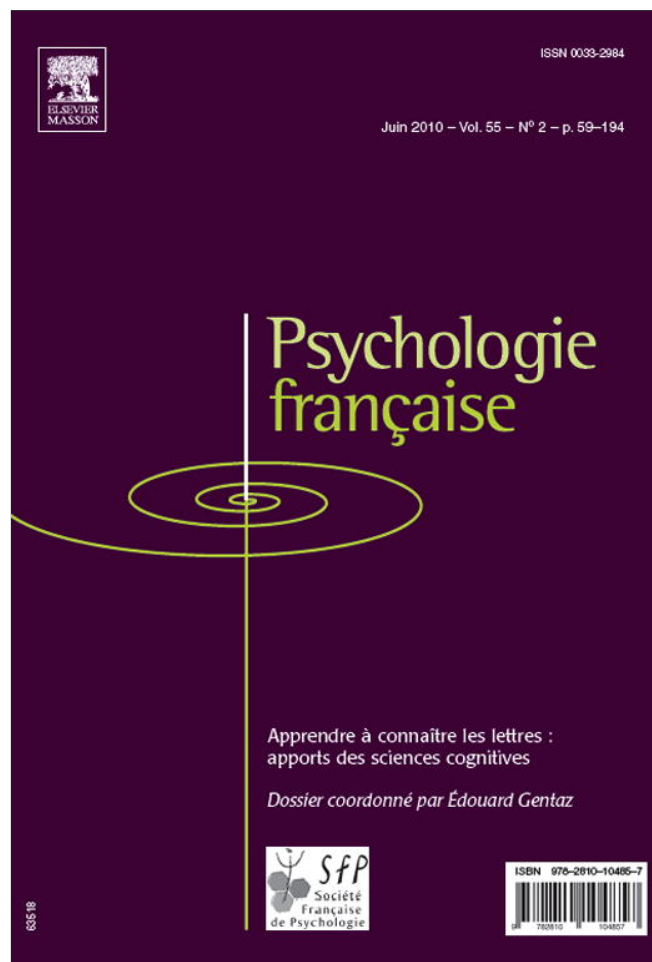


Provided for non-commercial research and education use.
Not for reproduction, distribution or commercial use.



This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/copyright>



ELSEVIER
MASSON

Disponible en ligne sur www.sciencedirect.com



Psychologie française 55 (2010) 145–170

Psychologie
française

www.em-consulte.com

Article original

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

Comparative analysis of cursive letters handwriting of a first-grade child presenting a developmental coordination disorder with those of ordinary pre-school and first-grade children

C. Jolly^{a,1,*}, C. Huron^{b,2}, J.-M. Albaret^{c,3}, É. Gentaz^{a,4}

^a CNRS UMR 5105, laboratoire de psychologie et neurocognition, université Pierre-Mendès-France, BP 47, 38040 Grenoble cedex 9, France

^b CR Inserm, Inserm U562, CEA, NeuroSpin, Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette cedex, France

^c EA 3691, université de Toulouse, 31062 Toulouse, France

Reçu le 7 décembre 2009 ; accepté le 16 mars 2010

Résumé

Nous présentons ici une comparaison détaillée du tracé de lettres cursives d'une enfant de CP présentant un trouble d'acquisition de la coordination (TAC) avec ceux d'enfants de grande section de maternelle et de CP. À partir de deux tâches (copie et dictée), la qualité de chaque lettre a été estimée par une note subjective et plusieurs paramètres permettant d'évaluer la fluidité des tracés ont été calculés. Nous montrons que l'enfant TAC trace des lettres significativement différentes de celles d'enfants de CP, tant par leur qualité que par la fluidité de leurs tracés, principalement dans la tâche de dictée qui nécessite une représentation mentale

* Auteur correspondant.

Adresses e-mail : caroline.jolly@upmf-grenoble.fr (C. Jolly), edouard.gentaz@upmf-grenoble.fr (É. Gentaz).

¹ Thème de recherche : apprentissages, écriture, biologie.

² Thème de recherche : apprentissages, troubles des acquisitions, schizophrénie.

³ Thème de recherche : troubles d'acquisition de la coordination, écriture normale et pathologique.

⁴ Thème de recherche : apprentissages multisensorielles, lecture, écriture.

de la lettre. Les paramètres les plus discriminatifs entre enfant TAC et enfants de CP sont la longueur et la vitesse.

© 2010 Société française de psychologie. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Écriture ; Dictée ; Copie ; Dysgraphie

Abstract

We provide here a detailed comparison of the cursive letters drawn by a first-grade child presenting a developmental coordination disorder (DCD), with those of first-grade children and pre-school children. On the basis of two distinct tasks (copy and dictation of six cursive letters), we estimated the quality of each letter by a quote and measured different parameters to evaluate writing fluidity. We show that for both tasks, the letters of the DCD child are significantly different from those of children of her age, in particular for the dictation task, which requires a mental representation of the letter. The more discriminative parameters between the tracks of the DCD child and those of children of her age are length and speed.

© 2010 Société française de psychologie. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Handwriting; Dictation; Copy; Dysgraphia

1. Introduction

L'écriture est une activité complexe qui fait appel à des compétences perceptivomotrices, cognitives et linguistiques dont la maîtrise n'est effective qu'après de nombreuses années (Bara et Gentaz, 2007, 2010 ; Blöte et Hamstra-Bletz, 1991 ; Viviani, 1994). Le début de l'apprentissage de l'écriture consiste 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. Cet apprentissage est d'autant plus difficile pour les jeunes enfants que ces derniers doivent apprendre à maîtriser les trois formes de tracés (capitale, script et cursive) pour chaque lettre. Au fur et à mesure de l'apprentissage, le tracé s'automatise, permettant ainsi de libérer des ressources attentionnelles qui pourront être utilisées pour d'autres tâches, comme par exemple l'élaboration du contenu des textes rédigés. Cette acquisition, qui débute en maternelle, s'effectue progressivement et lentement et pose de nombreux défis aux jeunes enfants. Le but de l'enseignement de l'écriture est d'apprendre aux enfants comment reproduire les lettres d'après un modèle et de les aider par un entraînement approprié à automatiser le geste d'écriture sans avoir recours à un modèle. Le tracé des premières lettres consiste en des exercices de copie, une tâche proche du dessin. Au fur et à mesure de l'apprentissage, la différenciation entre dessin et écriture se met en place progressivement (Noyer et Baldy, 2002), et les tracés des élèves évoluent tant sur la plan qualitatif (forme des lettres, lisibilité) que sur le plan quantitatif (vitesse).

Même avec un entraînement approprié, certains enfants n'arrivent pas à acquérir cette capacité à écrire. Le terme de dysgraphie est utilisé pour caractériser des enfants qui ont des difficultés pour produire un tracé lisible (Hamstra-Bletz et Blöte, 1993). La dysgraphie regroupe des manifestations hétérogènes allant de la déformation du tracé des lettres jusqu'à une incapacité totale d'écrire. La dysgraphie peut être retrouvée en lien avec différents troubles du développement comme la dyslexie (Nicolson et Fawcett, 2009), le trouble déficit de l'attention/hyperactivité (Adi-Japha et al., 2007), mais elle est surtout considérée comme une forme de trouble d'acquisition de la coordination (TAC) touchant une praxie particulière, l'écriture (Geuze, 2005 ; Miller et al., 2001 ; Smits-Engelsman et al., 2001 ; Smits-Engelsman et van Galen, 1997).

Les praxies réfèrent à la coordination volontaire des mouvements orientés vers un but. Leur développement se fait progressivement chez l'enfant, en étroite relation avec le développement des fonctions cognitives. Le TAC, dont les dyspraxies de développement sont un sous-ensemble, est une altération du développement et de l'apprentissage de ces habiletés motrices et de leur mise en œuvre qui se manifeste par des retards dans les principales étapes du développement psychomoteur, de la maladresse dans les gestes de la vie quotidienne et dans les activités sportives (Albaret, 2005, 2007 ; APA, 2000). Du fait de cette mauvaise coordination motrice, les enfants atteints d'un TAC se trouvent rapidement en difficulté dans les tâches scolaires. L'acquisition de l'écriture « cursive » pose en particulier des problèmes chez ces enfants qui n'arrivent pas à automatiser les gestes moteurs. Chaque tracé de lettre est dès lors réalisé par une succession de mouvements séquentiels impliquant un contrôle volontaire très coûteux sur le plan attentionnel. Par ailleurs, le TAC se manifeste malgré un quotient intellectuel normal et en l'absence de problèmes sensoriels ou neurologiques. On estime qu'il toucherait 5 à 8 % des enfants d'âge scolaire, avec une incidence plus élevée chez les garçons que chez les filles (APA, 2000 ; Mæland, 1992 ; Wright et Sugden, 1996).

Différents mécanismes neuropsychologiques interviennent dans le développement normal de la motricité intentionnelle et des praxies, mécanismes qui vont être perturbés dans le TAC. Cependant, les soubassements neuroanatomiques de ce trouble développemental ne sont pas clairs (Ahonen et al., 2004 ; Zwicker et al., 2009). La présence de « signes doux » de nature cérébelleuse ou liés au ganglion de la base est signalée ainsi que de probables signes d'immaturation des régions pariétales droites (Ivry, 2003 ; Lewis et al., 2008 ; Nicolson et Fawcett, 2009 ; Visser, 2003 ; Volman et Geuze, 1998 ; Wilson et al., 2003), sans oublier le réseau cérébral attentionnel (Querne et al., 2008 ; Wilmot et al., 2007). Des anomalies cérébrales non spécifiques ont été mises en évidence à l'aide du scanner cérébral (dilatation ventriculaire, atrophie corticale ou démyélinisation) ou de l'EEG (Knuckey et al., 1983), une plus grande « cohérence » entre régions fronto-centrales est également retrouvée chez les jeunes enfants TAC (De Castelnau et al., 2008).

Comme la plupart des troubles du développement, les TAC seraient en fait la résultante de plusieurs facteurs causaux et différents modèles théoriques tentent d'en fournir un cadre explicatif (Sugden, 2007). Le modèle biopsychosocial met en avant une conjonction de facteurs biologiques (hérédité, environnement anté-, péri-, ou néonatal), motivationnels et sociaux (environnement familial, absence de stimulation). Ce point de vue est proche de celui du modèle dynamique de la motricité qui considère le trouble comme la résultante de contraintes appliquées à l'ensemble individu–environnement–tâche et rend compte d'une plus grande variabilité des performances chez l'enfant TAC (Wade et al., 2005). Le modèle cognitif computo-symbolique de la motricité, de son côté, met en avant des anomalies associées aux différentes étapes du traitement de l'information : perception (traitement visuel), sélection et programmation (déficit de modélisation interne du geste par exemple) et exécution contrôlée (déficit au niveau du contrôle de la force musculaire par exemple). Dès 1972, Ayres proposait que la dyspraxie de développement soit liée à une mauvaise intégration sensorielle, interférant avec l'habileté à planifier et exécuter des mouvements nouveaux ou inhabituels. Mazeau (1995) suggère qu'il s'agirait d'un trouble de la réalisation du geste consécutif à l'impossibilité d'automatiser et d'intégrer au niveau cérébral les différents constituants du geste volontaire. Enfin, Dewey (1995) défend l'idée que le trouble serait lié non pas à des difficultés motrices, mais à une perturbation conceptuelle dans la représentation abstraite du geste à exécuter. Des recherches théoriques complémentaires sont donc indispensables pour discuter ces approches théoriques.

À l'heure actuelle, l'évaluation du TAC et de la dysgraphie se fait à l'aide d'un ensemble de tests qui mesurent différentes capacités psychomotrices comme la batterie d'évaluation des

mouvements chez l'enfant (M-ABC), l'écriture avec l'échelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant (BHK) et les praxies gestuelles et visuoconstructives (Albaret et de Castelnau, 2007). Plusieurs études ont permis de fournir une description relativement détaillée de l'écriture des enfants présentant une dysgraphie. L'écriture de ces enfants se caractérise par de la lenteur à l'inscription, des déplacements superflus de l'instrument scripteur, une irrégularité de la pression sur la feuille, une diminution de la lisibilité, une mauvaise organisation spatiale, une plus grande variabilité temporelle et spatiale de la formation des lettres et un plus grand nombre de lettres altérées, ambiguës ou retouchées que celle des enfants ordinaires du même âge (Graham et al., 2006 ; Rosenblum et al., 2003). Les études sur les caractéristiques de l'écriture des enfants TAC sont en nombre réduit (Rosenblum et Livneh-Zirinski, 2008 ; Smits-Engelsman et van Galen, 1997). L'étude de Rosenblum et Livneh-Zirinski (2008) porte sur 20 enfants TAC, âgés de sept à dix ans, appariés à 20 enfants ordinaires et recueillis, à l'aide d'une tablette graphique, les mesures orientées aussi bien sur les processus que sur le produit final de l'écriture du nom et d'une partie du *hebrew handwriting evaluation* (HHE) (Erez et al., 1999) : écriture des lettres de l'alphabet, copie de phrases. Les processus sont mesurés par des aspects temporels avec la durée sur le papier et en l'air, et des aspects spatiaux avec la hauteur et largeur des traits, inclinaison du stylo, pression. Le produit final est mesuré par plusieurs critères : lisibilité, lettres effacées ou repassées, lettres méconnaissables, nombre de lettres écrites au cours de la première minute, agencement spatial. Au-delà de la variabilité interindividuelle importante relevée pour l'ensemble des groupes, les résultats montrent, chez les enfants TAC, une augmentation significative des durées sur le papier et en l'air pour les copies de lettres et de phrases, une diminution de la pression pour la copie de phrases et l'écriture du nom ainsi qu'une plus grande variabilité des différentes mesures. Concernant les mesures sur le produit final, le nombre de lettres est moindre chez les sujets TAC, de même que la lisibilité globale et l'agencement spatial, et le nombre de lettres effacées ou repassées est plus important. En revanche, il n'y a pas de différence pour l'inclinaison de l'instrument scripteur, ni pour les aspects spatiaux des traits. Pour la copie des phrases, les variables les plus discriminatives entre les deux groupes sont, par ordre d'importance, les lettres effacées ou repassées, la lisibilité globale, la pression, l'inclinaison du stylo, l'arrangement spatial et le nombre de lettres au cours de la première minute.

Le travail que nous présentons ici se situe dans une perspective similaire. Nous avons réalisé une analyse comparative des tracés de lettres cursives d'une enfant atteinte d'un TAC et scolarisée en CP (enfant M.) par rapport à ceux d'un groupe d'enfants de grande section de maternelle (GSM) et d'un groupe d'enfants de CP. Deux types d'exercices ont été réalisés : une copie de six lettres cursives à partir d'un modèle et une dictée des mêmes lettres, sans modèle. À l'aide d'une tablette graphique, plusieurs paramètres quantitatifs ont été mesurés afin d'évaluer la fluidité des tracés pour chaque lettre dans les deux tâches. La qualité du tracé de chaque lettre a également été évaluée par l'attribution d'une note subjective par deux juges.

Nous avons donc comparé les notes ainsi que les valeurs obtenues par l'enfant TAC pour chaque paramètre et pour chacune des deux tâches avec les moyennes obtenues par les enfants des deux groupes témoins de GSM et de CP. Cette analyse devrait nous permettre de déterminer si les résultats de l'enfant TAC pour une lettre donnée et pour chaque tâche se rapprochent plutôt de ceux d'enfants de GSM ou de CP, et de déterminer quels paramètres de l'écriture sont discriminatifs. Concernant les tâches, si l'enfant TAC a des difficultés à mobiliser la représentation interne centrale de la lettre associée à son tracé, nous devrions observer des lettres de moins bonne qualité et une fluidité moindre dans les tracés de M. dans la tâche de dictée (sans modèle) par rapport à la tâche de copie (présence d'un modèle).

2. Méthode

2.1. Participants

2.1.1. Groupes témoins

Cinquante-cinq enfants (dont 22 filles) scolarisés dans deux classes de GSM (âge moyen : cinq ans et six mois, de cinq ans et cinq mois à cinq ans et 11 mois) et de 60 enfants (dont 29 filles) issus de trois classes de cours préparatoire de primaire (CP) (âge moyen : six ans et huit mois, de six ans et deux mois à sept ans et quatre mois) ont participé à cette expérience en milieu de leur année scolaire. Aucun des enfants ne présentait de trouble avéré connu des apprentissages.

2.1.2. *Enfant M. atteint d'un TAC : anamnèse et diagnostic*

M. est une petite fille scolarisée en CP et âgée de six ans et sept mois au moment de la passation des tests. Elle est suivie depuis deux ans pour un TAC (DSM-IV). M. est née suite à une grossesse sans particularité et un accouchement déclenché à terme. Sa petite enfance s'est déroulée normalement. Les difficultés ont commencé lors du passage en petite section de maternelle à l'âge de trois ans. Au bout de trois mois, les enseignantes alertent les parents sur le comportement de leur fille (refus de participer, de parler, intégration difficile, expression orale par cris, énurésie secondaire). Une consultation avec un pédopsychiatre ne révèle pas d'anomalies évidentes. En moyenne section, M. rentre dans un jardin d'enfants municipal. Au bout de quelques mois, l'éducatrice de jeunes enfants manifeste son inquiétude. Les productions graphiques de M. ne sont pas celles d'une enfant de quatre ans : M. est incapable de dessiner un bonhomme. Les comportements d'opposition se multiplient, les parents notent une anxiété importante de leur fille avec cauchemars et énurésie, anxiété qui disparaît pendant les périodes de vacances. Un bilan est alors réalisé à l'hôpital de jour de pédopsychiatrie de Robert-Debré, et met en évidence des difficultés graphiques et praxiques chez une enfant vive, de très bon contact et présentant un très bon niveau d'acquisition dans les autres domaines. Des comportements d'évitement des activités graphiques sont notés ainsi qu'une anxiété associée à un sentiment d'échec important. Un diagnostic de trouble psychomoteur sévère pouvant faire évoquer une dyspraxie de développement avec anxiété sociale associée est posé. Une prise en charge en ergothérapie une fois par semaine est mise en place. La dernière année de maternelle de M. est difficile malgré les interventions de l'ergothérapeute à l'école. L'écriture et les activités graphiques constituent une part importante du temps scolaire, mettant M. irrémédiablement en échec. À la maison, elle s'entraîne seule inlassablement à écrire. Au bout de périodes de quatre semaines d'affilée d'école, elle paraît épuisée. La prise en charge en ergothérapie a permis d'améliorer la qualité des productions graphiques mais celles-ci ne correspondent pas au niveau d'une enfant de cet âge. Par ailleurs, les difficultés de M. deviennent plus évidentes sur d'autres plans : elle ne peut pas s'habiller seule, a des difficultés à gérer ses trajectoires dans l'espace et continue à manger à la petite cuillère. Un second bilan psychomoteur confirme la dyspraxie développementale. Le test du BHK (Hamstra-Bletz et al., 1987 ; adaptation française de Charles et al., 2003) est utilisé pour évaluer la dysgraphie. Les résultats du test de M. sont présentés sur la Fig. 1A. M., qui est droitrière, présente une tenue tripodique incorrecte du stylo, son pouce étant situé sous l'index. Le neuropsychologue a noté que M. débute l'écriture en milieu de page, qu'elle écrit en lettres scriptes et qu'elle présente une symétrie des lettres « j » et « s » (Fig. 1B). Les résultats obtenus par M. au test BHK sont significativement différents de ceux des enfants de CP. Son score total est de 31 (Fig. 1A), soit deux écarts-types de différence par rapport au score moyen des enfants de CP ($13 \pm 6,8$). Sa vitesse d'écriture (nombre de caractères écrits en cinq minutes) est de 25, soit un écart-type de différence avec la moyenne

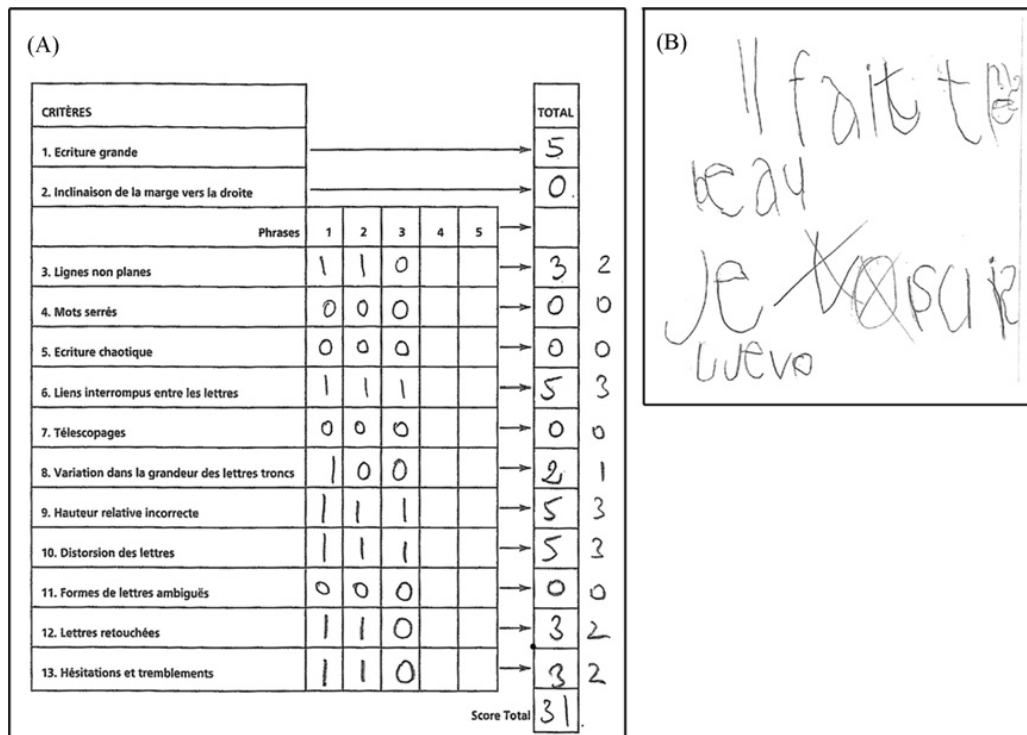


Fig. 1. A. Résultats du test BHK obtenus par l'enfant TAC M. Son score total de 31 se situe à deux écarts-types du score moyen des enfants de CP (qui est de $13 \pm 6,8$). Sa vitesse d'écriture (nombre de caractères écrits en cinq minutes) est de 25, soit un écart-type de différence avec la moyenne des enfants de CP (qui est $48,9 \pm 24,4$). B. Exemple d'écriture de M.

des enfants de CP ($48,9 \pm 24,4$). Une prise en charge en psychomotricité est mise en place. Devant les difficultés rencontrées par M. dans le système scolaire, une demande de reconnaissance de handicap est faite.

Au moment de l'examen, M. est scolarisée en classe de CP en milieu ordinaire. Elle bénéficie d'un projet personnalisé de scolarisation (PPS). Elle est suivie en ergothérapie deux fois par semaine et en psychothérapie deux fois par semaine, pendant le temps scolaire. Des mesures d'adaptation ont été mises en place au sein de l'école qui ont permis à M. de faire les acquisitions scolaires indépendamment de l'écriture manuelle. Devant la persistance des difficultés d'écriture, un ordinateur a été introduit. L'anxiété a disparu et les relations sociales au sein de la classe se sont améliorées. L'enseignant ne note aucun trouble du comportement.

2.2. Conditions expérimentales des tâches d'écriture

Les six lettres a, b, i, p, r, et t utilisées dans les deux tâches ont été sélectionnées en accord avec les enseignants de GSM. Ces lettres correspondaient à la progression pédagogique des enseignants. Au moment de l'examen (avril à juin), le taux de connaissance de ces six lettres était de 100 % pour tous les enfants. Dans la tâche de copie, les enfants devaient recopier ces six lettres en écriture cursive à l'aide d'un modèle (Fig. 2). Les lettres ont été présentées une par une aux enfants. Les enfants recopiaient la lettre sur la même feuille, entre deux traits identiques à ceux encadrant la lettre modèle. Lors de la passation, les informations pertinentes concernant l'écriture étaient recueillies pour chaque enfant (latéralité, tenue du stylo, etc.). Aucune consigne de temps n'était imposée. Chaque test durait environ cinq minutes. Dans la tâche de dictée, les enfants devaient écrire sous la dictée, sans modèle, les six mêmes lettres que lors de l'exercice de copie. Les lettres étaient dictées une par une, dans un ordre aléatoire, et la consigne était

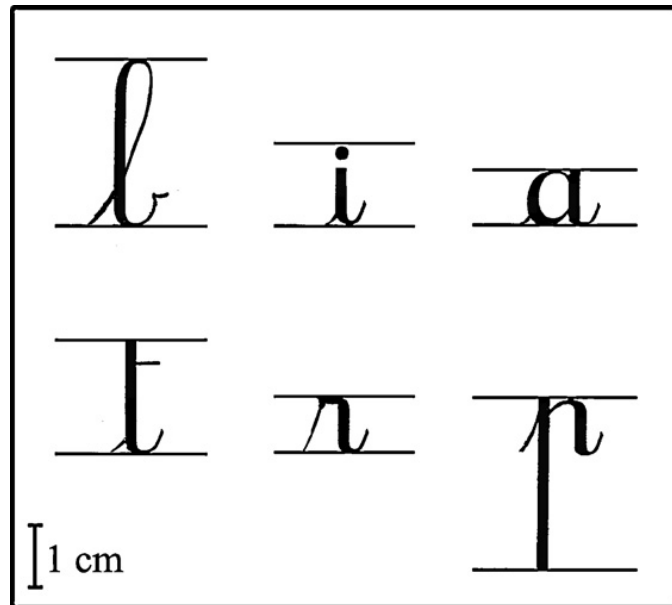


Fig. 2. Lettres présentées aux enfants comme modèle dans la tâche de copie.

d'écrire en lettres cursives minuscules. L'exercice était réalisé sur une feuille de papier d'écolier à grands carreaux (type Seyes). Les enfants avaient pour consigne d'écrire les lettres « comme ils ont l'habitude de le faire en classe ». Aucune consigne de temps n'était imposée. Chaque tâche durait environ cinq minutes pour les CP et dix minutes pour les GSM. Cette tâche de dictée a été réalisée huit semaines après l'exercice de copie avant de prévenir son éventuelle influence.

2.3. Matériels et traitement des données

Les passations auprès des enfants ont été réalisées à l'aide d'un ordinateur PC portable et d'une tablette graphique Wacom Intuos 3 A5 USB. Les tâches d'écriture sont réalisées sur une feuille placée sur la tablette graphique. Après recueil de chaque tracé, les données brutes concernant les pics de vitesse sont filtrées avec un filtre de Butterworth d'ordre 3 avec une fréquence de coupure de 8 Hz (Butterworth, 1930). Nous avons ensuite calculé huit paramètres ou variables (Fig. 3) :

- « nombre levers crayon » défini par le nombre de fois où le crayon n'est plus en contact avec la tablette pendant l'écriture de la lettre. On peut en déduire le nombre de traits constituant la lettre, qui correspond au nombre de levers de crayon plus un ;
- « durée crayon en l'air (s) » définie par le temps total (en secondes) pendant lequel le crayon n'est plus en contact avec la tablette ;
- « nombre pics » défini par le nombre de pics de vitesse (Fig. 3) ;
- « nombre moments statiques » défini par le nombre de moments statiques, c'est-à-dire de moments pendant lesquels la distance parcourue est nulle ;
- « nombre mouvements lents » défini par le nombre de mouvements lents, c'est-à-dire de regroupements de moments statiques inférieurs à 150 ms, entre lesquels la distance parcourue est inférieure à 0,1 cm ;
- « longueur (cm) » définie par la longueur totale du tracé ;
- « durée totale (s) » définie par la durée totale d'écriture du tracé ;
- « vitesse totale (cm/s) » définie par le rapport longueur–durée totale.

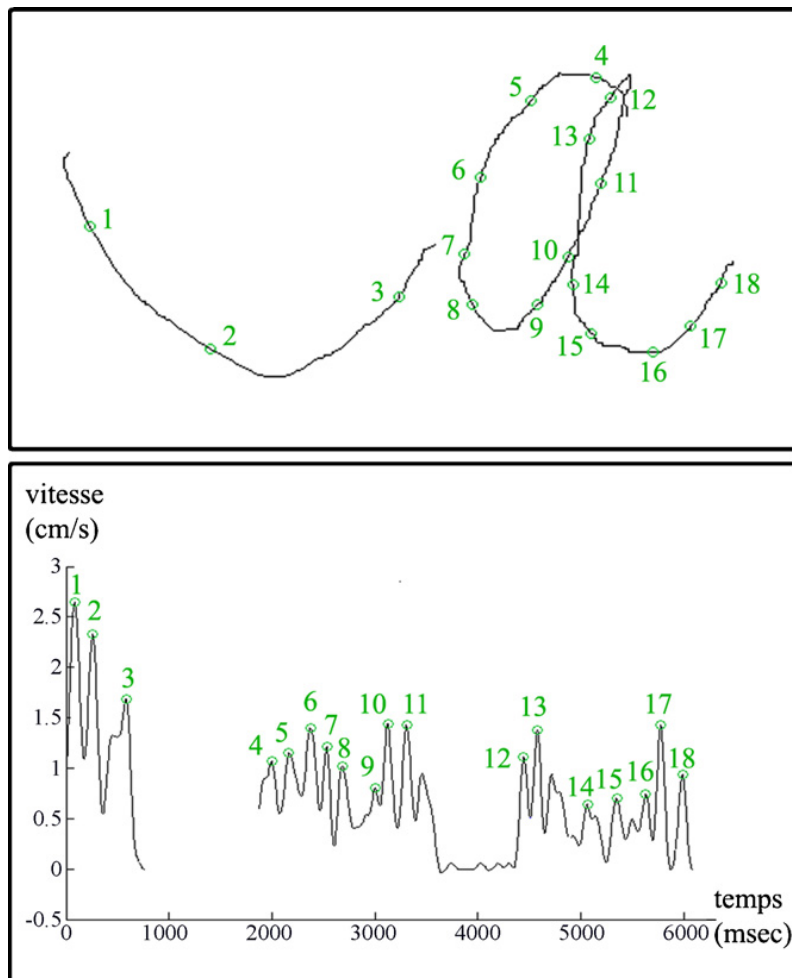


Fig. 3. Profil de vitesse correspondant au tracé de la lettre «a» lors de la tâche de dictée par un enfant de GSM et l'emplacement de chaque pic de vitesse sur le tracé de la lettre.

Pour mesurer la qualité globale, toutes les lettres tracées par les enfants dans les tâches de copie et de dictée ont été notées par deux juges indépendants (sur une échelle de 0 à 10 par pas de 1 ; avec 0 comme une lettre non reconnaissable et 10 une lettre parfaite conforme au modèle). La corrélation interjuges de Bravais-Pearson est significative ($r=0,64$; $p<0,001$).

Pour l'analyse statistique « lettre par lettre », les valeurs uniques de l'enfant M. pour chaque variable et chaque tâche ont été comparées aux moyennes obtenues pour ces mêmes valeurs par les deux groupes témoins à l'aide du programme *Singlims*. Ce test statistique développé par l'équipe du Pr John Crawford permet la comparaison entre les valeurs isolées d'un individu et celles moyennes d'un groupe témoin (Crawford et Garthwaite, 2002, 2007 ; <http://www.abdn.ac.uk/~psy086/dept/psychom.htm>). Les comparaisons entre les moyennes des notes qualitatives et les comparaisons des performances entre les enfants ordinaires de GSM et CP ont été réalisées avec un test de Student.

3. Résultats

Nous présentons dans un premier temps une analyse globale des performances de M. et des enfants de GSM et de CP. Cependant, comme le tracé de chacune des six lettres fait intervenir des

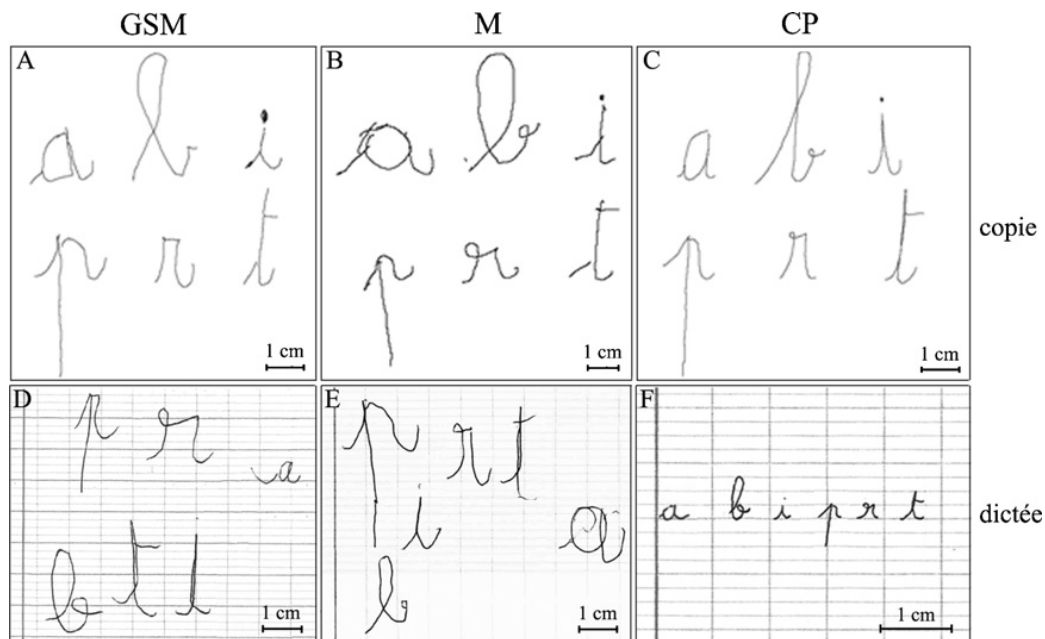


Fig. 4. Résultats des tâches de copie (A) et de dictée (B) réalisées par l'enfant TAC M. et panel représentatif de lettres tracées par différents enfants de GSM (C et D) et de CP (E et F) lors des tâches de copie et de dictée.

mouvements spécifiques et distincts, nous avons choisi de les analyser indépendamment dans un second temps.

3.1. Analyse globale

La Fig. 4 présente les lettres tracées par M. lors des tests de copie et de dictée, ainsi que des exemples de lettres tracées par des enfants de GSM et de CP au cours de ces mêmes tâches. Une première observation montre clairement que pour les deux tâches, les productions de M. sont plus semblables à celle d'un enfant de GSM que d'un enfant de CP. De plus, dans la tâche de dictée, le placement des lettres sur la feuille par les enfants de GSM et par M. est aléatoire et ne suit pas les lignes, contrairement aux enfants de CP qui utilisent les lignes pour tracer correctement les lettres.

La Fig. 5 présente l'analyse pour quelques variables des tracés de la lettre « a » produite lors les tâches de copie et de dictée par une enfant de chaque groupe témoin et par l'enfant M. La Fig. 5A montre le nombre de traits qui constituent la lettre « a » tracée par ces trois enfants dans chacune des deux situations. Comme on peut le voir, les lettres tracées par M. sont formées de plus de traits que celles d'une enfant de CP, aussi bien dans la tâche de copie que dans la tâche de dictée. En outre, la trajectoire des tracés de lettre de M. semble être mal contrôlée par l'enfant. Ainsi, il lui a fallu trois traits (traits n° 2, 3 et 4) pour former le rond du « a » dans l'exercice de copie. Dans l'exercice de dictée en revanche, le rond du « a » est trop grand et génère une spirale, obligeant alors l'enfant à produire un trait supplémentaire (trait n° 3) afin d'allonger la queue initiale de la lettre. Enfin, on note également la présence dans le tracé du « a » au cours de l'exercice de dictée d'un trait n'ayant aucune pertinence (trait n° 4).

La Fig. 5B présente le tracé de la lettre « a » pour les deux groupes témoins et pour M. dans les deux tâches, sur lequel ont été ajoutés les mouvements lents et les pics de vitesse. Cet exemple confirme que les tracés de M. sont plus proches de ceux d'enfants de GSM que de CP. Il est

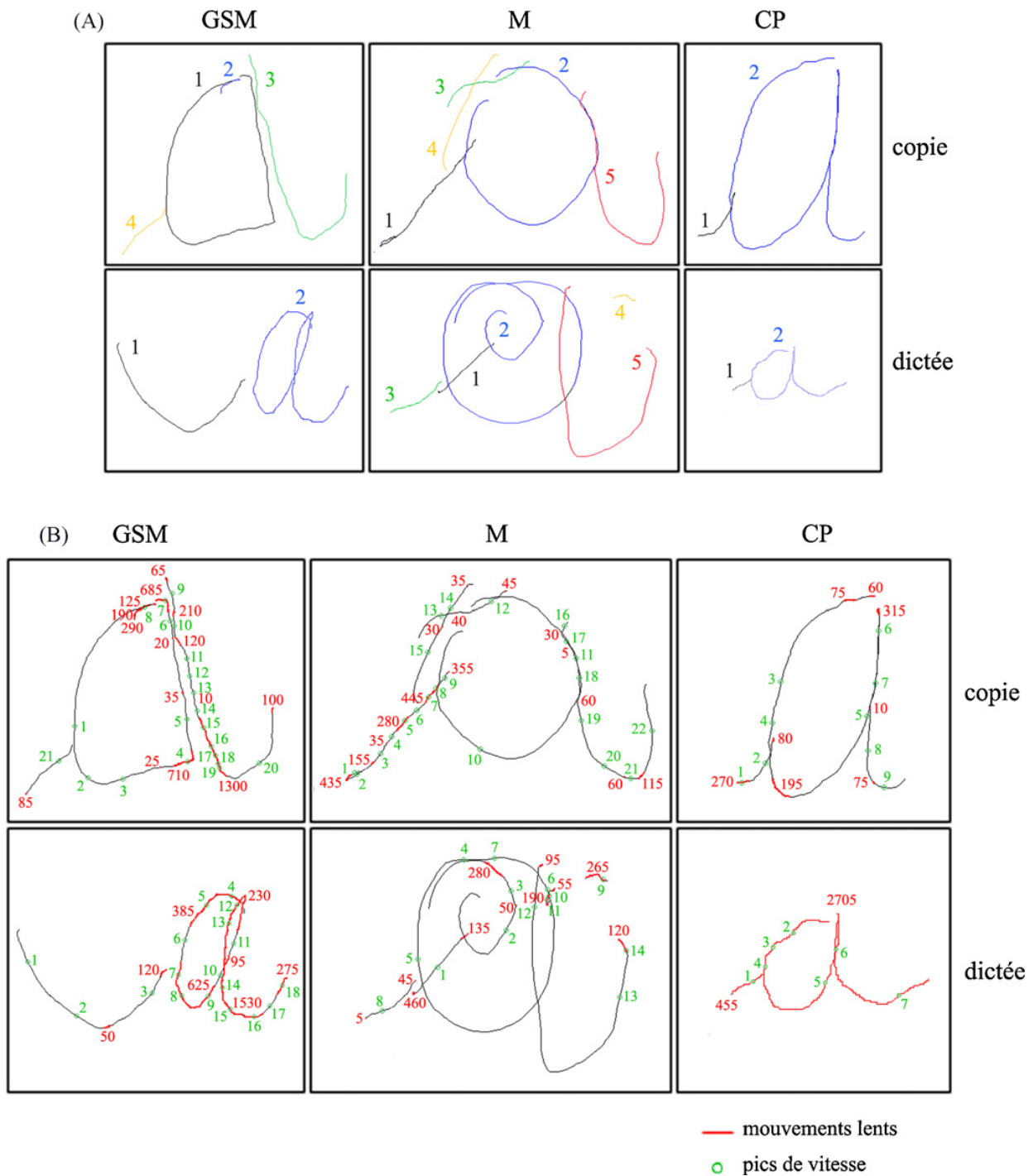


Fig. 5. A. Nombre de traits constituant la lettre sur différents tracés de la lettre « a » réalisés lors des tâches de copie et de dictée par un enfant de GSM (gauche), par M. (centre) et par un enfant de CP (droite). Les chiffres indiquent l'ordre chronologique de formation des traits. B. Emplacement des pics de vitesse (ronds verts) et des mouvements lents (rouge) sur différents tracés de la lettre « a » réalisés lors des tâches de copie et de dictée par un enfant de GSM (gauche), par M. (centre) et par un enfant de CP (droite). Les chiffres rouges indiquent la durée des mouvements lents (msec) et les chiffres verts l'ordre chronologique des pics de vitesse.

intéressant de noter que les tracés de M, tout comme ceux d'enfants de GSM, sont en fait constitués d'une alternance de mouvements lents et de pics de vitesse. Les enfants de CP, en revanche, ont une écriture plus fluide car le nombre de mouvements lents et de pics de vitesse diminuent chez ces enfants, et ce quelle que soit la tâche réalisée et donc la taille de la lettre tracée.

Lettre A

Copie

GSM

CP

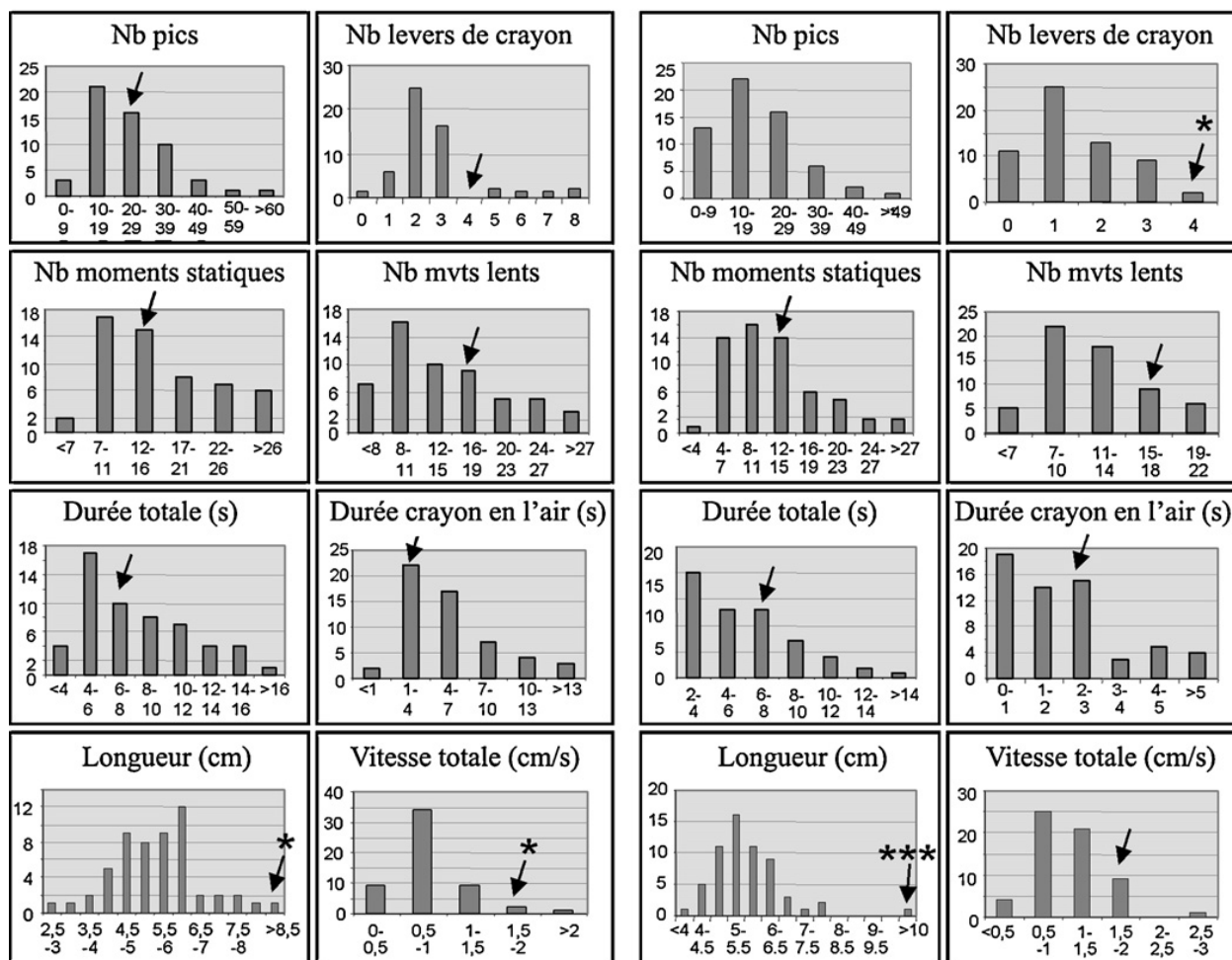


Fig. 6. Histogrammes montrant la distribution des résultats obtenus par les enfants de GSM (gauche) et de CP (droite) à la tâche de copie de la lettre « a » pour les variables « Nombre de pics », « Nombre de levers de crayon », « Nombre de moments statiques », « Nombre de mouvements lents », « Durée totale », « Durée crayon en l'air », « Longueur » et « Vitesse totale ». Sur chaque histogramme, le résultat obtenu par l'enfant TAC M. est indiqué par une flèche. Les astérisques indiquent que le résultat de M. est significativement différent de celui des enfants de GSM (* $p < 0,05$; *** $p < 0,001$).

Enfin, concernant l'analyse de la qualité globale, pour chaque tâche et chaque lettre, la comparaison des notes moyennes de l'enfant M. avec celle des enfants de GSM et de CP montre que les notes de M. ne diffèrent pas significativement de celles des enfants de GSM, alors qu'elles sont toujours significativement inférieures à celles des enfants de CP (Tableau 1).

3.2. Analyse « lettre par lettre »

3.2.1. Lettre « a »

Les Fig. 6 et 7 montrent les histogrammes de distribution des différentes valeurs possibles de chaque variable pour les deux groupes témoins, en incluant à chaque fois celle de l'enfant M. (indiquée par une flèche), pour les tâches de copie (Fig. 6) et de dictée (Fig. 7) pour la lettre « a ». L'ensemble des résultats de l'analyse comparative des résultats de M. par rapport aux deux

Lettre A

GSM

Dictée

CP

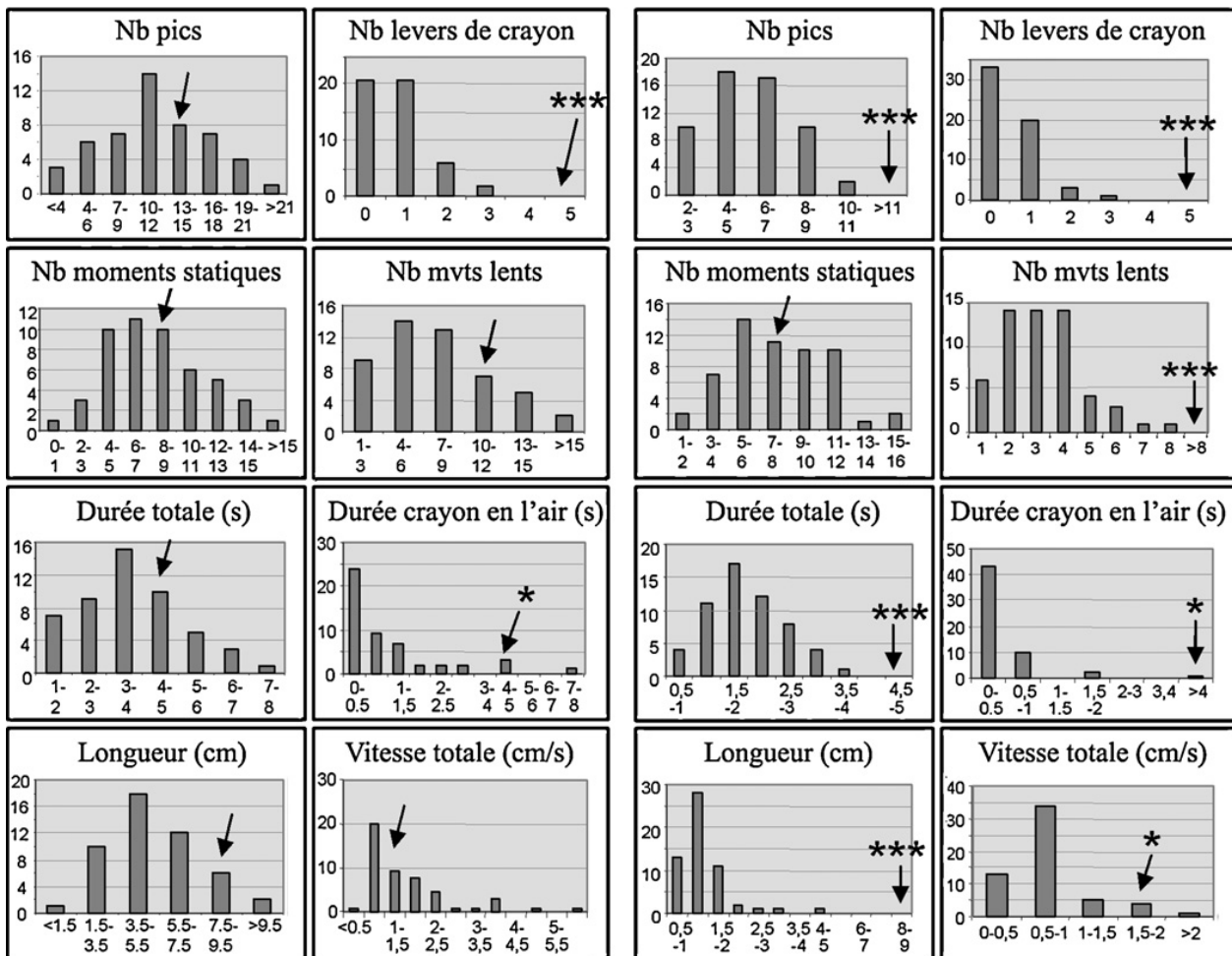


Fig. 7. Histogrammes montrant la distribution des résultats obtenus par les enfants de GSM (gauche) et de CP (droite) à la tâche de dictée de la lettre « a » pour les variables « Nombre de pics », « Nombre de levers de crayon », « Nombre de moments statiques », « Nombre de mouvements lents », « Durée totale », « Durée crayon en l'air », « Longueur » et « Vitesse totale ». Sur chaque histogramme, le résultat obtenu par l'enfant TAC M. est indiqué par une flèche. Les astérisques indiquent que le résultat de M. est significativement différent de celui des enfants de GSM (* $p < 0,05$; *** $p < 0,001$).

groupes témoins pour les deux tâches est présenté sous forme de tableaux récapitulatifs dans le [Tableau 2](#).

On observe une différence significative entre les résultats de M. et ceux des deux groupes témoins, aussi bien pour la tâche de copie que pour la tâche de dictée. Cependant, le nombre et la nature des variables affectées dépendent de la tâche et du groupe considérés. Ainsi, pour la tâche de copie de la lettre « a », M. se distingue des enfants de GSM au niveau des variables « longueur » et « vitesse », alors qu'elle se distingue des enfants de CP par les variables « longueur » et « nombre de levers de crayon ». Dans la tâche de copie, M. trace donc des lettres plus grandes que celles des enfants de GSM et de CP. Elle les trace plus vite que les enfants de GSM, et en faisant plus de levers de crayon que les enfants de CP. En ce qui concerne la tâche de dictée, M. se distingue des enfants de GSM au niveau des variables « nombre de levers de crayon » et « durée du crayon en l'air », alors qu'elle se distingue beaucoup plus du groupe de CP puisque toutes les variables

Tableau 1

Comparaison des notes moyennes de l'évaluation qualitative des lettres tracées par l'enfant TAC avec les notes moyennes des lettres tracées par les enfants des groupes témoins GSM et CP pour les six lettres dans les tâches de copie et de dictée.

Copie		A	B	I	P	R	T
GSM	Moy.	4,87	3,7	3,17	3,19	3,58	3,73
	SD	2,7	2,5	2,54	2,64	2,81	2,39
	<i>n</i>	82	91	82	77	79	101
	<i>p</i>	0,111	0,674	0,234	0,49	0,65	0,309
M	Moy.	0,5	3	2	4,5	4,5	2
	SD	0,71	0	0	2,12	0,71	0
CP	Moy.	6,09	6,53	6,16	5,84	6,73	5,08
	SD	2,37	2,27	2,6	3,06	2,32	2,43
	<i>n</i>	115	119	114	106	111	113
	<i>p</i> ***	0,001*	0,031*	0,006	0,54	0,18	0,077
Dictée		A	B	I	P	R	T
GSM	Moy.	2,76	3,18	1,73	2,7	3	2,35
	SD	2,14	2,44	1,37	1,45	1,4	1,85
	<i>n</i>	86	31	94	57	56	58
	<i>p</i>	0,14	0,855	0,785	0,251	0,62	0,168
M	Moy.	0,5	3,5	2	1,5	2,5	0,5
	SD	0,71	0,71	0	0,71	0,71	0,71
CP	Moy.	6,37	7,05	6,89	6,19	6,55	6,21
	SD	2,88	2,76	2,6	2,13	2,22	2,2
	<i>n</i>	114	103	114	98	104	102
	<i>p</i>	0,005*	0,037*	0,009*	0,003*	0,012*	0,0***

Moyennes et écart-types des notes de l'évaluation qualitative pour les deux groupes témoins (GSM et CP) et pour l'enfant M. (ligne centrale), pour les tâches de copie (haut) et de dictée (bas). Les valeurs de *p* après comparaison des résultats de M. avec ceux des groupes témoins de GSM et CP sont indiquées. Les résultats significatifs sont indiqués par un astérisque (**p* < 0,05 ; ****p* < 0,001).

sauf le « nombre de moments statiques » sont affectées. Pour la tâche de dictée, M. trace donc des lettres constituées de plus de traits que celles des enfants de GSM, et différentes pour quasiment tous les paramètres de celles des enfants de CP. Ainsi, pour la lettre « a », les performances de M. à la tâche de dictée sont moins bonnes que celles de la tâche de copie. En outre, M. se distingue plus des enfants de CP que des enfants de GSM, avec neuf variables différentes sur 16 pour l'ensemble des deux tâches contre quatre pour les GSM.

Une analyse qualitative de toutes les lettres tracées par les enfants dans les deux tâches a également été réalisée par deux juges indépendants. Les résultats de cette analyse sont présentés dans le [Tableau 1](#). Ainsi, les notes moyennes obtenues par l'enfant M. pour la lettre « a » ne se distinguent pas de celles des enfants de GSM, alors qu'elles sont significativement différentes de celles des enfants de CP pour les deux tâches.

3.2.2. Lettre « b »

Pour la lettre « b », les résultats de M. sont moins marqués que ceux de la lettre « a » ([Tableau 3](#)). Ainsi, pour la tâche de copie, M. se distingue des enfants de GSM au niveau d'une seule variable, la « vitesse », alors qu'elle se différencie des enfants de CP au niveau des variables « nombre de

Tableau 2
 Comparaison des résultats de l'enfant TAC avec les moyennes des groupes témoins GSM et CP pour la lettre « a ».

A : copie	Nombre levers crayon	Longueur (cm)	Durée totale (s)	Durée crayon en l'air (s)	Vitesse totale (cm/s)	Nombre pics	Nombre moments statiques	Nombre mouvements lents
GSM (<i>n</i> = 55)	Moy.	5,76	8,12	5,51	0,81	23,36	15,51	14,78
	SD	2,07	3,76	4,45	0,34	11,96	7,21	7,13
	<i>p</i>	0,01*	0,66	0,57	0,01*	0,91	0,63	0,87
M		11,14	6,42	2,95	1,74	22,00	12,00	16,00
	Moy.	5,57	6,30	2,11	1,07	18,37	12,50	11,68
	SD	1,06	3,55	1,87	0,44	10,85	6,62	4,46
	<i>p</i>	0,00***	0,97	0,66	0,14	0,74	0,94	0,34
A : dictée	Nombre levers crayon	Longueur (cm)	Durée totale (s)	Durée crayon en l'air (s)	Vitesse totale (cm/s)	Nombre pics	Nombre moments statiques	Nombre mouvements lents
GSM	Moy.	5,28	3,73	0,99	1,62	11,72	8,00	7,48
	SD	2,65	1,44	1,45	1,11	5,32	3,88	4,10
	<i>p</i>	0,00***	0,54	0,02*	0,77	0,67	1,00	0,40
M		8,99	4,62	4,48	1,95	14,00	8,00	11,00
	Moy.	1,36	1,98	0,41	0,79	5,60	7,68	3,25
	SD	0,58	0,68	1,20	0,57	2,23	3,20	1,54
	<i>p</i>	0,00***	0,00***	0,00***	0,05*	0,00***	0,92	0,00***

Moyennes et écarts-types pour les deux groupes témoins (GSM et CP) et résultats de l'enfant TAC M. (ligne centrale) obtenus à la tâche de copie (haut) et de dictée (bas) pour la lettre « a », pour les variables « Nombre de pics », « Nombre de levers de crayon », « Nombre de moments statiques », « Nombre de mouvements lents », « Durée totale », « Durée crayon en l'air », « Longueur » et « Vitesse totale ». Les valeurs de *p* après comparaison des résultats de M. avec les moyennes des groupes témoins de GSM et CP sont indiquées. Les résultats significatifs sont indiqués par un astérisque (**p* < 0,05 ; ***p* < 0,001).

levers de crayon » et « longueur ». Lors de cette tâche, M. trace donc des lettres plus grandes et constituées de plus de traits que celles des enfants de CP, et plus vite que les enfants de GSM. En ce qui concerne la dictée, aucune valeur de M. n'est significativement différente de celles des enfants de GSM, alors qu'elle se distingue des enfants de CP au niveau des variables « longueur » et « nombre de mouvements lents ». Tout comme dans la tâche de copie, l'enfant M. trace des lettres plus grandes que celles des enfants de CP. Pour la lettre « b », les performances de M. sont à peu près équivalentes pour les deux tâches. En revanche, elle se distingue plus des enfants de CP, avec quatre variables significativement différentes sur 16 (deux pour chaque tâche), que des enfants de GSM, avec une seule variable différente à la tâche de copie.

Concernant la qualité des lettres tracées par l'enfant M., leurs notes moyennes sont significativement différentes de celles des enfants de CP mais pas de celles des enfants de GSM pour les deux tâches (Tableau 1).

3.2.3. Lettre « i »

Les résultats concernant la lettre « i » sont intéressants (Tableau 4). En effet, aucune différence n'est observée pour la tâche de copie, aussi bien par rapport aux enfants de GSM que de CP. En ce qui concerne la dictée, M. ne se distingue pas des enfants de GSM. En revanche, les résultats de M. à la tâche de dictée diffèrent de ceux des enfants de CP au niveau des deux variables « longueur » et « vitesse », montrant donc que M. produit des lettres plus grandes que celles des enfants de CP, mais elle les trace plus vite. Comme pour les lettres « a » et « b », les performances de M. pour la lettre « i » sont donc moins bonnes pour la tâche de dictée que pour la tâche de copie.

En ce qui concerne la qualité des lettres tracées par l'enfant M., leurs notes moyennes sont significativement différentes de celles des enfants de CP mais pas de celles des enfants de GSM, et ce pour les deux tâches (Tableau 1).

3.2.4. Lettre « p »

Les résultats de M. concernant la lettre « p » sont proches de ceux de la lettre « i », c'est-à-dire une différence lors la tâche de dictée avec les enfants de CP, avec deux paramètres affectés : « longueur » et « nombre de mouvements lents » (Tableau 5). M. trace donc encore une fois des lettres plus grandes que celles des enfants de CP. Les performances de M. pour la lettre « p » sont moins bonnes pour la tâche de dictée que pour la tâche de copie.

En ce qui concerne la qualité des lettres tracées par l'enfant M., leur note moyenne ne diffère de celle des enfants de CP que pour la tâche de dictée (Tableau 1). Concernant la tâche de copie, elle ne se distingue ni de celle des enfants de GSM ni de celle des enfants de CP (Tableau 1).

3.2.5. Lettre « r »

Les résultats pour la lettre « r » sont légèrement différents (Tableau 6). En effet, les résultats de M. ne se distinguent pas de ceux des enfants de GSM, aussi bien pour la tâche de copie que pour la tâche de dictée. En revanche, M. se différencie des enfants de CP pour les deux tâches, mais les différences sont plus marquées pour la tâche de dictée puisque quatre des huit variables sont affectées pour cette tâche (« longueur », « vitesse », « nombre de pics » et « nombre de mouvements lents »), alors qu'une seule variable est différente dans le cas de la copie (« longueur »). Ainsi, dans les deux tâches, M. trace des lettres plus grandes que celles des enfants de CP. En outre, dans la tâche de dictée, elle trace ses lettres plus vite que les enfants de CP.

Comme pour la lettre « p », la note qualitative moyenne des lettres de l'enfant M. ne se distingue pas de celle des enfants de GSM, aussi bien pour la tâche de copie que pour la tâche de dictée (Tableau 1). En outre, elle ne diffère de celle des enfants de CP que pour la tâche de dictée.

Tableau 3
 Comparaison des résultats de l'enfant TAC avec les moyennes des groupes témoins GSM et CP pour la lettre « b ».

B : copie	Nombre levers crayon	Longueur (cm)	Durée totale (s)	Durée crayon en l'air (s)	Vitesse totale (cm/s)	Nombre pics	Nombre moments statiques	Nombre mouvements lents	
GSM (<i>n</i> = 55)	Moy.	10,48	10,34	2,00	1,08	30,44	17,84	20,00	
	SD	1,58	2,95	3,00	0,31	12,46	6,43	7,67	
	<i>p</i>	0,19	0,08	0,58	0,00***	0,22	0,37	0,16	
M	1,00	12,59	5,02	0,29	2,51	15,00	12,00	9,00	
	CP (<i>n</i> = 60)	Moy.	10,44	5,97	0,10	2,03	17,10	10,37	11,00
		SD	0,64	2,19	0,40	0,91	8,50	4,97	6,21
<i>p</i>		0,00***	0,67	0,63	0,61	0,81	0,75	0,75	
B : dictée	Nombre levers crayon	Longueur (cm)	Durée totale (s)	Durée crayon en l'air (s)	Vitesse totale (cm/s)	Nombre pics	Nombre moments statiques	Nombre mouvements lents	
	GSM	Moy.	6,72	5,16	0,88	1,44	16,16	11,28	9,75
		SD	2,75	2,02	2,99	0,78	7,39	5,12	3,52
<i>p</i>		0,69	0,34	0,77	0,76	0,78	0,53	0,94	
M	0,00	5,33	3,16	0,00	1,69	14,00	8,00	10,00	
	CP	Moy.	2,32	2,90	0,14	0,92	7,96	9,02	5,00
		SD	0,71	1,26	0,52	0,42	3,77	4,05	1,89
<i>p</i>		0,00***	0,84	0,79	0,08	0,12	0,80	0,01*	

Moyennes et écarts-types pour les deux groupes témoins (GSM et CP) et résultats de l'enfant TAC M. (ligne centrale) obtenus à la tâche de copie (haut) et de dictée (bas) pour la lettre « b », pour les variables « Nombre de pics », « Nombre de levers de crayon », « Nombre de moments statiques », « Nombre de mouvements lents », « Durée totale », « Durée crayon en l'air », « Longueur » et « Vitesse totale ». Les valeurs de *p* après comparaison des résultats de M. avec les moyennes des groupes témoins de GSM et CP sont indiquées. Les résultats significatifs sont indiqués par un astérisque (**p* < 0,05 ; ***p* < 0,001).

Tableau 4
 Comparaison des résultats de l'enfant TAC avec les moyennes des groupes témoins GSM et CP pour la lettre « i ».

I : copie	Nombre levers crayon	Longueur (cm)	Durée totale (s)	Durée crayon en l'air (s)	Vitesse totale (cm/s)	Nombre pics	Nombre moments statiques	Nombre mouvements lents	
GSM (<i>n</i> = 55)	Moy.	5,84	6,59	4,95	0,92	22,16	13,33	13,62	
	SD	2,35	2,11	2,94	0,31	8,13	4,69	4,69	
	<i>p</i>	0,85	0,74	0,36	0,98	0,53	0,73	0,90	
M		5,39	5,89	2,24	0,91	17,00	15,00	13,00	
	CP (<i>n</i> = 60)	Moy.	5,30	5,04	1,42	1,15	15,98	11,27	11,20
		SD	2,35	2,37	1,01	0,42	10,02	4,50	4,51
<i>p</i>		0,97	0,72	0,42	0,58	0,92	0,41	0,69	
I : dictée	Nombre levers crayon	Longueur (cm)	Durée totale (s)	Durée crayon en l'air (s)	Vitesse totale (cm/s)	Nombre pics	Nombre moments statiques	Nombre mouvements lents	
GSM	Moy.	3,79	2,86	1,20	1,43	9,13	8,38	7,75	
	SD	1,65	0,91	1,15	0,78	3,80	2,78	3,56	
	<i>p</i>	0,82	0,50	0,77	0,58	0,29	0,83	0,30	
M		4,16	2,23	0,86	1,87	5,00	9,00	4,00	
	CP	Moy.	1,12	1,55	0,62	0,80	4,79	7,32	3,82
		SD	0,45	0,60	0,37	0,37	2,12	2,54	1,18
<i>p</i>		0,00***	0,27	0,52	0,01*	0,92	0,51	0,88	

Moyennes et écarts-types pour les deux groupes témoins (GSM et CP) et résultats de l'enfant TAC M. (ligne centrale) obtenus à la tâche de copie (haut) et de dictée (bas) pour la lettre « i », pour les variables « Nombre de pics », « Nombre de levers de crayon », « Nombre de moments statiques », « Nombre de mouvements lents », « Durée totale », « Durée crayon en l'air », « Longueur » et « Vitesse totale ». Les valeurs de *p* après comparaison des résultats de M. avec les moyennes des groupes témoins de GSM et CP sont indiquées. Les résultats significatifs sont indiqués par un astérisque (**p* < 0,05 ; ****p* < 0,001).

Tableau 5
 Comparaison des résultats de l'enfant TAC avec les moyennes des groupes témoins GSM et CP pour la lettre « p ».

P : copie		Nombre levers crayon	Longueur (cm)	Durée totale (s)	Durée crayon en l'air (s)	Vitesse totale (cm/s)	Nombre pics	Nombre moments statiques	Nombre mouvements lents
GSM (<i>n</i> = 55)	Moy.	2,38	8,45	8,68	5,86	1,10	24,27	17,27	17,67
	SD	1,51	3,64	4,93	6,04	0,40	16,98	7,09	12,31
	<i>p</i>	0,37	0,85	0,47	0,39	0,30	0,55	0,46	0,77
M		1,00	7,75	5,06	0,56	1,53	14,00	12,00	14,00
	Moy.	1,27	7,88	5,51	1,47	1,71	15,43	12,73	10,90
	SD	0,90	1,51	2,97	1,64	0,69	10,45	5,79	6,57
CP (<i>n</i> = 60)	<i>p</i>	0,77	0,93	0,88	0,58	0,80	0,89	0,90	0,64
P : dictée		Nombre levers crayon	Longueur (cm)	Durée totale (s)	Durée crayon en l'air (s)	Vitesse totale (cm/s)	Nombre pics	Nombre moments statiques	Nombre mouvements lents
GSM	Moy.	1,10	4,79	3,48	1,36	1,61	11,13	9,68	7,84
	SD	0,54	2,51	1,62	2,28	0,94	6,25	4,87	3,08
	<i>p</i>	0,11	0,17	0,81	0,93	0,57	0,77	0,89	0,19
M		2,00	8,38	3,89	1,15	2,16	13,00	9,00	12,00
	Moy.	0,86	1,88	2,49	0,51	0,97	7,21	9,63	5,14
	SD	0,72	0,76	1,36	0,65	0,73	4,32	4,01	1,91
CP	<i>p</i>	0,12	0,00***	0,31	0,34	0,11	0,19	0,88	0,00***

Moyennes et écarts-types pour les deux groupes témoins (GSM et CP) et résultats de l'enfant TAC M. (ligne centrale) obtenus à la tâche de copie (haut) et de dictée (bas) pour la lettre « p », pour les variables « Nombre de pics », « Nombre de levers de crayon », « Nombre de moments statiques », « Nombre de mouvements lents », « Durée totale », « Durée crayon en l'air », « Longueur » et « Vitesse totale ». Les valeurs de *p* après comparaison des résultats de M. avec les moyennes des groupes témoins de GSM et CP sont indiquées. Les résultats significatifs sont indiqués par un astérisque (**p* < 0,05 ; ***p* < 0,001).

Tableau 6
 Comparaison des résultats de l'enfant TAC avec les moyennes des groupes témoins GSM et CP pour la lettre « r ».

R : copie	Nombre levers crayon	Longueur (cm)	Durée totale (s)	Durée crayon en l'air (s)	Vitesse totale (cm/s)	Nombre pics	Nombre moments statiques	Nombre mouvements lents
GSM (<i>n</i> = 55)	Moy.	4,40	6,86	1,94	0,73	18,93	16,71	13,33
	SD	1,25	2,62	2,84	0,31	7,97	6,17	5,72
	<i>p</i>	0,42	0,36	0,50	0,11	0,39	0,22	0,57
M	0,00	5,43	4,39	0,00	1,24	12,00	9,00	10,00
CP (<i>n</i> = 60)	Moy.	3,85	4,37	0,14	1,02	12,23	11,90	8,13
	SD	0,32	2,11	0,54	0,38	6,97	4,72	3,29
	<i>p</i>	0,71	0,99	0,80	0,57	0,97	0,54	0,58
R : dictée	Nombre levers crayon	Longueur (cm)	Durée totale (s)	Durée crayon en l'air (s)	Vitesse totale (cm/s)	Nombre pics	Nombre moments statiques	Nombre mouvements lents
GSM	Moy.	4,37	4,14	0,27	1,19	12,79	11,24	9,00
	SD	3,06	1,84	1,06	0,91	5,98	4,91	3,94
	<i>p</i>	0,99	0,50	0,80	0,70	0,65	0,81	1,00
M	0,00	4,41	2,85	0,00	1,54	10,00	10,00	9,00
CP	Moy.	1,19	1,83	0,16	0,72	4,93	7,91	3,23
	SD	0,42	0,61	0,91	0,35	1,98	3,22	1,46
	<i>p</i>	0,00***	0,10	0,86	0,02*	0,01*	0,52	0,00***

Moyennes et écarts-types pour les deux groupes témoins (GSM et CP) et résultats de l'enfant TAC M. (ligne centrale) obtenus à la tâche de copie (haut) et de dictée (bas) pour la lettre « r », pour les variables « Nombre de pics », « Nombre de levers de crayon », « Nombre de moments statiques », « Nombre de mouvements lents », « Durée totale », « Durée crayon en l'air », « Longueur » et « Vitesse totale ». Les valeurs de *p* après comparaison des résultats de M. avec les moyennes des groupes témoins de GSM et CP sont indiquées. Les résultats significatifs sont indiqués par un astérisque (**p* < 0,05 ; ****p* < 0,001).

3.2.6. Lettre « t »

Pour la lettre « t », les résultats sont assez semblables à ceux de la lettre « r » (Tableau 7). Pour la tâche de copie, M. ne se distingue que des enfants de CP, au niveau des variables « nombre de levers de crayon » et « durée du crayon en l'air », montrant donc que les lettres de M. sont constituées de plus de traits que celles des enfants de CP. Pour la tâche de dictée, elle ne se distingue des enfants de GSM que par une seule variable, la « durée du crayon en l'air », alors qu'elle se différencie des enfants de CP par trois variables : la « longueur », la « durée du crayon en l'air » et la « vitesse ». Ainsi, dans cette tâche, les lettres de l'enfant M. sont plus grandes que celles des enfants de CP, mais elle trace ses lettres plus vite.

La note qualitative moyenne des tracés de l'enfant M. ne se distingue d'aucun des deux groupes témoins pour la tâche de copie (Tableau 1). Concernant la tâche de dictée, elle ne diffère que de celle des enfants de CP.

3.3. Analyse comparative des productions des deux groupes témoins

Enfin, nous avons également comparés les résultats des deux groupes témoins entre eux pour chaque paramètre, chaque lettre et chaque tâche (Tableau 8). Pour la tâche de copie, tous les paramètres sont différents entre les deux groupes, sauf la longueur (quatre lettres sur six). L'absence de différence entre les deux groupes pour ce paramètre peut s'expliquer par le fait que la taille des lettres à tracer dans la tâche de copie était imposée par le modèle. Pour la tâche de dictée, la quasi totalité des paramètres sont différents entre les deux groupes témoins, à l'exception du nombre de levers de crayon (pour trois lettres sur six), de la durée du crayon en l'air (deux lettres sur six) et du nombre de moments statiques (trois lettres sur six). Il est cependant important de noter que les différences significatives entre les résultats de l'enfant M. et ceux de CP ne concernent pas ces paramètres. Il est intéressant de noter que les résultats de l'analyse qualitative des lettres (Tableau 1) sont en parfait accord avec les résultats de l'analyse des différents paramètres quantitatifs. En effet, les deux approches montrent que les productions de l'enfant M. se différencient significativement plus de celles des enfants de CP que des enfants de GSM.

4. Discussion

Dans ce travail, nous présentons une analyse de la fluidité et de la qualité globale des tracés de six lettres cursives isolées dans une tâche de copie et de dictée d'une enfant atteinte d'un TAC et scolarisée en CP, en comparaison avec celle d'enfants apprenti-scripteurs de GSM et d'enfants normo-scripteurs de CP. Nous montrons que l'enfant TAC présente une écriture significativement différente de celle d'enfants de CP, surtout dans la tâche de dictée. Les paramètres les plus discriminatifs entre les tracés de l'enfant TAC et ceux des enfants de CP sont la longueur et la vitesse : M. trace des lettres plus grandes que celles d'enfants de CP mais plus vite, résultant en une durée totale du tracé équivalente. D'un point de vue qualitatif, les productions de l'enfant TAC sont globalement moins bonnes que celles des enfants de CP, surtout dans la tâche de dictée.

Les différences entre les résultats des tâches de copie et de dictée peuvent s'expliquer par la présence de contraintes cognitives plus importantes dans la tâche de dictée compte tenu de l'absence de modèle de lettre. Cette absence semble donc perturber la fluidité des gestes moteurs. Ce résultat suggère que l'enfant M. a des difficultés à mobiliser la représentation interne centrale de la lettre associée à son tracé. Les difficultés d'écriture de M. ne peuvent pas s'expliquer par un manque d'entraînement, car elle a suivi l'apprentissage de l'écriture en grande section et en CP au même rythme que ses camarades. En outre, elle a suivi une rééducation hebdomadaire centrée

Tableau 7
 Comparaison des résultats de l'enfant TAC avec les moyennes des groupes témoins GSM et CP pour la lettre « t ».

T : copie	Nombre levers crayon	Longueur (cm)	Durée totale (s)	Durée crayon en l'air (s)	Vitesse totale (cm/s)	Nombre pics	Nombre moments statiques	Nombre mouvements lents	
GSM (<i>n</i> = 55)	Moy.	5,50	6,66	6,58	0,92	19,25	15,45	14,98	
	SD	1,41	2,48	9,10	0,35	8,35	5,96	6,39	
	<i>p</i>	0,92	0,58	0,75	0,68	0,46	0,57	0,44	
M		5,63	5,28	3,63	1,07	13,00	12,00	10,00	
	CP (<i>n</i> = 60)	Moy.	6,55	4,31	1,18	1,81	12,02	10,48	9,18
		SD	1,03	2,05	1,08	0,79	6,44	4,40	4,39
<i>p</i>		0,00***	0,64	0,03*	0,35	0,88	0,73	0,85	
T : dictée	Nombre levers crayon	Longueur (cm)	Durée totale (s)	Durée crayon en l'air (s)	Vitesse totale (cm/s)	Nombre pics	Nombre moments statiques	Nombre mouvements lents	
GSM	Moy.	4,10	3,22	1,04	1,42	10,55	8,81	9,39	
	SD	1,25	0,94	0,94	0,71	3,78	2,79	4,12	
	<i>p</i>	0,34	0,29	0,05*	0,17	0,51	0,19	0,42	
M		5,36	2,20	2,97	2,44	8,00	5,00	6,00	
	CP	Moy.	1,51	2,10	0,64	0,85	5,89	8,53	4,91
		SD	0,50	0,78	0,55	0,62	2,52	3,18	1,91
<i>p</i>		0,00***	0,90	0,00***	0,01*	0,41	0,28	0,57	

Moyennes et écarts-types pour les deux groupes témoins (GSM et CP) et résultats de l'enfant TAC M. (ligne centrale) obtenus à la tâche de copie (haut) et de dictée (bas) pour la lettre « t », pour les variables « Nombre de pics », « Nombre de levers de crayon », « Nombre de moments statiques », « Nombre de mouvements lents », « Durée totale », « Durée crayon en l'air », « Longueur » et « Vitesse totale ». Les valeurs de *p* après comparaison des résultats de M. avec les moyennes des groupes témoins de GSM et CP sont indiquées. Les résultats significatifs sont indiqués par un astérisque (**p* < 0,05 ; ***p* < 0,001).

Tableau 8
 Comparaison des résultats entre les groupes témoins GSM et CP pour les deux tâches.

Copie	Nombre levers crayon	Longueur (cm)	Durée totale (s)	Durée crayon en l'air (s)	Vitesse totale (cm/s)	Nombre pics	Nombre moments statiques	Nombre mouvements lents
A	<i>p</i> 0,00	0,54	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01
B	<i>p</i> 0,00	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I	<i>p</i> 0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01
P	<i>p</i> 0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
R	<i>p</i> 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T	<i>p</i> 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dictée	Nombre levers crayon	Longueur (cm)	Durée totale (s)	Durée crayon en l'air (s)	Vitesse totale (cm/s)	Nombre pics	Nombre moments statiques	Nombre mouvements lents
A	<i>p</i> 0,05	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,67	0,00
B	<i>p</i> 0,62	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,02	0,00
I	<i>p</i> 0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
P	<i>p</i> 0,11	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,96	0,00
R	<i>p</i> 0,06	0,00	0,00	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00
T	<i>p</i> 0,27	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,68	0,00

Comparaison des moyennes et écarts-types des deux groupes témoin (GSM et CP) des résultats obtenus à la tâche de copie (haut) et de dictée (bas) pour les six lettres, pour les variables « Nombre de pics », « Nombre de levers de crayon », « Nombre de moments statiques », « Nombre de mouvements lents », « Durée totale », « Durée crayon en l'air », « Longueur » et « Vitesse totale ».

sur l'écriture depuis la fin de moyenne section de maternelle. Enfin, anxieuse face à ses difficultés et consciente de son décalage face à ses pairs, elle s'est spontanément entraînée par elle-même. Ainsi, malgré un apprentissage normal et des entraînements répétés, l'automatisation des gestes moteurs ne se fait pas correctement chez cette enfant et ses productions restent qualitativement inférieures à celles d'enfants de son âge. Ces résultats vont dans le sens des observations de [Wilson et al. \(2001\)](#) qui mettent en avant un déficit de contrôle proactif chez les enfants TAC, soit un défaut de représentation interne de l'acte moteur, concernant ici les aspects spatiotemporels nécessaires à la réalisation de la lettre. Dans une perspective cognitive, l'apprentissage de l'écriture se caractérise en effet par le passage progressif d'un contrôle purement rétroactif à un contrôle principalement proactif qui concerne les aspects morphocinétiques ([Meulenbroek et Van Galen, 1988](#) ; [Palluel-Germain et al., 2007](#) ; [Zesiger, 1995](#)). L'élaboration progressive des programmes moteurs, ou des représentations internes du mouvement, s'appuie sur la mise en concordance des commandes motrices envoyées aux muscles et des conséquences sensorielles de la réponse motrice (visuelles et tactilo-kinesthésiques), mise en concordance qui apparaît défailante chez le sujet TAC ([Case-Smith et Weintraub, 2002](#)).

Il est intéressant de noter que dans les deux tâches, la lettre « a » est celle qui présente le plus de différences par rapport aux deux groupes témoins, alors qu'elle est familière à l'enfant. Cette observation est en accord avec les données de [Rosenblum et Livneh-Zirinski \(2008\)](#), qui constatent également que même les lettres familières sont produites lentement au cours de tâches de copie de lettres. En outre, pour certaines lettres comme le « a » par exemple, les productions de l'enfant M. se distinguent non seulement de celles des enfants de CP que de celles des enfants de GSM, suggérant la possibilité d'une déviance.

Notre analyse des différents paramètres de la fluidité des tracés de lettres permet également de mieux cerner les caractéristiques cinématiques de l'écriture d'une enfant TAC en fonction des tâches. Ainsi, dans la tâche de copie de lettres, les paramètres de l'écriture de l'enfant M. qui diffèrent par rapport aux CP (trois lettres sur six) sont le nombre de levers de crayon (donc le nombre de traits constituant la lettre) et la longueur (diffèrent du groupe de CP pour trois lettres sur six). Ces différences se traduisent par des lettres de qualité moindre par rapport à un groupe d'enfants de même âge de niveau scolaire équivalent.

Ces résultats montrent donc que malgré le modèle et la présence de lignes de délimitation sur la feuille, la moitié des lettres produites par M. sont plus grandes que celles des enfants de CP. En outre, malgré un entraînement adéquat, la moitié des lettres de M. sont constituées de trop nombreux traits. Cela est très probablement lié au fait que les trajectoires des tracés de lettre des enfants TAC sont erronées en raison d'un déficit de contrôle moteur, amenant alors les enfants à corriger leur tracé par l'ajout d'un nouveau trait, comme nous l'observons ici pour la lettre « a » dans la tâche de dictée. La multiplication du nombre de traits va dans le sens d'une difficulté à associer ces derniers en une unité de base plus importante que serait la lettre, voire un ensemble de lettres, comme on le constate habituellement chez l'enfant, puis chez l'adulte ([Lambert et Espéret, 2002](#) ; [Van Mier et Hulstijn, 1993](#)).

Dans la tâche de dictée, les variables de l'écriture de M. qui diffèrent le plus de celles des enfants de CP sont la vitesse (trois lettres sur six), le nombre de mouvements lents (quatre lettres sur six) et la longueur (cinq lettres sur six). Il est important de noter que les valeurs de M. sont toujours supérieures à celles des CP, quelle que soit la lettre. Ainsi, les lettres produites par M. au cours de la tâche de dictée sont plus grosses que celles d'enfants de CP, alors qu'elles sont de taille équivalente à celles tracées par les enfants apprenti-scripteurs de GSM, malgré un entraînement adéquat et la présence de lignes directrices sur la feuille (type Seyes). Nos résultats montrent en outre que les lettres produites par M. sont constituées d'une alternance de mouvements lents et

de pics de vitesse. Le nombre plus important de mouvements lents peut être interprété comme des hésitations dans la production des lettres, probablement dues à un déficit de la mémoire procédurale (Nicolson et Fawcett, 2009). Enfin, nos résultats montrent que M. trace ses lettres beaucoup plus vite que les enfants de CP mais pour une durée totale de tracé équivalente, aux dépens de leur qualité comme le montrent les résultats de l'analyse qualitative des tracés. La vitesse moyenne plus élevée des tracés de l'enfant TAC pourrait expliquer les trajectoires erronées de ses tracés et pourrait être une caractéristique de l'écriture cursive d'enfants ne maîtrisant pas encore les mouvements nécessaires à cette écriture, tels que les enfants de GSM ou ceux présentant des troubles neuromoteurs. En outre, cette vitesse plus élevée pourrait révéler une stratégie de compensation de sa faiblesse neuromotrice adoptée par l'enfant TAC afin d'accomplir au mieux les tâches demandées. Cependant, malgré une vitesse moyenne plus élevée pour le tracé de lettres isolées, la durée totale de tracé n'est pas significativement différente de celle des enfants de CP. En outre, il est important de noter que dans le cas de tracé de mots ou de phrases, l'écriture des enfants TAC est globalement nettement plus lente que celles d'enfants ordinaires du même âge, comme le montre les résultats du test BHK de l'enfant M. (Fig. 1). Il serait intéressant d'étudier plus en détail les caractéristiques cinématiques de l'écriture de mots ou de phrases par des enfants TAC.

Conflit d'intérêt

Aucun.

Remerciements

Nous remercions les directeurs et enseignants des écoles maternelles et primaires, les enfants et leurs parents pour leur participation à cette étude. Ce travail a bénéficié du soutien financier du Centre national de la recherche scientifique et de l'université Pierre-Mendès-France (Grenoble II).

Références

- Adi-Japha, E., Landau, Y.E., Frenkel, L., Teicher, M., Gross-Tsur, V., Shalev, R.S., 2007. ADHD and dysgraphia: underlying mechanisms. *Cortex* 43 (6), 700–709.
- Ahonen, T., Kooistra, L., Viholainen, H., Cantell, M., 2004. Developmental motor learning disability: a neuropsychological approach. In: Dans Dewey, D., Tupper, D.E. (Eds.), *Developmental Motor Disorders: a Neuropsychological Perspective*. Guilford Press, New York, pp. 265–290.
- Albaret, J.M., 2005. Trouble de l'acquisition de la coordination et dyspraxie de développement. *Évolutions Psychomotrices* 17 (70), 193–200.
- Albaret, J.M., 2007. Clinique des troubles du mouvement intentionnels : de la débilité motrice au trouble de l'acquisition de la coordination (TAC). *Thérapie Psychomotrice et Recherches* 150, 86–100.
- Albaret, J.M., de Castelnau, P., 2007. Diagnostic procedures for developmental coordination disorder. In: Dans Geuze, R.H. (Ed.), *Developmental Coordination Disorder. A Review of Current Approaches*. Solal, Marseille, pp. 27–82.
- American Psychiatric Association, 2000. *Diagnostic and statistical manual of mental disorders*, 4th edition. American Psychiatric Association, Washington, DC.
- Ayres, A.J., 1972. *Sensory Integration and Learning Disorders*. Western Psychological Services, Los Angeles, CA.
- Bara, F., Gentaz, G., 2007. Apprendre à écrire. *Médecine et Enfance* 27 (4), 206–210.
- Bara, F., Gentaz, E., 2010. Apprendre à tracer les lettres : une revue critique. *Psychologie Française* 55, 129–144.
- Blöte, A.W., Hamstra-Bletz, E., 1991. A longitudinal study on the structure of handwriting. *Perceptual and Motor Skills* 72, 983–994.

- Butterworth, S., 1930. On the theory of filter amplifiers. *Wireless Engineer* 7, 536–541.
- Case-Smith, J., Weintraub, N., 2002. Hand function and developmental coordination disorder. In: Dans Cermak, S.A., Larkin, D. (Eds.), *Developmental Coordination Disorder*. Delmar, Albany, NY, pp. 157–171.
- Charles, M., Soppelsa, R., Albaret, J.-M., 2003. BHK – Échelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant. Éditions et Applications Psychologiques, Paris.
- Crawford, J.R., Garthwaite, P.H., 2002. Investigation of the single case in neuropsychology: Confidence limits on the abnormality of test scores and test score differences. *Neuropsychologia* 40, 1196–1208.
- Crawford, J.R., Garthwaite, P.H., 2007. Comparison of a single case to a control or normative sample in neuropsychology: Development of a bayesian approach. *Cognitive Neuropsychology* 24, 343–372.
- De Castelnau, P., Albaret, J.M., Chaix, Y., Zanone, P.G., 2008. A study of EEG coherence in DCD children during motor synchronization task. *Human Movement Science* 27 (2), 230–241.
- Dewey, D., 1995. What is developmental dyspraxia? *Brain and Cognition* 29, 203–221.
- Erez, N., Yochman, A., Parush, S., 1999. *The Hebrew Handwriting Evaluation*, 2nd Ed. Faculty of Medicine, School of Occupational Therapy, Hebrew University of Jerusalem.
- Geuze, R.H., 2005. Caractéristiques du trouble de l'acquisition de la coordination (TAC). In: Geuze, R.H. (Ed.), *Le trouble de l'acquisition de la coordination : évaluation et rééducation de la maladresse chez l'enfant*. Solal, Marseille.
- Graham, S., Struck, M., Santoro, J., Berninger, V., 2006. Dimensions of good and poor handwriting legibility in first and second graders: motor programs, visual-spatial arrangement, and letter formation parameter setting. *Developmental Neuropsychology* 29 (1), 43–60.
- Hamstra-Bletz, E., de Bie, J., Brinker, B.P.L.M. den., 1987. *Beknopte beoordelingsmethode voor kinderhandschriften (A concise method for the evaluation of children's handwriting)*. Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Hamstra-Bletz, L., Blöte, A.W., 1993. A longitudinal study on dysgraphic handwriting in primary school. *Journal of Learning Disabilities* 26, 689–699.
- Ivry, R.B., 2003. Cerebellar involvement in clumsiness and other developmental disorders. *Neural Plasticity* 10 (1–2), 141–153.
- Knuckey, N.W., Apsimon, T.T., Gubbay, S.S., 1983. Computerized axial tomography in clumsy children with developmental apraxia and agnosia. *Brain Development* 5, 14–19.
- Lambert, E., Espéret, E., 2002. Assemblage des unités traitées par les processus graphomoteurs et orthographiques au début de l'apprentissage de l'écriture. *Revue de Psychologie de l'Éducation* 6, 76–97.
- Lewis, M., Vance, A., Maruff, P., Wilson, P., Cairney, S., 2008. Differences in motor imagery between children with developmental coordination disorder with and without the combined type of ADHD. *Developmental Medicine and Child Neurology* 50 (8), 608–612.
- Mæland, A.F., 1992. Identification of children with motor coordination problems. *Adapted Physical Activity Quarterly* 9, 330–342.
- Mazeau, M., 1995. *Déficits visuo-spatiaux et dyspraxies de l'enfant. Du trouble à la rééducation*. Masson, Paris.
- Miller, L.T., Missiuna, C.A., Macnab, J.J., Malloy-Miller, T., Polatajko, H.J., 2001. Clinical description of children with developmental coordination disorder. *Canadian Journal of Occupational Therapy* 68, 5–15.
- Meulenbroek, R.G.J., Van Galen, G.P., 1988. The acquisition of skilled handwriting: discontinuous trends in kinematic variables. In: Colley, A.M., Beech, J.R. (Eds.), *Cognition and action in skilled behaviour*. Amsterdam: North-Holland, pp. 273–281.
- Nicolson, R.I., Fawcett, A.J., 2009. Dyslexia, dysgraphia, procedural learning and the cerebellum. *Cortex* doi:10.1016/j.cortex.2009.08.016 (in press).
- Noyer, M., Baldy, R., 2002. Du dessin à la lecture et à l'écriture. *Psychologie et Éducation* 49, 73–88.
- Querne, L., Berquin, P., Vernier-Hauvette, M.P., Fall, S., Deltour, L., Meyer, M.E., de Marco, G., 2008. Dysfunction of the attentional brain network in children with Developmental Coordination Disorder: A fMRI study. *Brain Research* 1244, 89–102.
- 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*, pp. 27–37.
- Rosenblum, S., Weiss, P.L., Parush, D., 2003. Product and process evaluation of handwriting difficulties. *Educational Psychology Review* 15, 41–81.
- Rosenblum, S., Livneh-Zirinski, M., 2008. Handwriting process and product characteristics of children diagnosed with developmental coordination disorder. *Human Movement Science* 27 (2), 200–214.
- Smits-Engelsman, B.C.M., 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* 20, 161–182.
- Smits-Engelsman, B.C.M., van Galen, G.P., 1997. Dysgraphia in children: lasting psychomotor deficiency or transient developmental display. *Journal of Experimental Child Psychology* 67, 164–184.

- Sugden, D., 2007. Current approaches to intervention in children with developmental coordination disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology* 49, 467–471.
- Van Mier, H., Hulstijn, W., 1993. The effects of motor complexity and practice on initiation time in writing and drawing. *Acta Psychologica* 84, 231–251.
- Visser, J., 2003. Developmental coordination disorder: a review of research on subtypes and comorbidities. *Human Movement Science* 22 (4–5), 479–493.
- Viviani, P., 1994. Les habiletés motrices. In: Richelle, M., Requin, J., Robert, M. (Eds.), *Traité de psychologie expérimentale*. PUF, Paris, pp. 777–844.
- Volman, M.J.M., Geuze, R.H., 1998. Relative phase stability of bimanual and visuomotor rhythmic coordination patterns in children with a Developmental Coordination Disorder. *Human Movement Science* 17, 541–572.
- Wade, M.G., Johnson, D., Mally, K., 2005. A dynamical systems perspective of Developmental Coordination Disorder. In: Dans Sugden, D.A., Chambers, M.E. (Eds.), *Children with Developmental Coordination Disorder*. Whurr Publishers, London, pp. 72–92.
- Wilmot, K., Brown, J.H., Wann, J.P., 2007. Attention disengagement in children with Developmental Coordination Disorder. *Disability & Rehabilitation* 29 (1), 47–55.
- Wilson, P.H., Maruff, P., Ives, S., Currie, J., 2001. Abnormalities of motor and praxis imagery in children with DCD. *Human Movement Science* 20 (1–2), 135–159.
- Wilson, P.H., Maruff, P., Lum, J., 2003. Procedural learning in children with developmental coordination disorder. *Human Movement Science* 22 (4–5), 515–526.
- Wright, H.C., Sugden, D.A., 1996. A two-step procedure for the identification of children with developmental co-ordination disorder in Singapore. *Developmental Medicine and Child Neurology* 38 (12), 1099–1105.
- Zesiger, P., 1995. *Écrire. Approches cognitive, neuropsychologique et développementale*. PUF, Paris.
- Zwicker, J.G., Missiuna, C., Boyd, L.A., 2009. Neural correlates of developmental coordination disorder: A review of hypotheses. *Journal of Child Neurology* 24 (10), 1273–1281.