur qui doit être produit pour écrire la lettre. Les effets d'un entraînement utilisant cette interface sur le tracé des lettres ont été évalués auprès de 22 enfants de première année de primaire et ont été comparés à un entraînement similaire (groupe contrôle) mais n'utilisant pas l'interface [33]. Les résultats montrent que le temps de



mouvement et le nombre de pics de vitesse lors du tracé des quatre lettres cursives (b, f, k, s) diminuent davantage après l'entraînement avec Télémaque qu'après l'entraînement contrôle. Ces résultats ont été confirmés dans une seconde étude menée auprès de 42 enfants scolarisés en grande section de maternelle qui débutent dans le tracé de lettres cursives [34]. Six lettres cursives (a, b, f, i, l, s) ont été entraînées dans cette étude. Après l'entraînement avec Télémaque, les enfants sont plus rapides et lèvent moins leur crayon pour tracer les six lettres qu'après l'entraînement contrôle. Dans l'ensemble, l'ajout de Télémaque dans les entraînements de préparation à l'écriture semble améliorer la fluidité des gestes moteurs dans le tracé des lettres. Télémaque faciliterait l'incorporation des lois de productions motrices en aidant les enfants à passer d'une stratégie de contrôle rétroactif à une stratégie de contrôle proactif.

cherche de l'efficacité dans l'écriture. Cette recherche de vitesse se traduirait par la personnalisation de l'écriture, et, en effet, les enfants qui utilisent un style mixte, cursive et script, écrivent plus vite que ceux qui utilisent uniquement l'écriture cursive ou script [22]. A partir de dix ans, les changements observés sont mineurs et l'écriture continue de s'automatiser. Seul l'avant-bras est à présent engagé dans l'activité d'écriture,

l'épaule et le bras ne sont alors plus mobilisés. L'évolution de l'écriture est aussi dépendante du genre, avec une certaine avance chez les filles. En effet, elles obtiennent en général de meilleures performances que les garçons, dans les mesures de qualité du tracé et de composition de textes [23]. Cet avantage des filles sur les garçons a été mis en lien avec des facteurs biologiques et environnementaux ; les filles

seraient en avance dans le développement de la coordination motrice fine, et les stéréotypes culturels pourraient affecter la qualité de l'écriture puisque les filles sont censées être plus soigneuses et appliquées que les garçons [24, 25]. Quoi qu'il en soit de cet effet du genre, comment expliquer les changements dans les aspects statiques et dynamiques de l'écriture observés lors des premières années d'apprentissage ?

Ces évolutions pourraient être la conséquence du passage d'une stratégie de contrôle rétroactif (basé sur les feedback sensoriels) à une stratégie de contrôle proactif (basé sur une représentation interne du programme moteur). Au début de l'apprentissage, les enfants utilisent, au cours du tracé de la lettre, les feedback sensoriels (visuels et kinesthésiques) issus de leurs propres mouvements (qui doivent être nécessairement lents, pour que les informations sensorielles puissent être recueillies et utilisées). Les différentes sources d'informations sensorielles pourraient être utilisées pour l'élaboration des programmes moteurs. Globalement, on constate que l'absence de feedback visuel a des effets plus importants chez les jeunes enfants que chez les enfants plus âgés et les adultes et entraîne une augmentation de la durée du tracé et de la dysfluence [26]. En l'absence de feedback visuel, les enfants auraient tendance à essayer de maximiser les informations kinesthésiques en augmentant la taille des lettres produites. Avec l'ap-

prentissage et l'automatisation, un mode de contrôle proactif des mouvements deviendra dominant. Ainsi, les enfants n'auront plus besoin de feedback sensoriels pour tracer une lettre, car ils pourront se baser sur un « programme moteur » comprenant des commandes motrices centrales nécessaires et suffisantes pour la tracer correctement et rapidement. La production de la trace est rapide, ce qui ne laisse plus le temps au système de traiter les informations sensorielles et de les utiliser pour contrôler le déroulement de l'écriture.

La taille de l'unité de base du programme moteur évoluerait également au cours de l'apprentissage de l'écriture. Chez les élèves de première année de primaire, on observe un changement dans la taille des unités transcrites sans recours au modèle (empan de transcription) au cours de l'année scolaire [27]. En début d'année, les élèves recopient des morceaux de lettre, 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 une augmentation de la taille des unités contenues dans le programme moteur [28]. Les enfants les plus jeunes effectueraient des petits traits successifs aboutissant à la formation d'une lettre. La taille de ces traits deviendrait de plus en plus importante et atteindrait le format d'une lettre.

En conclusion, la qualité et la vitesse d'écriture augmentent graduellement avec l'âge, avec cependant un déclin dans la qualité de l'écriture à partir de la troisième année de primaire. L'acquisition de l'écriture se traduit par l'élaboration de programmes moteurs de plus en plus sophistiqués, par une progression d'un contrôle rétroactif des mouvements d'écriture vers un contrôle proactif et par une augmentation de la taille de l'unité de base du programme moteur. □

Remerciements : ce travail a bénéficié du soutien du ministère de la Recherche (Ecole et Sciences Cognitives), du CNRS, de l'université Pierre Mendès-France et de France Télécom Recherche & Développement.

Références

- [1] LONGCAMP M., ZERBATO-POUDOU M.T., VELAY J.L. : « The influence of writing practice on letter recognition in preschool children : A comparison between handwriting and typing », *Acta Psychol.*, 2005 ; 119 : 67-69.
- [2] VELAY J.L., LONGCAMP M., ZERBATO-POUDOU M.T. : « De la plume au clavier : est-il toujours utile d'enseigner l'écriture manuscrite ? », in GENTAZ E., DESSUS P. : *Comprendre les apprentissages*, 2004, Dunod, Paris : p. 69-84.
- [3] CUNNINGHAM A.E., STANOVICH K. : « Early spelling acquisition : Writing beats the computer », *J. Educ. Psychol.*, 1990 ; 82 : 159-62.
- [4] SILVERI M.C. : « Peripheral aspects of writing can be differentially affected by sensorial and attentional defect : Evidence from a patient with afferent dysgraphia and case dissociation », *Cortex*, 1996 ; 32 : 155-72.
- [5] ANDERSON S.W., DAMASIO A.R., DAMASIO H. : « Troubled letters but not numbers. Domain specific cognitive impairments following focal damage in frontal cortex », *Brain*, 1990 ; 113 : 749-66.
- [6] ZESIGER P., MARTORY M.D., MAYER E. : « Writing without graphic motor patterns : A case of dysgraphia for letters and digit sparing shorthand writing », *Cogn. Neuropsychol.*, 1997 ; 14 : 743-63.
- [7] LEVIN I., BUS A.G. : « How is emergent writing based on drawing ? Analyses of children's products and their sorting by children and mothers », *Dev. Psychol.*, 2003 ; 39 : 891-905.
- [8] LAVINE L.O. : « Differentiation of letterlike forms in prereading children », *Dev. Psychol.*, 1977 ; 13 : 89-94.
- [9] GOODNOW J.J. : « Cognitive and other factors in reading and writing with words and pictures », in FISHER D., WROLSTAD M. : *Toward a new understanding of literacy*, 1986, Praeger Publishers, New York.
- [10] KARMILOFF-SMITH A. : *Beyond modularity : A developmental perspective in cognitive science*, 1992, MIT Press, Cambridge, MA.
- [11] BRENNEMAN K. et al. : « Young children's plans differ for writing and drawing », *Cogn. Dev.*, 1996 ; 11 : 397-419.
- [12] GOMBERT J.E., FAYOL M. : « Writing in preliterate children », *Learning and Instruction*, 1992 ; 2 : 23-41.
- [13] Noyer M., Baldy R. : « Du dessin à la lecture et à l'écriture », *Psychologie et Education*, 2002 ; 49 : 73-88.
- [14] ADI-JAPHA E., FREEMAN N.F. : « Development of differentiation between writing and drawing systems », *Dev. Psychol.*, 2001 ; 37 : 101-14.
- [15] GOODNOW J.J., LEVINE R.A. : « "The grammar of action" : Sequence and syntax in children's copying », *Cogn. Psychol.*, 1973 ; 4 : 82-98.
- [16] MEULENBROEK R.G., VINTER A., MOUNOUD P. : « Development of the start-rotation principle in circle production », *Br. J. Dev. Psychol.*, 1993 ; 11 : 307-20.
- [17] GOODNOW J.J. et al. : « Direction and sequence in copying : The effect of learning to write in English and Hebrew », *J. Cross Cult. Psychol.*, 1973 ; 4 : 263-82.
- [18] LURÇAT L. : *Etudes de l'acte graphique*, 1974, Mouton, Paris.
- [19] MEULENBROEK R.G., VAN GALEN G. : « Movement analysis of repetitive writing behavior of first, second and third grade primary school children », in KAO H., VAN GALEN G., HOOSAIN R. : *Graphonomics : Contemporary Research in Handwriting*, 1986, Elsevier Science, North-Holland : p. 199-211.
- [20] BLÔTE A.W., HAMSTRA-BLETZ L. : « A longitudinal study on the structure of handwriting », *Percept. Mot. Skills*, 1991 ; 72 : 983-94.
- [21] HAMSTRA-BLETZ L., BLÔTE A.W. : « Development of handwriting in primary school : A longitudinal study », *Percept. Mot. Skills*, 1990 ; 70 : 759-70.
- [22] GRAHAM, S., BERNINGER V.W., WEINTRAUB N. : « The relationships between handwriting style and speed and legibility », *J. Educ. Res.*, 1998 ; 5 : 290-6.
- [23] BERNINGER V.W., FULLER F. : « Gender differences in orthographic, verbal and compositional fluency : Implications for diagnosis of writing disabilities in primary grade children », *J. Sch. Psychol.*, 1992 ; 30 : 363-82.
- [24] KIMURA D. : *Sex and Cognition*, 1999, MIT Press, Cambridge, MA.
- [25] SPEAR M. : « Differences between the written work of boys and girls », *Br. Educ. Res. J.*, 1989 ; 15 : 271-7.
- [26] CHARTREL E., VINTER A. : « Rôle des informations visuelles dans la production de lettres cursives chez l'enfant et l'adulte », *L'Année Psychologique*, 2006 ; 1 : 43-64.
- [27] PRÉTEUR Y., TELLERIA-JAUREGUI B. : « L'empan de copie comme un des indicateurs de l'acquisition de la langue écrite chez les enfants de 5-8 ans », *Psychologie Scolaire*, 1986 ; 56 : 5-29.
- [28] ZESIGER P. : *Ecrire : approche cognitive, neuropsychologique et développementale*, 1995, PUF, Paris.
- [29] BERNINGER V.W. et al. : « Treatment of handwriting problems in beginning writers : Transfert from handwriting to composition », *J. Educ. Res.*, 1997 ; 89 : 652-66.
- [30] SMITS-ENGELSMAN B.C., NIEMEIJER A.S., VAN GALEN G.P. : « Fine motor deficiencies in children diagnosed as DCD based on poor grapho-motor ability », *Hum. Mov. Sci.*, 2001 ; 20 : 161-82.
- [31] JONGMANS M.J. et al. : « Use of a task-oriented self-instruction method to support children in primary school with poor handwriting quality and speed », *Hum. Mov. Sci.*, 2003 ; 22 : 549-66.
- [32] HENNION B. et al. : « Telemaque, a new visuo-haptic interface for remediation of dysgraphic children », *IEEE : WorldHaptics*, 2005 ; 410-9.
- [33] PALLUEL-GERMAIN R. et al. : « Early handwriting acquisition : Evaluation of Telemaque, a new visuo-haptic interface », *Proceedings of EuroHaptics*, 2006 ; 222-6.
- [34] PALLUEL-GERMAIN R. et al. : « A visuo-haptic device, Telemaque, increases the kindergarten children handwriting acquisition », *IEEE World Haptics*, 2007 ; 72-77.