



HAL
open science

Identification de deux sous-types de dysgraphies à partir de l'analyse de paramètres cinématiques et statiques de l'écriture d'enfants typiques et porteurs d'une dysgraphie

Laurence Casteran, Louis Deschamps, Jérôme Boutet, Saïffedine Aloui,
Marie-Ange N'guyen-Morel, Etienne Labyt, Caroline Jolly

► To cite this version:

Laurence Casteran, Louis Deschamps, Jérôme Boutet, Saïffedine Aloui, Marie-Ange N'guyen-Morel, et al.. Identification de deux sous-types de dysgraphies à partir de l'analyse de paramètres cinématiques et statiques de l'écriture d'enfants typiques et porteurs d'une dysgraphie. *A.N.A.E. Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 2021, 172, pp.337-345. hal-03101924

HAL Id: hal-03101924

<https://hal.univ-grenoble-alpes.fr/hal-03101924>

Submitted on 7 Jan 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Identification de deux sous-types de dysgraphies à partir de l'analyse de paramètres cinématiques et statiques de l'écriture d'enfants typiques et porteurs d'une dysgraphie

L. Casteran¹, L. Deschamps², J. Boutet², S. Aloui², M.-A. N'Guyen-Morel¹, E. Labyt², C. Jolly³

¹ Centre de Référence des Troubles du Langage et des Apprentissages, Centre Hospitalier Universitaire, 38040 Grenoble, France

² CEA- Leti, 17 rue des Martyrs, 38054 Grenoble, France

³ Université Grenoble-Alpes, Université Savoie Mont-Blanc, CNRS, LPNC, 38040 Grenoble, France

Correspondance : caroline.jolly@univ-grenoble-alpes.fr

Résumé

L'écriture est une compétence centrale dans les acquis scolaires, car elle est la base de nombreux autres apprentissages. Malgré un apprentissage correct, 5 à 10% des enfants d'âge scolaire sont cependant incapables d'atteindre un niveau de compétences suffisant pour leur permettre d'acquérir une écriture fonctionnelle. Ces déficits, appelés dysgraphies, affectent la vitesse et/ou la qualité de l'écriture, et peuvent impacter fortement la réussite scolaire des enfants s'ils ne sont pas diagnostiqués et pris en charge. En clinique, la dysgraphie est diagnostiquée à l'aide d'un test papier-crayon appelé BHK, qui consiste en la copie d'un texte pendant 5 minutes. Le développement récent des tablettes numériques permet aujourd'hui d'étudier la trace écrite d'un point de vue dynamique, en donnant accès à des paramètres cinématiques « cachés » de l'écriture qui rendent compte des mécanismes neuro-moteurs sous-jacents au processus d'écriture et à ses troubles.

Dans cette étude, nous présentons une analyse détaillée de paramètres cinématiques et statiques réalisée à partir de textes BHK numériques recueillis auprès d'un plus grand échantillon d'enfants (593), du CE1 au CM2, dont 118 porteurs d'une dysgraphie et recrutés dans différents lieux. Nos résultats montrent que les enfants porteurs d'une dysgraphie se caractérisent par une trace écrite plus longue et une lenteur d'écriture, due à une augmentation du temps de tracé, du temps en l'air et de la durée des pauses. En outre, nous avons identifié, au sein de notre cohorte d'enfants porteurs d'une dysgraphie, 2 sous-groupes qui se distinguent par la sévérité de la dysgraphie. Le premier groupe, qui présente une dysgraphie légère, est constitué principalement d'enfants recrutés dans les écoles, et les filles y sont surreprésentées (88.6%). Le second groupe d'enfants, porteurs d'une dysgraphie sévère qui affecte à la fois la vitesse et la qualité de l'écriture, est essentiellement constitué d'enfants recrutés dans un Centre Référent (CHU) et présentant des tableaux cliniques

complexes avec plusieurs comorbidités. L'identification de ces 2 sous-types de dysgraphie met en avant l'importance de prendre en compte le tableau clinique complet des enfants et les paramètres cinématiques de l'écriture pour les recherches futures.

Mots-clés

Ecriture manuscrite, dysgraphie, paramètres cinématiques, contexte clinique

Abstract

Handwriting is a complex but central skill in learning. Despite correct learning and training, some children never master this skill. These deficits, termed dysgraphia, affect both handwriting speed and quality, and may dramatically impact scholar achievement if they are not diagnosed and handled. The diagnosis of dysgraphia is based on a test called BHK, which consists in the copy of a text during 5 minutes. The recent development of digital tablets now allows to study handwriting from a dynamic point of view, by giving access to "hidden" kinematic parameters which reflect the underlying neuromotor processes.

In this study, we present a detailed analysis of static and kinematic parameters from numerical BHK samples collected from 593 children from 2nd- to 5th-grade, among which 118 displayed dysgraphia. Our results show that in children with dysgraphia, handwriting is longer and slower. Their handwriting appears to be slow due to increased on-paper time, increased in-air time, and increased pausing time. In addition, we identified among our cohort of children with dysgraphia 2 sub-groups of children, which differ by the severity of the disorder. The first group, which present a mild dysgraphia, is composed mainly of children recruited in schools, and girls are overrepresented in this group. The second group, which present severe dysgraphia, is essentially composed of children recruited in the Hospital Reference Center, with complex diagnoses usually including several comorbidities. The identification of these 2 sub-groups highlights the importance of taking into account, for future researches, the global clinical context of the children and the kinematic features of handwriting.

Keywords :

Handwriting, dysgraphia, kinematic parameters, clinical context

Resumen

La escritura a mano es una habilidad compleja pero central en el aprendizaje. A pesar del correcto aprendizaje y entrenamiento, algunos niños nunca dominan esta habilidad. Estos trastornos, denominados disgrafía, afectan tanto a la velocidad como a la calidad de la escritura a mano, y pueden afectar drásticamente otros aprendizajes académicos subsecuentes si no se diagnostican y manejan. El diagnóstico de la disgrafía se basa en una

prueba llamada BHK, que consiste en la copia de un texto durante 5 minutos. El reciente desarrollo de las tabletas digitales permite de objetivar ciertos factores la escritura a mano, como la dinámica (cinemática de la escritura) y reflejar así los procesos subyacentes.

En este estudio, presentamos un análisis detallado de los parámetros estáticos y cinemáticos a partir de muestras numéricas de BHK recogidas de 593 niños de 2º a 5º grado, entre los cuales 118 (19.9%) mostraron disgrafía. Nuestros resultados muestran que en los niños con disgrafía, la escritura es más larga y lenta. Esta escritura lenta parece ser determinada por el lentor no solamente del aumento de tiempo en el papel, pero también del aumento de tiempo en el aire y de tiempo de pausa. Nuestro análisis, también permitió identificar dos subgrupos en el grupo de niños de nuestra cohorte con disgrafía, y que se diferencian en la gravedad del trastorno. El primer grupo, que presenta una disgrafía leve, está compuesto principalmente por niños reclutados en escuelas, y que esta sobrerrepresentado por niñas. El segundo grupo, que presenta una disgrafía grave, está compuesto esencialmente por niños reclutados en el Centro de Referencia del Hospital, con diagnósticos complejos que suelen incluir varias comorbilidades. La identificación de estos 2 subgrupos pone de relieve la importancia de tener en cuenta, para futuras investigaciones, el contexto clínico global de los niños y los parámetros cinemáticos de la escritura a mano.

Palabras claves: Escritura, disgrafía, parámetros cinemáticos, contexto clínico

Introduction

L'écriture est une compétence centrale dans les acquis scolaires, car elle est la base de nombreux autres apprentissages. Sa maîtrise totale nécessite des années de pratique régulière (Blöte & Hamstra-Bletz, 1991; Vinter & Zesiger, 2007; Bara & Gentaz 2010 ; Albaret, 2013). L'apprentissage de l'écriture a pour but d'automatiser cette compétence afin de libérer des ressources attentionnelles pour d'autres activités de plus haut niveau comme la syntaxe, l'orthographe, ou la composition. Un niveau partiel d'automatisation est obtenu en fin d'école primaire, et on considère que l'automatisation est quasi-totale en fin de collège. Une écriture automatisée est une écriture dite fonctionnelle, c'est-à-dire à la fois rapide et dont la qualité permet la relecture par le scripteur ou par autrui.

Malgré un apprentissage correct, 5 à 10% des enfants d'âge scolaire sont cependant incapables d'atteindre un niveau de compétences suffisant pour leur permettre d'acquérir une écriture fonctionnelle (Smits-Engelsman et al., 2001 ; Charles et al., 2003 ; Danna et al., 2016 ; Jolly, 2017). Ces déficits, regroupés sous le terme de dysgraphies, affectent la vitesse et/ou la qualité de l'écriture, et peuvent impacter fortement la réussite scolaire des enfants s'ils ne sont pas diagnostiqués et pris en charge précocement (pour revue Danna et al., 2016). En France, le diagnostic de dysgraphie est réalisé sur la base du test BHK (Hamstra-Bletz et al., 1987 ; version française Charles et al., 2003), qui consiste en la copie d'un texte pendant 5 minutes. La qualité du produit d'écriture est ensuite évaluée sur la base de 13 critères donnant lieu à un score de dégradation, et la vitesse d'écriture est mesurée sur la base du nombre de caractères copiés en 5 minutes (score de vitesse).

Le développement récent des tablettes numériques permet aujourd'hui d'étudier la trace écrite d'un point de vue dynamique, et non plus uniquement statique. En donnant accès à des paramètres cinématiques « cachés » de l'écriture (vitesse d'exécution, accélérations, pression du stylo, etc ; Rosenblum et al., 2006 ; Guinet & Kandel, 2010), ces outils permettent d'étudier les mécanismes neuro-moteurs sous-jacents au processus d'écriture et à ses troubles. Cette nouvelle approche de l'écriture a donné lieu à bon nombre de publications, qui ont permis de mieux décrire le développement de l'écriture en contexte normal ou pathologique, et de mieux comprendre les déficits observés dans la dysgraphie. Une des difficultés actuellement rencontrées dans l'étude de la dysgraphie provient de la très grande hétérogénéité des dysgraphies, liée entre autres à leur origine développementale. En effet, les dysgraphies sont rarement observées de manière isolée, mais sont le plus souvent secondaires à un ou plusieurs troubles neuro-développementaux, principalement les dyslexies, les Troubles Développementaux de la Coordination (TDC) et le Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H) (pour revue Danna et al., 2016). Ainsi, l'existence de sous-types de dysgraphies a été proposée par plusieurs auteurs. Certaines sont basées sur les troubles associés (Deuel, 1994), d'autres sur la nature des déficits observés (Ajuriaguerra et al., 1964 ; Sandler et al., 1992). Très récemment nous avons identifiés des sous-types de dysgraphies basés sur les aspects dynamiques de

l'écriture, à partir d'une cohorte de 280 enfants porteurs ou non d'une dysgraphie (Gargot et al., 2020).

Dans cette étude, nous présentons une analyse détaillée de paramètres cinématiques et statiques (scores du BHK) réalisée à partir de textes du BHK recueillis auprès d'un plus grand échantillon d'enfants (593), du CE1 au CM2, dont 118 porteurs d'une dysgraphie. Notre objectif était d'identifier les paramètres les plus discriminants entre enfants porteurs d'une dysgraphie et enfants au développement typique, et d'identifier d'éventuels sous-types de dysgraphie sur la base de ces paramètres. Ce travail présente en outre la plus grande base de données numériques en écriture à ce jour.

Matériel et méthodes

Participants

Cinq cent quarante-vingt-treize enfants du CE1 au CM2 ont participé à cette étude. Ils ont été recrutés dans des écoles primaires de la région grenobloise (n=511) et au Centre de Référence des Troubles du Langage et des Apprentissages (CRTLA) du Centre Hospitalier Universitaire de Grenoble (n=82). Cette étude a été réalisée en accord avec la déclaration d'Helsinki, et l'approbation du Comité d'Ethique de l'Université de Grenoble (Agrément No. 2013-01-05-79). Le consentement écrit des parents ainsi que le consentement oral de tous les enfants ont été recueillis.

Tâches

Les enfants ont réalisé la tâche du BHK (Hamstra-Bletz et al., 1987 ; version française par Charles et al., 2003), un test standardisé largement utilisé en clinique pour évaluer la qualité et la vitesse d'écriture et diagnostiquer la dysgraphie. La tâche consiste en la copie d'un texte pendant cinq minutes sur feuille blanche. Comme notre projet inclue l'analyse de paramètres cinématiques de l'écriture, la tâche a été réalisée à l'aide d'un stylo à bille sur une feuille collée sur une tablette graphique (©Wacom Intuos Pro M, fréquence d'échantillonnage = 200Hz), afin que le contexte soit le plus écologique possible pour l'enfant. Le recueil des traces a été réalisé à l'aide du logiciel Graph Logger développé en collaboration avec les CEA-LETI (Devilleine et al., en préparation).

Cotation des BHK

Les cinq premières lignes du texte sont analysées, et la qualité d'écriture est évaluée sur la base de 13 critères. La vitesse d'inscription est évaluée par le nombre de caractères écrits en cinq minutes. Les 2 scores bruts obtenus (score de dégradation et vitesse) sont alors comparés à des normes tenant compte de la classe de l'enfant, générant ainsi des z-scores sur lesquels repose le diagnostic de dysgraphie. Sont considérés comme porteurs d'une dysgraphie les sujets dont au moins un des deux z-scores se situe au-delà de 2 écarts-types de la norme.

Les BHK recueillis dans cette étude ont été analysés par 1 à 4 experts. Les scores moyens ont été pris en compte pour l'assignation à un groupe. Sur la base de ces scores, les 593 participants ont donc été assignés soit au groupe no-DG (pas de dysgraphie) ou DG (dysgraphie).

Analyse cinématique de l'écriture

L'analyse des traces a été réalisée à l'aide du logiciel Ductus, développé au laboratoire (Guinet & Kandel, 2010). A partir des 5 premières lignes du BHK, un certain nombre de paramètres cinématiques qui reflètent les processus neuro-moteurs sous-jacents ont été extraits : la durée (sec) et la longueur des traits, le nombre et la durée (sec) des levers, le nombre et la durée (sec) des pauses supérieures à 35 msec (Paz-Villagran et al., 2014), la vitesse moyenne d'exécution des traits, et le SNvpd qui rend compte de la dysfluence (fluctuations anormales de vitesse ; Danna et al., 2013).

Analyses statistiques

Chaque paramètre a été comparé entre les 2 groupes à l'aide de tests de Student, effectués avec le logiciel Statistica. Etant donné le nombre élevé de comparaisons que nous avons réalisées (40), nous avons appliqué une correction de Bonferroni. Le seuil de significativité retenu est donc de 0.0012 (0.05/40).

L'analyse en cluster a été réalisée par la méthode des K-means, à l'aide du logiciel Statistica. Elle a été réalisée sur la base des variables « durée des traits », « durée des levers », « durée des pauses », et « score dégradation BHK », dont les valeurs ont été préalablement normalisées et centrées. Les meilleurs résultats ont été obtenus pour 2 clusters, en utilisant 10 itérations.

Résultats

Comparaison des scores du BHK entre groupes DG et no-DG

Les données démographiques des deux groupes sont présentées dans le Tableau 1.

	No-DG	DG	p
n	475	118	
CE1 (n)	146	27	
CE2 (n)	117	32	
CM1 (n)	98	34	
CM2 (n)	94	25	
Age moyen	9.1 (1.25)	9.27 (1.2)	.09
Genre (% garçons)	52.3	70.6	<.001
Main dominante (% droitiers)	88	87	.25
Score qualité	0.054 (0.91)	-2.98 (1.17)	<.001
Score vitesse	0.58 (1.03)	-0.65 (1.42)	<.001

Tableau 1. Caractéristiques démographiques des 2 groupes de participants. Les données sont présentées sous la forme moyenne (écart-type).

Ces deux groupes se distinguent bien par les scores de dégradation et de vitesse du BHK ($p < .001$). Parmi les 118 enfants du groupe DG, on retrouve 82 enfants recrutés au CRTLA, et 36 enfants recrutés dans les écoles. Ce dernier chiffre représente donc la proportion d'enfants présentant une dysgraphie dans les classes ayant participé à l'étude, soit 7.04% (36/511).

Une comparaison des scores de qualité et de vitesse entre les 2 groupes a ensuite été effectuée classe par classe. Les résultats sont présentés dans le Tableau 2.

	Score de vitesse			Score de dégradation		
	No-DG	DG	p	No-DG	DG	p
CE1	0.57 (1.13)	-0.91 (1.23)	<.001	0.03 (0.9)	-3.02 (0.9)	<.001
CE2	0.32 (0.98)	-1.21 (1.52)	<.001	-0.85 (0.9)	-2.84 (1.06)	<.001
CM1	0.51 (0.94)	-0.75 (1.17)	<.001	0.11 (0.93)	-3.45 (1.46)	<.001
CM2	1.01 (0.86)	0.47(1.25)	.014	0.17 (0.92)	-2.49 (0.92)	<.001

Tableau 2. Comparaison des scores de dégradation et de vitesse du BHK entre les 2 groupes pour chaque classe. Les données sont présentées sous la forme moyenne (écart-type).

Tous les scores sont significativement moins bons dans le groupe DG pour toutes les classes, à l'exception du score de vitesse en CM2.

Comparaison des paramètres cinématiques entre groupes DG et no-DG

Pour chaque classe, les différents paramètres cinématiques ont été comparés entre les deux groupes. Les résultats sont présentés dans le Tableau 3.

	CE1			CE2			CM1			CM2		
	no-DG	DG	P	no-DG	DG	p	no-DG	DG	p	no-DG	DG	p
Long traits	35.52 (9.96)	62.65 (28.01)	<.001	31.52 (7.21)	49.7 (24.74)	<.001	29.31 (6.52)	42.2 (12.92)	<.001	27.72 (5.19)	34.08 (11.68)	<.001
Durée traits	58.03 (19.47)	94.25 (41.48)	<.001	45.83 (14.35)	75.75 (32.77)	<.001	34.91 (8.31)	60.35 (26.4)	<.001	29.58 (6.95)	39.33 (23.92)	<.001
Nb levers	61.9 (10.68)	76.11 (16.21)	<.001	57.18 (9.31)	72.84 (17.44)	<.001	56.9 (8.34)	63.91 (10.26)	<.001	55.24 (9.83)	60.36 (6.02)	.015
Durée levers	64.52 (28.09)	169.56 (89.42)	<.001	47.95 (20.17)	122.96 (76.4)	<.001	34.3 (12.86)	103.09 (88.56)	<.001	27.97 (10.05)	47.6 (39.08)	<.001
Nb pauses	4.9 (6.8)	18.15 (25.58)	<.001	1.75 (4.02)	9.28 (11.73)	<.001	0.96 (1.97)	4.76 (7.52)	<.001	0.28 (0.59)	2.32 (5.35)	<.001
Durée pauses	1.14 (1.89)	4.69 (7.93)	<.001	0.35 (0.78)	2.67 (4.6)	<.001	0.19 (0.55)	0.75 (1.43)	.001	0.06 (0.2)	0.53 (1.42)	.002
Vitesse traits	0.66 (0.23)	0.73 (0.32)	.131	0.73 (0.21)	0.68 (0.26)	.316	0.87 (0.22)	0.79 (0.32)	.01	0.97 (0.24)	0.98 (0.34)	.916
SNvpd	159.71 (103.68)	339.67 (258.16)	<.001	103.26 (83.06)	239.44 (177.72)	<.001	66.73 (27.91)	149.65 (100.31)	<.001	52 (18.14)	91.36 (106.37)	<.001

Tableau 3. Comparaison des valeurs moyennes pour chaque paramètre cinématique et chaque classe entre les 2 groupes. Les données sont présentées sous la forme moyenne (écart-type).

Quasiment tous les paramètres analysés sont significativement différents entre les deux groupes pour toutes les classes, à l'exception du nombre de levers et de la durée des pauses pour les CM2 (du fait de de l'abaissement du seuil alpha consécutif à la correction de Bonferroni), et de la vitesse de tracé pour toutes les classes. Ainsi, le groupe DG se distingue par une longueur et une durée des traits, un nombre et une durée des levers, un nombre et une durée des pauses, et une dysfluence (SNvpd) plus élevés. En revanche, aucune différence n'est trouvée au niveau de la vitesse d'exécution des traits.

Des sous-types de dysgraphies basés sur les paramètres cinématiques ?

On peut noter une très grande variabilité entre les sujets au sein du groupe DG, comme en attestent les écarts-type importants observés. Afin de mieux caractériser cette hétérogénéité, nous avons donc réalisé une analyse en clusters. Pour cela, nous avons utilisé les paramètres cinématiques les plus discriminants entre les deux groupes (durée des traits, durée des levers et durée des pauses) et les scores de dégradation du BHK afin de mettre en évidence des sous-groupes. Les résultats, présentés dans la Figure 1, ont été obtenus après une seule itération. Le Tableau 4 regroupe les comparaisons entre les 2 clusters pour les différents paramètres analysés.

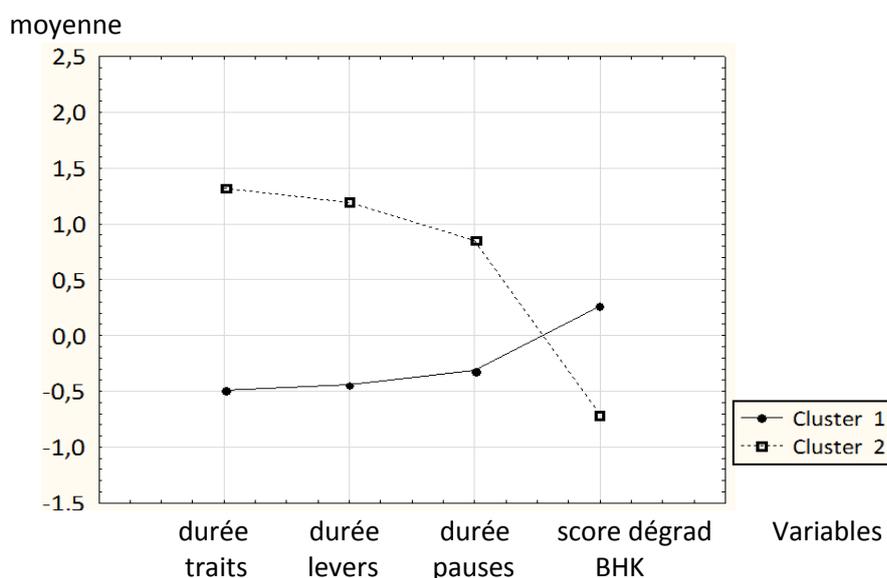


Figure 1. Moyenne des 2 clusters de sujets présentant une dysgraphie pour les 4 variables utilisés pour la sélection : « durée des traits », « durée des levers », « durée des pauses », et « score de dégradation du BHK ».

	Cluster 1	Cluster 2	p
n	86	32	
Nb sujets recrutés au CHU (sur 82)	51	31	.027
Nb sujets recrutés en école (sur 36)	35	1	<.001
Nb de filles (sur 35)	31	4	<.001
Latéralité (% gauchers)	10.46	15.6	.68
Longueur traits	39.02 (13.75)	69.16 (27.06)	<.001
Durée traits	50.53 (19.86)	114.31 (30.81)	<.001
nb levers	70.92 (15.86)	61.53 (7.43)	.002
Durée levers	74.48 (54.34)	212.57 (77.92)	<.001
nb pauses	10.85 (17.26)	2.31 (5.02)	.007
Durée pauses	0.64 (1.52)	6.12(7.67)	<.001
vitesse traits	0.73 (0.3)	0.94 (0.32)	.001
SNvpd	100.85 (100.5)	414.76 (221.2)	<.001
Score dégradation BHK	-2.68 (0.92)	-3.8(1.4)	<.001
Score vitesse BHK	-0.2 (1.36)	-1.87 (0.73)	<.001

Tableau 4. Comparaison des 2 clusters de sujets présentant une dysgraphie. Les données sont présentées sous la forme moyenne (écart-type).

Cette analyse met en évidence deux sous-groupes d'enfants distincts au sein du groupe DG. Un premier groupe (cluster 1, ligne continue) est constitué à 59.3% d'enfants recrutés au CHU et à 40.7% d'enfants recrutés dans les écoles. Ce cluster se caractérise par des durées moyenne d'écriture et de levers moins importantes, et des scores de dégradation peu déficitaires. A l'inverse, le cluster 2 (ligne pointillée) est constitué presque exclusivement (96.9%) par les enfants recrutés au CHU. Les caractéristiques de ce cluster sont des durées moyennes d'écriture et de levers importantes, et des scores de vitesse et de dégradation très déficitaire. Si on s'intéresse uniquement au groupe d'enfants présentant une dysgraphie recrutés dans les écoles (n=36), on constate qu'on les retrouve à 97.2% dans le premier groupe.

Une analyse détaillée des deux sous-groupes identifiés montre des différences significatives pour l'ensemble des paramètres cinématiques analysés. On observe notamment pour le cluster 2 des traits plus longs que pour le cluster 1, une dysfluente (SNvpd) plus élevée, une vitesse d'exécution des traits plus élevée, et un score de vitesse au BHK plus déficitaire. En outre, nous observons un effet important du genre ($p < .001$), avec 88.6% des filles (31/35) dans le cluster 1, suggérant que les dysgraphies plus sévères toucheraient plutôt les garçons. En revanche, aucun effet de la latéralité d'écriture n'est observé ($p = .68$).

Enfin nous avons comparé les 8 paramètres cinématiques et les 2 scores BHK de chaque cluster avec ceux des enfants à développement typique. Ces résultats sont présentés dans le Tableau 5 ci-dessous :

	typiques	Cluster 1	p	Cluster 2	p
n	455	86		32	
Longueur traits	31.54 (8.29)	39.02 (13.75)	<.001	69.16 (27.06)	<.001
Durée traits	44.03 (17.98)	50.53 (19.86)	.002	114.31 (30.81)	<.001
nb levers	58.23 (10)	70.92 (15.86)	<.001	61.53 (7.43)	.068
Durée levers	46.2 (24.9)	74.48 (54.34)	<.001	212.57 (77.92)	<.001
nb pauses	2.28 (4.82)	10.85 (17.26)	<.001	2.31 (5.02)	.972
Durée pauses	0.51 (1.25)	0.64 (1.52)	.387	6.12 (7.67)	<.001
vitesse traits	0.79 (0.26)	0.73 (0.3)	.075	0.94 (0.32)	<.001
SNvpd	102.79 (85.27)	100.85 (100.5)	.851	414.76 (221.2)	<.001
Score dégradation BHK	0.05 (0.91)	-2.68 (0.92)	<.001	-3.8 (1.4)	<.001
Score vitesse BHK	0.58 (1.03)	-0.2 (1.36)	<.001	-1.87 (0.73)	<.001

Tableau 5. Comparaison entre le chaque cluster et le groupe contrôle pour chacun des paramètres cinématiques et des scores BHK. Les données sont présentées sous la forme moyenne (écart-type).

Les résultats obtenus confirment une dysgraphie moins sévère chez les enfants du cluster 1, qui diffèrent des enfants typiques au niveau de 4 paramètres : la longueur des traits, le nombre et une durée des levers, et le nombre de pauses, qui sont tous significativement plus élevés. Il est à noter que la durée des traits est également plus élevée chez les sujets du cluster 1, bien que cette différence ne soit pas en dessous du seuil de significativité qui a été diminué par la correction de Bonferroni. Il est en outre intéressant de noter que la dysflue (SNvpd) de ce groupe d'enfants n'est pas différente de celle des sujets contrôles. Chez les sujets du cluster 2, la quasi-totalité des paramètres cinématiques sont significativement plus élevés que chez les sujets contrôles, à l'exception du nombre de levers et de pauses.

Discussion

Dans cette étude, nous présentons une comparaison détaillée de l'écriture de 475 enfants typiques et 118 enfants porteurs d'une dysgraphie, sur la base de paramètres cinématiques et statiques de l'écriture extraits des 5 premières lignes du BHK. Cette base de données

constitue la plus grosse base de données numériques d'écriture existantes à ce jour. Elle est constituée d'enfants recrutés dans différentes écoles et dans un Centre Référent (CHU). Nous avons identifié 7,04% d'enfants porteurs d'une dysgraphie dans les écoles, ce qui est en accord avec les chiffres décrits dans d'autres études en France (Charles et al., 2003 ; Gargot et al., 2020). En outre, les garçons sont significativement surreprésentés dans le groupe DG, avec un taux d'environ 70%, en accord avec la littérature (Charles et al., 2003 ; Gargot et al., 2020).

La première analyse réalisée sur les scores de vitesse et de dégradation du BHK montre que les enfants porteurs d'une dysgraphie (groupe DG) se distinguent bien des enfants typiques (groupe no-DG) pour les 2 scores, et ce pour toutes les classes, à l'exception du score de vitesse en CE2. Cette exception peut s'expliquer par le fait que bien que moins bon pour le groupe DG, la différence de score de vitesse entre les deux groupes pour le CM2 n'est pas significative (.014) en raison de la correction de Bonferroni que nous avons appliquée, qui diminue le seuil alpha (.0012). Il est en outre intéressant de noter que seuls les scores de dégradation sont déficitaires pour le groupe DG, confirmant le fait que la dysgraphie affecte avant tout la qualité d'écriture.

La seconde analyse portant sur les paramètres cinématiques montre que les enfants du groupe DG se caractérisent par une trace écrite plus longue, et une durée d'écriture plus longue également. Comme le montrent nos résultats, cette durée d'écriture augmentée s'explique non seulement par une augmentation du temps de tracé, mais également par une augmentation du nombre et de la durée des levers et des pauses. Ces résultats sont en accord avec les résultats d'autres études (Rosenblum et al., 2003 ; Paz-Villagran et al., 2014). Dans une tâche de copie comme celle utilisée ici, les levers et les pauses pendant l'écriture sont en partie liés au temps de retour au modèle, et les enfants porteurs d'une dysgraphie sont plus affectés par ce type de tâche que les enfants typiques. Cependant, l'augmentation du nombre et de la durée des pauses chez des enfants porteurs d'une dysgraphie a été également mise en évidence en utilisant une tâche de dictée de mots, montrant donc que la nature de la tâche ne suffit pas à expliquer cette différence (Paz-Villagran et al., 2014). Ces différences reflètent donc bien également un déficit perceptivo-moteur, notamment un défaut de planification, et pas uniquement un déficit cognitif ou visuel lié à la difficulté de la tâche. Comme cela a été montré par ces mêmes auteurs, l'augmentation du nombre et de la durée des pauses reflète une dysfluence de l'écriture, confirmée d'ailleurs par l'augmentation du SNvpd qui en est un excellent marqueur (Paz-Villagran et al., 2014). Il a été suggéré que cette augmentation des pauses pourrait être liée à un bruit neuromoteur plus élevé chez les enfants porteurs d'une dysgraphie (Van Galen et al., 1993). Enfin, de manière plus générale, ces résultats reposent encore une fois la pertinence de l'utilisation d'une unique tâche de copie pour le diagnostic de la dysgraphie, qui peut induire un biais dans les résultats.

Nos résultats s'inscrivent également dans le contexte d'une question plus générale qui a été soulevée par certains chercheurs : celle de l'existence d'une réelle lenteur d'écriture chez les enfants porteurs d'une dysgraphie (Paz-Villagran et al., 2012). Les résultats présentés ici montrent clairement que les enfants porteurs d'une dysgraphie écrivent plus lentement, ce qui explique d'ailleurs leurs scores de vitesse qui sont inférieurs au groupe contrôle. Il est cependant intéressant de noter qu'aucune différence n'est observée entre les 2 groupes concernant la vitesse d'exécution des traits. Ceci s'explique simplement par le fait que la longueur de leur trace écrite augmente ainsi que la durée. En outre, notre cohorte d'enfants porteurs d'une dysgraphie est hétérogène, avec des sujets présentant des tableaux cliniques très variés et souvent complexes. Il est possible que la lenteur d'écriture soit une caractéristique de certains types de dysgraphies, notamment celles observées chez les enfants présentant une dyslexie (Lam et al., 2011 ; Sumner et al., 2012 ; Pagliarini et al., 2015).

Notre dernière analyse, basée sur les scores de dégradation du BHK et les paramètres de durée, met en évidence deux sous-types de dysgraphie au sein de notre cohorte d'enfants porteurs d'une dysgraphie. Le premier sous-type, dans lequel on retrouve 97.2% des enfants recrutés dans les écoles et 88.6% des filles, présente une dysgraphie moins sévère, avec des scores BHK moins déficitaires, des durées moyennes d'écriture et de levers moins importantes, et aucune dysfluence (SNvpd). Le second sous-type, qui est constitué à 96.9% des enfants recrutés au CHU, présente des dysgraphies sévères, caractérisées par des scores nettement plus déficitaires, aussi bien en qualité qu'en vitesse. Au niveau cinématique, ce second sous-type se caractérise par des longueurs et durées plus élevées, et également par une vitesse d'exécution des traits significativement plus élevée que chez les contrôles. Cette observation est intéressante et reflète une stratégie de compensation déjà décrite chez certains sujets dysgraphiques, notamment les enfants présentant un TDC (Jolly et al., 2010 ; Jolly et Gentaz, 2014). Les traits sont réalisés plus vite, malgré une durée d'exécution de la tâche plus importante, reflétant un possible manque de maîtrise des mouvements nécessaires à cette tâche et donc un défaut d'automatisation.

L'identification de ces 2 sous-types de dysgraphie met en avant l'importance de la connaissance du tableau clinique des enfants. En effet, la quasi-totalité des sujets du second sous-type ont été recrutés au Centre Référent des Troubles du Langage et des Apprentissages du CHU, et la plupart présentaient des tableaux cliniques complexes, avec plusieurs comorbidités. Il apparaît donc essentiel pour les futures recherches de prendre en compte le lieu de recrutement des enfants et leur tableau clinique complet.

Remerciements

Nous remercions Lucile Huet, Elodie Navarre, Ingrid Zammouri, David Cohen et Thomas Gargot du Service de Psychiatrie de l'Enfant et de l'Adolescent de la Pitié-Salpêtrière à Paris pour l'aide à la cotation des BHK, ainsi que Gabrielle Agolini et Hanna Chesnokova pour l'aide au recueil des données et à la cotation des BHK. Nous remercions Chloé Greco et Julie Saine pour l'aide à l'analyse des données, et Marcela Perrone-Bertolotti (LPNC) pour la traduction en espagnol.

Références

- Bara, F., & Gentaz, E. (2010). Apprendre à tracer les lettres : une revue critique. *Psychologie Française*, 2(55), 129-144.
- Ajuriaguerra, J., de Auzias, M., Coumes, I., Lavondes-Monod, V., Perron, R., & Stambak, M. (1964). *L'écriture de l'enfant*. Paris : Delachaux & Niestlé.
- Albaret, J.-M., Kaiser, M.-L., & Soppelsa, R. (Eds.) (2013). *Troubles de l'écriture chez l'enfant: Des modèles à l'intervention*. Bruxelles: De Boeck-Solal.
- Blöte, A.W., & Hamstra-Bletz, L. (1991). A longitudinal study on the structure of handwriting. *Perceptual and Motor Skills*, 72, 983-994.
- Charles, M., Soppelsa, R., & Albaret, J.-M. (2003). *BHK – Echelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant*. Paris : Editions et Applications Psychologiques.
- Danna, J., Paz-Villagrán, V., & Velay, J.-L. (2013). Signal-to-noise velocity peaks difference : A new method for evaluating the handwriting movement fluency in children with dysgraphia. *Research in Developmental Disabilities*, 34(12), 4375–4384.
- Danna, J., Velay, J.-L., & Albaret, J.-M. (2016). Dysgraphies. *In* : *Traité de Neurolinguistique*. S. Pinto & M. Sato (Eds.). Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, p337-346.
- Deuel, R.K. (1995). Developmental Dysgraphia and Motor Skills Disorders. *Journal of Child Neurology* 10(suppl.), S6–S8.
- Gargot, T., Asselborn, T., Pellerin, H., Zammouri, I., Anzalone, S.M., Casteran, L., Johal, W., Dillenbourg, P., Cohen, D., & Jolly, C. (2020). Acquisition of handwriting in children with and without dysgraphia: A computational approach [Electronic version]. *PLOS ONE* 15(9), e0237575.
- Guinet, E., & Kandel, S. (2010). Ductus: A software package for the study of handwriting production. *Behavior Research Methods* 42, 326-332.
- Hamstra-Bletz, L., de Bie, J., & den Brinker, B. (1987). Concise evaluation scale for children's handwriting. Swets 1 zeitlinger ed. Lisse.
- Jolly, C., Huron, C., Albaret, J.-M., & Gentaz, E. (2010). Analyse comparative des tracés de lettres cursives d'une enfant atteinte d'un trouble d'acquisition de la coordination et scolarisée en CP avec ceux d'enfants ordinaires de GSM et de CP. *Psychologie Française* 55, 145-170.

Jolly, C., & Gentaz, E. (2014). Analysis of cursive letters, syllables, and words handwriting in a French second-grade child with Developmental Coordination Disorder and comparison with typically developing children. *Frontiers in Psychology* 4, 1022.

Jolly, C. (2017). Dyspraxies et troubles de l'écriture. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages de l'Enfant* 151, 1-7.

Lam, .S.S.T, Au, R.K.C., Leung, H.W.H., & Li-Tsang C.W.P. (2011). Chinese handwriting performance of primary school children with dyslexia. *Research in Developmental Disabilities* 32(5), 1745-1756.

Pagliarini, E., Guasti, M.T., Toneatto, C., Granocchio, R.E., Riva, F., Saeti, D., Molteni, B., & Stucchi, N. (2015). Dyslexic children fail to comply with the rhythmic constraints of handwriting. *Human Movement Science* 42, 161-182.

Paz-Villagrán, V., Gilhodes, J.C., & Velay, J.-L. (2012). Les enfants dysgraphiques sont-ils réellement plus lents que les autres ? *Développement* 13(4), 38-44.

Paz-Villagrán, V., Danna, J., & Velay, J.-L. (2014). Lifts and stops in proficient and dysgraphic handwriting. *Human Movement Science* 33, 381–394.

Rosenblum, S. (2003). The in-air phenomenon : temporal and spatial correlates of the handwriting process. *Perceptual and Motor Skills* 96(3), 933-954.

Rosenblum, S., Chevion, D., & Weiss, P.L. (2006). Using data visualization and signal processing to characterize the handwriting process. *Pediatric Rehabilitation* 9(4), 404–417.

Sandler, A.D., Watson, T.E., Footo, M., Levine, .M.D, Coleman, W.L., & Hooper, S.R. (1992). Neurodevelopmental study of writing disorders in middle childhood. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics* 13, 17-23.

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.

Sumner, E., Connelly, V., & Barnett, A.L. (2012). children with dyslexia are slow writers because they pause more often and not because they are slow at handwriting execution. *Reading and Writing* 26, 991-1008.

Van Galen, G.P., Portier, S.J., Smits-Engelsman, B.C., & Schomaker, L.R. (1993). Neuromotor noise and poor handwriting in children. *Acta Psychologica* 82(1-3), 161-178.

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