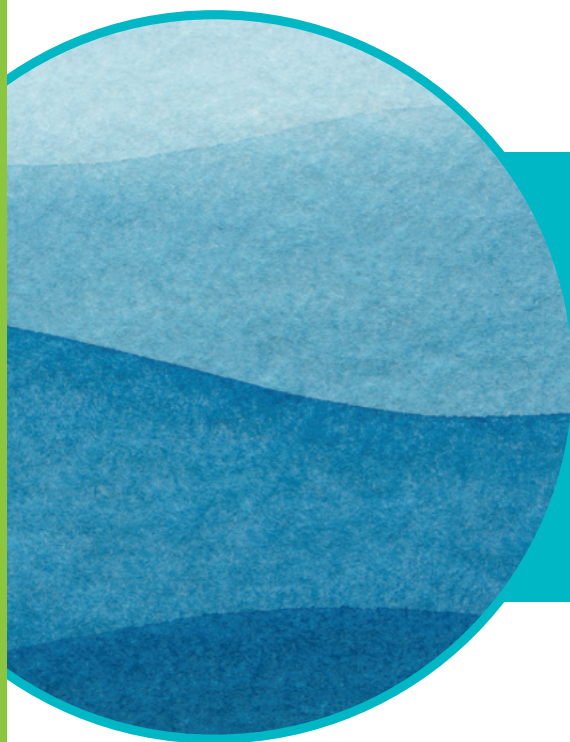


Sous la direction de Jean-François Connan,
Marianne Jover et Jérémy Danna

APPRENTISSAGE, ÉVALUATION ET RÉÉDUCATION DE L'ÉCRITURE

Du papier au numérique



- Comprendre les pratiques scripturales (papier, ordinateur, smartphone)
- Connaître les mécanismes de l'apprentissage de l'écriture
- Identifier et rééduquer les troubles graphiques

Apprentissage, évaluation et rééducation de l'écriture : du papier au numérique

Sous la direction de Jean-François Connan,
Marianne Jover et Jérémy Danna

De Boeck Supérieur
5, allée de la Deuxième Division blindée
75015 Paris

www.deboecksuperieur.com

© De Boeck Supérieur, rue du Bosquet, 7 – 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique

Tous droits réservés pour tous pays.

Il est interdit, sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, de reproduire partiellement ou totalement le présent ouvrage, de le stocker dans une banque de données ou de le communiquer au public, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit.

Dépôt légal :

Bibliothèque Nationale de France : octobre 2025

Bibliothèque Royale de Belgique : 2025/13647/157

ISBN : 978-2-8073-6440-0

Sommaire

Propos introductif	5
Partie 1	
Introduction – Écrire aujourd’hui.....	7
Chapitre 1. Qu’est-ce qu’écrire ?	8
Chapitre 2. Du stylo au clavier d’ordinateur	23
Chapitre 3. État des lieux des connaissances sur la production écrite sur smartphone.....	35
Partie 2	
Contrôle, apprentissage et développement de l’écriture.....	49
Chapitre 4. Le contrôle du mouvement d’écriture.....	50
Chapitre 5. L’apprentissage de l’écriture manuscrite à l’ère du numérique.....	61
Chapitre 6. Bases cérébrales de l’écriture et de son apprentissage : effets du type d’expertise.....	72
Chapitre 7. Quelques conceptions erronées sur l’écriture : analyse à la lumière des recherches actuelles.....	87
Partie 3	
Les troubles de l’écriture	97
Chapitre 8. La dysgraphie dans les troubles <i>dys</i>	98
Chapitre 9. Les particularités de l’écriture manuscrite des personnes avec trouble du spectre de l’autisme.....	112
Chapitre 10. Les dysgraphies chez l’adulte	121

Partie 4

Évaluation.....	137
Chapitre 11. L'évaluation de l'écriture : tests et questionnaires.....	138
Chapitre 12. L'évaluation de l'écriture à l'ère du numérique : vers de nouveaux outils	154

Partie 5

Rééducation.....	163
Chapitre 13. Introduction à la rééducation de l'écriture : principes généraux et diversité des approches.....	164
Chapitre 14. Le PEP'S : la motivation au service de l'écriture.....	176
Chapitre 15. L'imagerie motrice intégrée à la rééducation de l'écriture : éléments théoriques, intérêts, et mise en pratique	191
Chapitre 16. Modifier la perception sensorielle de l'écriture pour mieux la contrôler, l'apprendre, et la rééduquer	205
Chapitre 17. Protocole de rééducation de l'écriture dans la maladie de Parkinson	217
Bibliographie.....	233
Présentation des auteurs	299

Propos introductif

Certaines (et certains) pourraient trouver quelque peu paradoxal de lire un ouvrage sur l'écriture et sur la rééducation de ses troubles à l'ère du numérique. Avec le numérique, la difficulté à écrire à la main repose surtout dans la recherche du stylo lui-même, dont l'encre a séché, faute de son utilisation rare, et qui tend à disparaître de nos tiroirs. Du haut de ses quelques millénaires, l'acte de manier un stylo pour laisser une trace deviendrait-il un geste du passé ? Extrêmement long à apprendre, plus lent et difficile que le clavier de l'ordinateur ou du smartphone qui permettent de communiquer dans l'urgence du quotidien... Tout porte à croire que l'écriture manuscrite devient optionnelle chez l'adulte, et que sa survie repose à présent principalement sur une volonté politique de la maintenir dans le système éducatif. Force est de constater que le temps alloué à sa pratique et à son apprentissage se réduit comme peau de chagrin. À en croire le rapport « Lire et Écrire » publié il y a presque dix ans (Goigoud, 2016), suite à une étude menée auprès de 131 classes de CP, le constat est atterrant : le temps moyen passé au travail spécifique du geste graphique n'occupe que 16 minutes en moyenne du temps hebdomadaire, avec une très grande hétérogénéité dans les pratiques enseignantes. Il n'y a malheureusement aucune donnée scientifique actuelle sur le pourcentage précis d'enfants en difficulté sur le plan graphomoteur en France, mais nous pouvons soutenir sans trop de risque qu'il dépasse largement les 5 % lors de l'étalonnage du test diagnostique le plus utilisé en France début des années 2000.

Et si l'une des sources du problème devenait également une solution ? En effet, le numérique ouvre de nouvelles perspectives d'aide à l'évaluation de l'écriture manuscrite, à son apprentissage ou encore à la rééducation de ses troubles. Ces *smartphones* dont la taille grandit suffisamment pour utiliser un stylet, ces tablettes dont le prix diminue, et ces nouvelles méthodes de *machine learning* permettent d'analyser plus finement toute la complexité de l'écriture manuscrite.

Écrire n'est pas un simple moyen de communication, mais une activité corporelle et cognitive unique, influencée par les outils qu'elle requiert. À l'ère du numérique, l'écriture est un acte qui mérite d'être redéfini. Il est essentiel de poser dès à présent les contours de cette pratique, en identifiant les différentes dimensions qui nous intéressent dans ce contexte. Qu'est-ce qu'écrire, aujourd'hui ? Cette première question constitue la première partie de l'ouvrage. Il débute par une définition de l'écriture manuscrite (chapitre 1.1, Olive & Danna) avant d'aborder l'écriture au clavier d'ordinateur (chapitre 1.2, Pinet), puis sur smartphone (chapitre 1.3, Anastaseni & Kandel).

Le deuxième volet de l'ouvrage s'intéresse plus spécifiquement au contrôle du mouvement d'écriture manuscrite, et à son apprentissage dans le contexte numérique. Le rôle crucial du contrôle de l'écriture manuscrite est en premier lieu étudié d'un point de vue des sciences du mouvement humain (chapitre 2.4, Danna *et al.*). Ensuite, en lien avec le monde de l'éducation, les enjeux spécifiques de l'apprentissage

de l'écriture manuscrite à l'ère numérique sont rapportés (chapitre 2.5, Bonneton-Botté). Cette thématique de l'apprentissage est complétée avec les travaux menés en neurosciences pour comprendre le fonctionnement de l'écriture au niveau cérébral, de l'apprentissage initial à l'expertise via l'étude de la bicultualité (chapitre 2.6, Alhaddad *et al.*). Le dernier chapitre de ce volet détaille des conceptions erronées sur l'écriture à la lumière des recherches récentes (chapitre 2.7, Bara & Danna).

Le troisième volet de l'ouvrage est consacré aux troubles de l'écriture. Une première attention est portée aux dysgraphies dans les troubles neurodéveloppementaux (chapitre 3.8, Jover *et al.*), puis plus spécifiquement dans le Trouble du Spectre de l'Autisme (chapitre 3.9, Tsao *et al.*). Enfin, nous nous intéressons aux agraphies et dysgraphies secondaires chez l'adulte pathologique (chapitre 3.10, Pinto *et al.*).

La quatrième partie de l'ouvrage porte sur les outils d'évaluations de l'écriture et de ses troubles dans le contexte du numérique. Dans un premier temps, l'évaluation de l'écriture en France et à l'étranger est abordée à travers les tests et questionnaires existants (chapitre 4.11, Puyjarinet *et al.*). Ensuite, une réflexion sur les nouveaux outils pour évaluer l'écriture est menée, dans le contexte des outils numériques et des méthodes d'IA, pour accompagner le clinicien lors du diagnostic et de la mise en place d'une stratégie de prise en charge (chapitre 4.12, Jolly).

Le cinquième et dernier volet est consacré à la rééducation de l'écriture. Dans un premier temps, les grands principes du contrôle moteur sont repris et contextualisés pour justifier différents types de rééducation (chapitre 5.13, Connan *et al.*). Ensuite, un focus est porté sur un programme en particulier, le Programme d'Écriture Positif et Spécifique (PEP'S) (chapitre 5.14, Madiou & Vauchel). Dans la continuité, un autre chapitre est consacré à l'imagerie motrice pour aider à rééduquer le mouvement d'écriture (chapitre 5.15, Puyjarinet). Enfin, les deux derniers chapitres portent sur les stratégies de modification de la perception sensorielle de l'écriture (chapitre 5.16, Connan *et al.*), avec pour finir une description de protocole spécifique de rééducation de l'écriture dans le cadre de la maladie de Parkinson, via un outil numérique (chapitre 5.17, Véron-Delor *et al.*).

Ce livre recense et met à la disposition des lectrices et lecteurs francophones une sélection d'approches théoriques, de revue de travaux et de recherches expérimentales issues de la psychologie et de la psycholinguistique, des sciences du mouvement humain, des sciences de l'éducation, des neurosciences, et de la clinique. Les auteurs, d'horizons divers, y partagent leurs réflexions et leurs analyses d'une façon accessible aux étudiants et aux professionnels qui souhaitent approfondir leurs connaissances et développer leur savoir-faire, en lien avec l'acquisition et la rééducation de l'écriture à l'ère du numérique. Chaque chapitre explore, avec sa propre focale, ce même objet qui nous fascinent toutes et tous : l'écriture. Nous tenons à remercier très vivement les auteurs qui ont participé à cet ouvrage collectif et souhaitons excellente lecture aux curieux (et curieuses) qui tiennent cet ouvrage entre leurs mains.

Bonne lecture.

Jérémy Danna, Jean-François Connan, Marianne Jover

Partie 1

Introduction – Écrire aujourd’hui

Chapitre 1

Qu'est-ce qu'écrire ?

Thierry Olive & Jérémy Danna

Outil d'expression et de communication, l'écriture nécessite une coordination entre mouvement et pensée. Chaque mot écrit résulte d'une série de processus neuro-cognitifs intervenant à différents niveaux de traitements – sémantique, syntaxique, orthographique, et moteur – et impliquant différents niveaux de contrôle, allant du tracé des traits successifs qui forment les lettres jusqu'à l'organisation cohérente d'un texte (Hayes & Flower, 1981 ; Van Galen, 1991). Comprendre ces mécanismes requiert donc d'appréhender l'écriture comme une tâche multidimensionnelle, où se mêlent contrôle du mouvement et élaboration linguistique. Autrement dit, maîtriser l'écriture ne se limite pas à former correctement des lettres, mais suppose une véritable orchestration neurocognitive de compétences motrices, cognitives et linguistiques.

En « dessinant la parole », l'écriture permet de communiquer, d'exprimer ses émotions, d'argumenter, de convaincre, de mémoriser, d'apprendre... (on peut penser ici aux fonctions référentielle, expressive, poétique, conative, phatique ou métalinguistique du langage selon Jakobson, 1963). Toutefois, bien qu'elles visent un même but communicationnel, les situations d'écriture sont différentes de la parole (même si certains usages récents de l'écrit, comme la communication via les réseaux sociaux, s'apparentent plus fortement à l'oral). En premier lieu, les rédacteurs doivent anticiper les réactions de leurs lecteurs, puisque ces derniers ne sont pas présents lors de l'émission du langage ; ils ne transmettent donc pas de signaux indiquant leur compréhension (ou non) du message, comme le ferait un interlocuteur lors d'une conversation orale. Pour anticiper d'éventuelles difficultés de compréhension, le scripteur doit donc, au cours de la rédaction, se projeter continuellement pour devenir son propre lecteur. Ce changement de perspective est un trait essentiel de l'expertise rédactionnelle (Kellogg, 2008). En second lieu, alors que la parole est évanescence, la trace écrite est pérenne. Les rédacteurs peuvent donc revenir sur leurs écrits autant de fois qu'ils le souhaitent avant de les transmettre. L'évaluation du texte produit revêt ainsi un caractère particulier et spécifique à l'écrit. Enfin, la plupart des activités d'écriture s'inscrivent dans des cadres plus formels que l'oral et impliquent des registres de langage souvent plus élaborés. Ainsi, les produits écrits ne sont pas la simple traduction graphique de la parole : les textes répondent à des normes et des contraintes spécifiques au registre écrit (p. ex., l'orthographe, la ponctuation, l'organisation des contenus, la cohérence référentielle... ; voir également les travaux qui

montrent que l'étendue du lexique utilisé à l'oral est très inférieure à l'étendue du lexique utilisé à l'écrit, Chervel, 1992)

En somme, penser l'écriture demande d'inscrire la graphomotricité dans un cadre à la fois général de production du langage, mais aussi dans le cadre spécifique de la communication écrite. Comprendre le fonctionnement neurocognitif d'un rédacteur implique donc de décrire non seulement l'ensemble des mécanismes qui participent à la formation de la trace graphique, mais aussi les processus qui soutiennent la génération des contenus, la formulation du langage et son évaluation. Cette question est d'autant plus importante que, comme nous le verrons plus loin, des difficultés graphomotrices peuvent impacter le déroulement des mécanismes cognitifs qui sous-tendent les compétences nécessaires à la production du langage écrit. Par ailleurs, l'évolution des technologies conduit à questionner la place et l'impact des outils numériques d'écriture dans les apprentissages, en particulier lorsqu'ils sont utilisés comme des substituts du papier/crayon. Proposer un clavier à un enfant qui éprouve des difficultés motrices avec le stylo ne supprime pas forcément ses difficultés s'il ne maîtrise pas le clavier...

1. Comment définir l'écriture ?

Une manière de définir l'écriture consiste à considérer comment les différents modèles qui sont disponibles permettent de la comprendre et de l'expliquer, de la prédire et de l'optimiser. Force est de constater que ces modèles proviennent des deux principaux domaines scientifiques qui situent l'écriture au carrefour entre le monde de la linguistique et de la psycholinguistique, et celui de la motricité et de la psychomotricité. Les recherches conduites dans le premier champ s'intéressent principalement au contenu de l'écriture, allant du sens du mot à celui du texte, selon le respect des règles orthographiques, grammaticales et syntaxiques de la langue dans lequel ce contenu est produit à l'écrit. L'objectif principal est de comprendre les mécanismes cognitifs qui sous-tendent la production de mots, phrases, textes et discours. La compréhension de l'acte même d'écrire n'est pas envisagée comme une finalité, mais devient une variable d'intérêt lorsqu'elle impacte la production du langage (Van Waes *et al.*, 2021). Sont ainsi étudiés les processus impliqués dans la cognition élaborée et la pensée (résolution de problèmes, raisonnement, planification, évaluation, etc.) et ceux impliqués pour produire le langage. Le second champ de recherche, la graphonomie (*Graphonomics* dans la communauté internationale), étudie les phénomènes graphiques, c'est-à-dire la trace écrite et sa formation. Cette approche est le pendant écrit de l'étude acoustique de la parole dans le langage oral. Les nombreux modèles de reconnaissance de formes (« *pattern recognition* »), en sciences du mouvement (allant par exemple du modèle oscillatoire d'Hollerbach, 1981, à celui de André *et al.*, 2014) ou encore « neuro-computationnels » (p. ex. Grossberg & Paine, 2000 ;

Plamondon & Guerfali, 1998) s'inscrivent dans ce domaine. Sont ici étudiés les processus moteurs de génération de la trace écrite.

Les processus engagés dans la rédaction peuvent donc être sensorimoteurs (dans le cas présent l'écriture manuscrite ou la dactylographie), cognitifs (par exemple pour développer un raisonnement et organiser le texte dans le sens de l'argumentation), ou linguistiques, pour formuler les idées en langage en passant par la révision du texte (Olive, 2014). Plus précisément, les traitements cognitifs et linguistiques impliquent des traitements conceptuels, syntaxiques, lexicaux, orthographiques et d'évaluation pour décider quoi écrire, comment formuler le texte, orthographier les mots et évaluer ce qui a été écrit.

Le propos ici n'est pas de référencer et de décrire l'ensemble des modèles existants dans ces deux grands domaines scientifiques, mais plutôt d'en expliquer certains pour mieux définir ce qu'est l'écriture, en commençant par un des modèles les plus cités, celui de Van Galen (1991) qui est un des premiers à proposer une vision unifiée des dimensions motrices, linguistiques et cognitives. En effet, afin de décrire ces différents niveaux de traitement de l'information, Van Galen (1991) propose un modèle de l'écriture qui distingue non seulement les différents modules de traitement impliqués dans la préparation et l'exécution motrice, mais aussi les unités d'écriture qui sont traitées par chacun de ces modules. Ce modèle est présenté dans la figure 1.

Figure 1 : Architecture de modules de traitement selon les unités de l'écriture, selon le modèle de Van Galen (1991). Les pointillés séparent les composantes linguistiques et les composantes motrices de l'écriture.

Modules de traitement	Taille des unités	Type de mémoire
activation d'intentions	idées	mémoire épisodique
↓	↓	
rappel sémantique	concepts	lexique verbal
↓	↓	
construction syntaxique	phrases	mémoire à court terme
↓	↓	
orthographe	mots	tampon orthographique

↓	↓	
sélection des allographes	graphèmes	mémoire motrice
↓	↓	
contrôle de la taille	allographe	tampon moteur
↓	↓	
ajustement musculaire	traits	
↓	↓	
formation de la trajectoire en temps réel		

Il est important de noter que, dans ce modèle, l'architecture des modules est hiérarchique : la sortie de chaque étape constitue l'entrée de l'étape inférieure, avec un traitement d'une unité de plus petite taille. De plus, tous les modules sont engagés simultanément dans des activités de traitement, avec cependant des sorties de traitement issues des modules supérieurs en avance sur celles issues des modules inférieurs. Pour gérer ces décalages temporels dans les niveaux de traitement, des mémoires tampons (dits « *buffer* ») permettent le stockage transitoire des sorties des différents modules, assumés comme étant indépendants (voir aussi Olive, 2014).

L'écriture manuscrite est donc considérée dans ce modèle comme un processus dynamique et interactif qui engage des processus cognitifs, linguistiques, et moteurs pour préparer, exécuter et contrôler la production de la trace écrite. Dans ce cadre, l'automatisation du geste est essentielle, car elle permet non seulement d'augmenter la vitesse d'écriture, mais aussi de libérer des ressources cognitives pour les autres processus impliqués au niveau rédactionnel (Berninger & Swanson 1994 ; Bouriga & Olive, 2020).

2. Modélisation des processus rédactionnels

Plusieurs modèles ont été proposés pour rendre compte des processus de haut niveau engagés lors de la rédaction de textes : certains ont décrit comment ces processus sont acquis au cours de l'apprentissage de l'écriture, d'autres se sont focalisés sur la rédaction experte. C'est le cas du premier modèle qui décrivait les processus cognitifs de rédaction, proposé par Hayes et Flower au début des années 1980. Ces auteurs ont identifié trois processus centraux en plus de la transcription graphique : la planification, la mise en texte et la révision (Hayes & Flower, 1981).

Les traitements dits de planification conceptuelle ou sémantique sont mis en œuvre pour récupérer les connaissances stockées dans la mémoire à long terme du rédacteur, puis pour les organiser et les hiérarchiser. Les stratégies de gestion des connaissances évoluent avec l'âge des rédacteurs et leur niveau d'expertise (Kellogg, 2008.) Les rédacteurs les plus jeunes ou novices planifient et révisent peu leurs textes. Ils écrivent généralement simplement leurs idées au fur et à mesure qu'elles leur viennent à l'esprit. Les rédacteurs plus âgés ont recours à une stratégie plus globale visant à structurer et à évaluer leur texte, et non plus seulement ce qu'ils viennent d'écrire. Enfin, les rédacteurs les plus experts utilisent quant à eux des stratégies de rédaction élaborées, en évaluant constamment comment leur texte pourrait être interprété par des lecteurs. Cela implique une planification importante du texte et une révision constante, tout en changeant régulièrement de perspective pour devenir leur propre lecteur et oublier leur intention de rédacteur.

Les traitements linguistiques permettent quant à eux de formuler le langage en définissant les propriétés orthographiques, syntaxiques et morphologiques des mots et des phrases. Deux opérations au minimum sont nécessaires pour produire

du langage : choisir un lexique (la lexicalisation) et définir l'organisation syntaxique de son message (la linéarisation). La lexicalisation implique deux voies de traitement (pour une revue, voir Perret & Olive, 2019) : une voie sous-lexicale ou de conversion phonème-graphème et une voie lexicale qui permet de récupérer directement les représentations lexicales/orthographiques stockées en mémoire à long terme. La représentation qui résulte de ces processus est ensuite stockée dans une mémoire de travail orthographique pendant la réalisation de la trace graphique.

La composante de contrôle ou de révision évalue le produit de chacune des composantes précédentes. Deux types de contrôle peuvent donc être identifiés : un contrôle proactif qui a pour but de vérifier et éventuellement d'améliorer la représentation interne d'un message avant sa rédaction, et le contrôle rétroactif qui vérifie le texte déjà produit. Cette évaluation rétroactive repose sur la lecture de son propre texte pour y repérer des difficultés ou erreurs éventuelles. Il faut noter que l'évaluation du texte ne conduit pas systématiquement à une correction : le rédacteur peut considérer que le problème détecté peut rester en l'état. Par ailleurs, les rédacteurs habiles révisent plus les aspects profonds de leurs textes, comme l'organisation sémantique des contenus, alors que les rédacteurs moins expérimentés apportent essentiellement des révisions d'orthographe ou de ponctuations.

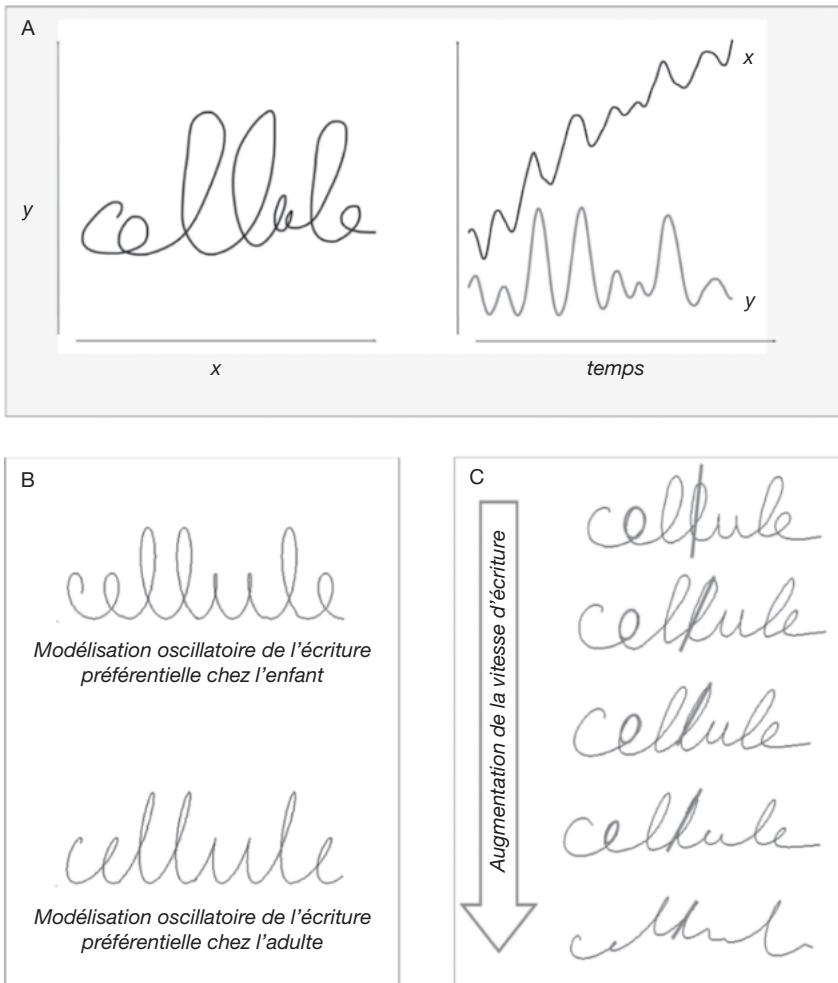
Les modèles ultérieurs ont précisé ces trois niveaux de traitement, mais le changement le plus notable est la prise en compte du rôle de la mémoire de travail. Il est en effet maintenant admis que l'utilisation des processus de rédaction est fortement contrainte par la capacité limitée de la mémoire de travail. Des modèles décrivant le rôle de la mémoire de travail ont ainsi été proposés pour rendre compte du développement des compétences d'écriture et du fonctionnement des rédacteurs experts. Globalement, ces modèles, ainsi que les travaux qu'ils ont amenés, ont décrit la nature des demandes que l'écriture impose à la mémoire de travail et l'ampleur de ces demandes (pour des bilans, voir Olive, 2021, 2022).

3. Modélisation des processus de formation de la trace écrite

S'intéresser à l'écriture manuscrite au niveau du contrôle moteur revient à modéliser la formation de la trace écrite. L'enjeu ici n'est pas de s'intéresser à la formation d'un mot ou même d'une lettre. Il se situe à un niveau plus primitif de formation de la trace écrite, qui se caractérise alors par un codage vectoriel de séquences motrices, définies d'un point de vue physique par une direction, une amplitude, une courbure (c'est-à-dire une variation plus ou moins importante de direction au cours du temps), et un sens de rotation. Il s'agit donc de prédire comment se forme une trace écrite, et de comprendre pourquoi certaines traces écrites sont plus faciles à produire sur le plan moteur.

Certains modèles se concentrent sur l'étude d'un simple trait (ou *stroke* dans la littérature anglophone ; voir par exemple la théorie cinématique de Plamondon & Guerfali, 1998). D'autres se focalisent sur l'assemblage séquentiel de ces traits avec l'apprentissage (p. ex. Grossberg & Paine, 2000), d'autres encore analysent la décomposition de mots ou de phrases, ce qui peut se résumer d'un point de vue cinématique à des mouvements oscillatoires sur les deux axes que le plan d'écriture forme (p. ex., Hollerbach, 1981 ; André *et al.*, 2014 ; pour une illustration, voir figure 2A).

Figure 2 : A. Illustration du caractère oscillatoire de l'écriture manuscrite. À gauche, représentation spatiale du mot « cellule » écrit par un participant avec la maladie de Parkinson (y en fonction de x). À droite, représentation temporelle du même mot (x et y en fonction du temps). B. Modélisation oscillatoire du mot « cellule » en intégrant les couplages préférentiels chez l'enfant (en haut) et l'adulte (en bas). C. Illustration de la déformation de l'écriture chez un même scripteur adulte qui devait écrire le mot de plus en plus vite. L'augmentation de vitesse conduit le système moteur à se coordonner de manière préférentielle (autour de 45°) jusqu'à perdre en stabilité et produire une écriture illisible (exemple du bas).



En considérant les caractéristiques oscillatoires de l'écriture, l'approche dynamique de la coordination (Kelso, 1995) offre un cadre conceptuel pertinent pour rendre compte de la coordination motrice impliquée dans le mouvement d'écriture. Écrire est en effet un mouvement coordonné, défini comme le résultat d'interactions entre ses différentes composantes : on parle de « couplage ». Dans ce cadre, il s'agit alors d'étudier ce phénomène de couplage entre les deux composantes orthogonales (x et y) qui définissent le plan d'écriture et qui oscillent au cours du temps.

En 2004, Athènes et collaborateurs ont proposé un paradigme issu de l'approche dynamique de la coordination pour étudier la formation de la trace écrite. Cette conceptualisation du mouvement d'écriture en termes d'oscillateurs couplés a permis de déterminer l'émergence de tracés préférentiels chez l'adulte (Athènes *et al.*, 2004 ; Danna *et al.*, 2011), qui diffèrent de ceux observés chez l'enfant (Danna *et al.*, 2012 ; voir aussi figure 2B). Le point le plus intéressant est que cette conceptualisation du mouvement d'écriture en termes d'oscillateurs couplés permet de décrire, avec très peu de variables, la formation et la déformation de la trace écrite face à une contrainte qui agit sur le système moteur (voir figure 2C), ou en lien avec un trouble neuro-développemental ou neuro-évolutif.

4. Quelles sont les spécificités de l'écriture manuscrite ?

L'écriture est une activité artéfactuelle à double titre. D'une part, elle a été créée par l'être humain il y a seulement quelques milliers d'années et elle est pratiquée par la majorité de la population mondiale depuis quelques siècles seulement. D'autre part, elle nécessite de manipuler un outil, contrairement à la parole pour laquelle l'être humain dispose d'un système phonatoire dédié. Écrire est donc moins naturel que parler. Si on considère comme pathologique un enfant qui ne parle pas, il faut savoir que certaines sociétés humaines (Aborigènes d'Australie, par exemple) n'écrivent tout simplement pas. Par ailleurs, devenir expert de l'écriture manuscrite à l'âge adulte nécessite un apprentissage de plusieurs années afin 1) de contrôler au niveau moteur la tenue et le déplacement du stylo pour écrire, 2) de maîtriser au plan cognitivo-linguistique les différentes formes et registres de l'écrit, et 3) de construire et stabiliser au niveau cérébral des réseaux neuronaux efficients.

Il est intéressant de noter que l'entrée dans le monde de l'écrit débute par le dessin, que ce soit d'un point de vue ontogénétique, chez l'enfant qui commence à gribouiller ses premiers tracés, ou d'un point de vue phylogénétique, à l'échelle de l'évolution humaine. Si le plus ancien exemple de dessin abstrait date de 73 000 ans (Henshilwood *et al.*, 2018), les premières écritures sont bien plus récentes. La première est apparue il y a environ 6 000 ans en Égypte et à Sumer, au sud de l'Irak actuel (Renouard, 2015). La naissance de l'écriture, qui définit le début de notre Histoire, répond à des besoins

pratiques d'administration, de commerce et d'économie¹. Il faudra ensuite attendre le milieu du xv^e siècle pour démocratiser l'accès au monde de l'écrit dans le monde occidental, avec la presse de Gutenberg. D'autres changements mineurs ont eu lieu par la suite, concernant cette fois l'outil scripteur. La plume a laissé la place au stylo-plume à la fin du xix^e siècle, puis le stylo-bille a détrôné le stylo-plume à partir des années 60. Mais la dernière révolution de l'écriture va émerger au cours d'une révolution actuelle que nous vivons à un niveau bien plus global : la révolution numérique.

Le numérique bouleverse non seulement notre rapport au savoir, mais également notre manière de le communiquer à travers l'espace et le temps. Ces changements profonds dépassent nos pratiques, ils changent notre manière de penser, notre manière d'être, humain savant ou *Homo Sapiens*, en train de devenir *Homo Numericus* depuis l'émergence des « *digital natives* » (Prensky, 2001), qui grandissent avec les technologies numériques (ordinateurs, smartphones, montres connectées...). Ce bouleversement numérique modifie les pratiques d'écriture, avec le stylo qui laisse peu à peu sa place au clavier. Quelles en sont les conséquences sur le développement des processus linguistiques dans la rédaction à l'écrit ? Ou plus généralement sur le développement moteur ou sur le développement du langage ? Ou encore sur d'autres processus cognitifs, comme la mémoire ? Pour répondre à ces questions, il faut comprendre les interactions entre les mécanismes d'écriture proprement dits et les mécanismes de production du langage.

5. Rôle de l'écriture et de son apprentissage sur le développement des processus rédactionnels

Les compétences motrices mises en œuvre pour transcrire le texte jouent un rôle important dans la performance d'écriture. Ainsi, chez les enfants du primaire, le niveau de maîtrise de la transcription contribue à 66 % à la fluence rédactionnelle (évaluée par le nombre de mots écrits par minute lors de la rédaction) et à 25 % à la qualité des textes produits par ces enfants (Berninger *et al.*, 1992). Avec l'apprentissage, cette contribution diminue au cours des classes intermédiaires et secondaires, laissant place à des contraintes liées aux compétences linguistiques. Cependant, les compétences en transcription continuent de contribuer à la performance d'écriture chez les étudiants de premier cycle qui rédigent des textes (Connelly *et al.*, 2005) ou prennent des notes (Peverly & Sumowski, 2012).

1. Notons à ce propos que les symboles d'orge et de processus de fabrication de boisson fermentée trouvés sur des tablettes sumériennes ont permis de confirmer l'origine très ancienne de la bière, remontant à la période préhistorique.

Cette forte contribution de la transcription graphique au début des apprentissages provient essentiellement de son faible niveau d'automatisation. Comme le montrent Berninger et Swanson (1994), les traitements graphomoteurs posent dès le début de l'apprentissage de la rédaction les plus fortes contraintes sur la mémoire de travail, en nécessitant de façon très forte sa capacité limitée. Avec l'âge, ces contraintes liées à la transcription diminuent pour laisser la place à des contraintes plus en lien avec les contenus ou la formulation, déterminant davantage la qualité de la communication écrite. Dans cette perspective, l'automatisation de l'écriture est indispensable pour que les processus conceptuels et linguistiques puissent se mettre en place et opérer de façon efficace en exploitant toute la capacité disponible de la mémoire de travail¹.

Les travaux de Jones et Christensen (1999) illustrent très bien l'impact positif de l'automatisation de l'écriture sur les compétences rédactionnelles. Ces auteurs ont étudié l'impact d'une intervention visant à améliorer les compétences d'enfants présentant des difficultés d'écriture sur leur expression écrite. Au cours d'une intervention qui a duré sept mois, les enfants étaient entraînés à former des lettres à partir d'activités leur permettant de développer la vitesse et la précision du tracé. Ils effectuaient des exercices classiques d'écriture et des exercices spécifiques visant à développer et stimuler les mouvements. Avant et après ces interventions, les enfants ont rédigé un récit qui recevait un score global d'expression écrite, calculé à partir de différentes dimensions (structure et cohérence des contenus, orthographe, syntaxe, fluence de rédaction). Alors qu'avant l'intervention, les enfants du groupe contrôle produisaient des textes de meilleure qualité que les enfants du groupe intervention, après l'intervention, aucune différence n'était observée entre ces deux groupes (il faut noter que les enfants du groupe contrôle avaient poursuivi leur apprentissage classique de l'écriture). Comme le soulignent Jones et Christensen (1999), le manque d'automatisation de l'écriture conduit en effet les étudiants à se concentrer sur l'acte d'écriture plutôt que sur la génération de texte. Des résultats similaires ont été observés par Christensen (1994) après une intervention visant à améliorer des compétences dactylographiques de collégiens.

6. Rôle de l'écriture et de son apprentissage sur le développement moteur

L'effet de la pratique d'écriture manuscrite sur le développement et la stabilisation de la latéralité manuelle chez l'enfant n'est, à notre connaissance, pas encore établi.

1. En s'appuyant sur les travaux de Berninger et collaborateurs (pour une revue, voir Berninger 1999), McCutchen (1996) a proposé la théorie capacitaire de la mémoire de travail dans l'écriture qui décrit précisément comment la capacité limitée de la mémoire de travail peut contraindre la mise en œuvre des traitements d'écriture, et, en particulier, comment le coût élevé de la transcription graphique en début d'apprentissage peut impacter des traitements liés à la préparation du texte.

Pour autant, plusieurs indicateurs indirects laissent penser qu'elle y participe fortement. Par exemple, Sandve *et al.* (2018) ont comparé, chez des personnes adultes droitières fortement latéralisées, les effets à court terme d'une pratique intensive d'écriture manuscrite avec la main gauche. Cette pratique consistait à écrire un texte quotidiennement pendant quinze jours avec leur main gauche. En début de pratique, en fin de pratique, puis un mois plus tard, les auteurs ont testé les performances d'écriture, ainsi que la dominance manuelle et les capacités motrices fines des deux mains à l'aide d'un test connu et standardisé : le Purdue Pegboard¹. Les résultats ont révélé qu'à la suite de cette pratique importante d'écriture, non seulement la qualité d'écriture avec la main gauche a augmenté, mais également leurs capacités motrices fines, et ce, au niveau des deux mains. En revanche, l'indice de latéralité manuelle, qui indique le degré de latéralisation, n'était pas affecté. Cette étude indique donc que la pratique d'écriture permet d'améliorer le contrôle visuomanuel, sans pour autant modifier profondément la latéralité manuelle qui est bien stabilisée chez l'adulte.

Une étude plus récente menée par Alhaddad *et al.* (2024) confirme ce résultat en comparant les performances de dextérité manuelle et de motricité fine chez des scripteurs qui ont un niveau de pratique d'écriture élevé, capables d'écrire dans deux systèmes graphiques différents, et des scripteurs ayant un niveau de pratique moins élevé, capables d'écrire dans un seul système graphique. Ces auteurs ont montré que les scripteurs ayant un niveau de pratique d'écriture plus élevé ont de meilleures performances de dextérité manuelle et de motricité fine.

Enfin, la pratique de l'écriture semble également contrer les effets du vieillissement sur la motricité manuelle fine. En 2010, Sülzenbrück et collaborateurs ont étudié les performances de dextérité manuelle à travers plusieurs tâches manuelles, dont une centrée sur le tracé de lignes, auprès d'un groupe de près de 180 adultes âgés et 180 adultes jeunes. Ils ont observé un effet classique du vieillissement, avec un ralentissement dans la performance motrice, à l'exception de cette tâche graphomotrice de tracé de lignes où ils ont observé que le groupe âgé était plus rapide pour effectuer cette tâche que le groupe d'adultes jeunes. L'argument mis en avant pour justifier cet effet surprenant était la diminution des pratiques d'écriture dans le groupe d'adultes jeunes, en lien avec le développement des technologies de communication numérique. Le même groupe a confirmé cette hypothèse en publiant l'année suivante une étude qui comparait deux groupes d'adultes jeunes selon leurs habitudes d'écriture, l'un au clavier et l'autre avec le crayon : ils ont observé le même résultat en faveur du groupe qui écrit à la main (Sülzenbrück *et al.*, 2011). Il s'agit bien sûr d'une diminution des performances de motricité fine avec la main dominante, mais il ne faut pas oublier que l'écriture au clavier, activité bimanuelle, aura probablement pour effet d'améliorer le contrôle de la main non dominante.

1. Ce test consiste à prendre des chevilles de 1 mm de diamètre et de 25 mm de long dans un bol et à d'en placer le maximum dans la rangée de trous indiquée par le testeur pendant 30 secondes.

7. Rôle de l'écriture sur le développement de la communication orale

De façon peut-être moins intuitive, l'écriture impacte aussi, et de façon positive, le développement du langage oral. En effet, le développement des compétences rédactionnelles (accès au vocabulaire, renforcement des compétences syntaxiques, de la pensée critique et de l'expression d'idées) participe en retour au développement du langage oral (Berninger *et al.*, 2000). Mais la pratique d'écriture peut-elle produire un effet possiblement néfaste sur la communication orale ? À première vue, nous pourrions penser que non. Pourtant, d'anciennes études menées dans les années 1930 ont porté sur le bégaiement chez l'enfant. Dans ce cadre, Bryngelson (1935 ; Bryngelson & Clark, 1933) a constaté qu'auprès de 127 enfants avec un bégaiement, 81 % d'entre eux étaient des gauchers contrariés, c'est-à-dire des enfants gauchers que l'on a contraints à écrire avec leur main droite.

Comme indiqué précédemment, l'écriture manuscrite stabilise la latéralisation manuelle. Cette stabilisation participe au phénomène plus général de latéralisation cérébrale. Les hémisphères cérébraux gauche et droit sont en effet le siège de fonctions motrices et cognitives distinctes, dont la complémentarité et la communication sont assurées par le corps calleux qui relie les deux hémisphères. Il s'avère que la préférence manuelle et le langage sont deux fonctions particulièrement latéralisées, en particulier chez les personnes droitnières. Chez les gauchers, des travaux neuroscientifiques révèlent que la latéralisation cérébrale est moins marquée. Une étude en neuro-imagerie menée auprès d'environ 300 participants a confirmé que la très grande majorité des sujets, qu'ils soient droitiers ou gauchers, présente une latéralisation cérébrale typique, avec un hémisphère gauche largement dominant dans les fonctions langagières (Mazoyer *et al.*, 2014). Il faut noter cependant qu'environ 7 % des gauchers ont un hémisphère droit dominant à la fois pour le langage et pour la motricité manuelle (Mazoyer *et al.*, 2014). Le fait de forcer les enfants gauchers à écrire avec la main droite les contraint à faire fonctionner des régions cérébrales proches, situées dans l'hémisphère gauche, à la fois pour contrôler la motricité de leur main contralatérale qui écrit (à droite) et pour contrôler la motricité impliquée dans la parole. Dans les années 30, l'hypothèse avancée était que le bégaiement résulterait d'une altération de la dominance cérébrale unilatérale native, ou de l'absence d'une dominance physiologique dans l'un ou l'autre des hémisphères cérébraux. Cette hypothèse a eu un regain d'intérêt dans les années 2010 (p. ex., Kushner, 2011 ; 2012), mais la récente méta-analyse centrée sur cette hypothèse (Papdatou-Pastou *et al.*, 2023) révèle qu'il n'y a pas encore de conclusions définitives concernant ce lien entre bégaiement et réduction des asymétries hémisphériques.

Quoi qu'il en soit, le fait de forcer la pratique de l'écriture avec la main droite chez les gauchers augmente fortement le risque de développer un bégaiement (à noter que le bégaiement est actuellement envisagé comme un trouble du neurodéveloppement qui, par définition, repose sur des mécanismes biologiques précédant l'effet de

l'expérience). Si demain, l'écriture manuscrite disparaît au profit de l'écriture au clavier, et se pratique alors avec les deux mains, il est possible que cela entraîne des conséquences sur la latéralisation manuelle, et possiblement sur la latéralisation d'autres fonctions cognitives. Il reste peu probable que le nombre d'enfants avec bégaiement augmente, mais nous assisterons peut-être à des perturbations plus fines non soupçonnées à l'heure actuelle.

8. Rôle de l'écriture et de son apprentissage sur la mémorisation de l'information

Une caractéristique de l'écriture est sa dimension épistémique : écrire permet d'apprendre. Si, pour Galbraith *al.* (2024) l'écriture soutient la construction des connaissances en demandant une manipulation délibérée des connaissances et une spécification de ces connaissances et de leurs relations avec des énoncés précis, l'écriture contribue aussi aux apprentissages en consolidant la mémoire à long terme (Silva & Limongi, 2019).

Cette consolidation de la mémoire à long terme interviendrait en particulier lors de l'encodage des informations, ce qui faciliterait par exemple leur reconnaissance ultérieure. En effet, le geste graphomoteur permettrait de construire des représentations multimodales qui intègrent des informations sensorimotrices, mais aussi des informations visuelles relatives à la forme des lettres. Cette interprétation en termes de cognition incarnée est soutenue par des études de neuro-imagerie qui ont montré que la visualisation des lettres réactive les zones cérébrales impliquées lors de leur production motrice (Longcamp *et al.*, 2003). Cet effet au niveau cérébral a des conséquences au niveau comportemental. En effet, quand un lecteur japonais ou chinois se trouve face à un caractère kanji qu'il sait écrire, mais dont il ne souvient plus du sens, il trace alors spontanément en l'air les traits dans l'ordre approprié (technique du « Ku-sho ») pour le retrouver. Cela signifie que l'activation du souvenir sensori-moteur de la lettre permet non seulement de retrouver sa forme, mais également de faciliter l'accès au sens (Kato *et al.*, 1999). Cela expliquerait aussi pourquoi la mémorisation des lettres est moins bonne avec la dactylographie. En effet, tracer des lettres ou les taper fait intervenir des compétences motrices et des gestes moteurs fondamentalement différents. Ces différences de gestes d'écriture, continus pour l'écriture manuscrite, et séquentiels pour l'écriture dactylographique, pourraient expliquer la meilleure mémorisation chez les enfants et des adultes de lettres (Longcamp *et al.*, 2005 ; Mayer *et al.*, 2020), et possiblement de mots (Mangen *et al.*, 2015) et de phrases (Frangou *et al.*, 2018) lorsque l'apprentissage est réalisé avec une écriture manuscrite plutôt que dactylographique. Si l'effet est bien admis au niveau de la lettre, notons cependant que l'effet au niveau du mot ou de la phrase reste encore à confirmer. En effet, l'étude de Mayer *et al.* (2020) ne retrouve pas l'avantage observé au niveau de la lettre lorsqu'il analyse les performances de lecture de mots. Pourquoi ? Parce

qu'écrire au clavier est plus simple et rapide à apprendre qu'écrire à la main. Il se pourrait donc que les avantages observés sur la mémorisation de mots et de phrases soient en fait liés à un temps de pratique et à un engagement dans la tâche d'une durée plus importante dans le cas de l'écriture manuscrite (résultat constaté par Frangou *et al.*, 2018). Imaginons, par exemple, que nous ayons un temps limité d'une heure pour apprendre à mémoriser un texte en l'écrivant à la main ou au clavier. Nous pourrions alors le copier plus de fois au clavier qu'à la main. Savoir quelles seraient les conséquences sur sa mémorisation reste à l'heure actuelle une question sans réponse.

Des travaux plus anciens ont examiné comment le niveau d'automatisation en écriture manuscrite ou dactylographique affecte cette fois-ci non plus la reconnaissance des informations écrites, mais leur rappel. Il faut noter que, dans ces études, comparativement aux études décrites ci-dessus, la mémorisation a été effectuée en lisant des listes de mots (ou d'autres informations) et n'impliquait donc pas un encodage via l'écriture ; seul le rappel des informations impliquait l'écriture. Une première approche a consisté à comparer la performance de rappel d'enfants et d'adultes, à l'oral et à l'écrit. Les résultats montrent qu'alors que les adultes rappellent un nombre de mots similaire lorsque le rappel est écrit ou oral, les enfants en rappellent moins à l'écrit qu'à l'oral (Bourdin & Fayol, 1994 ; voir aussi 2020). Cette baisse du rappel observée à l'écrit chez les enfants n'est pas liée à la lenteur de la transcription écrite par rapport à la parole, mais à une différence d'automatisation de l'écriture par rapport à l'articulation à l'oral. En effet, Bourdin et Fayol (1994) n'ont observé aucune différence de rappel selon que les mots étaient plus ou moins transparents orthographiquement. D'autres travaux ont comparé le rappel avec une écriture manuscrite ou une écriture dactylographique. Ainsi, même si une majorité d'élèves peuvent maintenant être considérés comme des dactylographes qualifiés, Bouriga et Olive (2020) ont montré que l'effort cognitif d'étudiants en première année universitaire qui copient un texte avec un clavier demeure plus élevé qu'avec un stylo et, par conséquent, qu'ils rappellent moins de mots dans des tâches simples de mémorisation de listes de mots. De façon similaire, le rappel est supérieur avec un clavier familier comparativement à un clavier dont les touches ont été mélangées (Grabowski, 2010).

9. Quel est l'impact du numérique sur les pratiques d'écriture ?

Habituellement, lorsqu'on pense à l'écriture sur ordinateur, c'est l'impact du clavier qui interroge en premier lieu. Pourtant, comprendre l'impact du numérique sur l'écriture demande de penser plus globalement les répercussions et les conséquences de l'utilisation d'un ordinateur sur l'activité d'écriture et les textes produits. En effet, au-delà des questionnements liés aux claviers, des caractéristiques de l'ordinateur,

comme la taille de l'écran, la présence ou l'absence d'une souris, ou de l'application de traitement de textes (modes de présentation, correcteurs orthographiques, etc.) utilisés pour rédiger peuvent modifier l'activité d'écriture.

Par exemple, une autre conséquence d'une faible maîtrise du clavier est la création d'espaces de transcription et de tracés qui peuvent être distincts avec une faible maîtrise du clavier ou confondus avec une expertise dactylographique (Wollscheid *et al.*, 2016). Le dactylographe non expert doit alors faire des va-et-vient entre le clavier et l'écran, se trouvant ainsi privé d'un feedback visuel permanent sur ce qu'il est en train de produire, ce qui le conduit à lire moins longtemps le texte en cours de production. Il faut remarquer que cela est particulièrement prégnant lorsqu'un ordinateur de bureau est utilisé, mais cela l'est moins avec un ordinateur portable et encore moins avec une tablette graphique !

Inversement, les options des applications de traitement de textes devraient aider les rédacteurs. Par exemple, les correcteurs orthographiques et les analyseurs grammaticaux permettent d'éviter les erreurs orthographiques, la lisibilité du texte dactylographié facilite la relecture, la révision... Les résultats sur les effets des correcteurs orthographiques sont toutefois mitigés. Pour Rønneberg *et al.* (2018), indiquer l'erreur au moment où elle est produite détournerait l'attention du rédacteur de la production du contenu pour se focaliser sur l'orthographe des mots. De même, le mode de présentation du texte sur l'écran affecte les rédacteurs : réviser un texte présenté en mode défilement nécessite plus de lecture que lorsqu'il est présenté dans un mode avec des bordures de page visibles (Piolat, Roussey & Thunin, 1997). La présence de marques qui signalent des fautes d'orthographe ou de grammaire détourne l'attention des écrivains de leurs pensées et réflexions en cours, ce qui les amène à consacrer plus de temps à la révision des aspects superficiels de leur texte que de son contenu. En revanche, les options de présentation au format plan pourraient faciliter la planification des textes. Dans ce cadre, une étude a questionné la perception que peuvent avoir des étudiants à l'université sur leurs compétences d'écriture et leur qualité de production écrite avec papier/crayon comparé à l'utilisation d'outils numériques (Nobles & Paganucci, 2015). Les auteurs rapportent des arguments en faveur de l'outil numérique sur les processus d'organisation et de révisions de texte. Par exemple, la possibilité de déplacer des paragraphes entiers de texte à l'écran et de voir immédiatement le texte ainsi reconstruit pourrait optimiser les processus de planification et de révision. Cependant, à notre connaissance, aucune recherche n'a, à ce jour, testé l'impact de ces options.

De façon plus globale, l'utilisation d'un ordinateur conduit à des rédactions plus fragmentées et modifie les stratégies de rédaction, particulièrement en ce qui concerne la planification et la révision. En écriture dactylographique, les rédacteurs consacrent moins de temps à la planification initiale et leurs révisions portent essentiellement sur la surface de leur texte : les révisions de fond, c'est-à-dire celles portant sur le contenu, qu'il s'agisse d'ajustements ou de modifications du sens étant moins fréquentes avec un ordinateur (Van Waes & Schellens, 2003).

Les effets de l'écriture sur ordinateur sur la qualité des textes produits sont aussi mitigés et ne font pas consensus. Si un effet délétère de l'écriture sur ordinateur sur la qualité textuelle est observé dans la majorité des études expérimentales, les résultats notamment de trois méta-analyses contredisent ces résultats et soutiennent des effets positifs de l'écriture sur ordinateur (Bangert-Drowns, 1993 ; Goldberg *et al.*, 2003 ; Morphy & Graham, 2012). Cependant, ces résultats doivent être nuancés, car, parmi les études analysées, plusieurs portaient sur des rédacteurs avec de faibles compétences rédactionnelles et d'autres sur des rédacteurs avec des troubles spécifiques du langage.

Enfin, il faut signaler que l'impact de l'utilisation d'un ordinateur sur la prise de notes a également été étudié. La méta-analyse la plus récente (Flanigan *et al.*, 2024) suggère que la prise de notes papier/crayon devrait être privilégiée, car elle conduit à traiter plus profondément les informations et, par conséquent, à mieux les mémoriser que la prise de notes sur ordinateur.

Mais cette conclusion sur l'impact du numérique doit être modulée en considérant le contexte actuel de transition numérique que nous vivons et le système actuel d'apprentissage de l'écriture. L'insertion des outils numériques à l'école questionne sur un changement plus profond de l'apprentissage de l'écriture. En effet, si les pratiques pédagogiques sont calquées sur les usages des adultes qui écrivent à présent majoritairement au clavier (de leur smartphone ou de leur ordinateur), alors nous pouvons légitimement penser que l'écriture dactylographique doit être apprise à l'école, en complément (ou en remplacement ?) de l'apprentissage de l'écriture manuscrite. Une telle (r)évolution des modalités d'expression écrite paraît impensable pour celles et ceux qui considèrent que l'écriture manuscrite fait partie de notre patrimoine culturel. Pour d'autres cependant, le stylo n'est qu'un simple outil au service de l'expression du langage, outil que l'on remplace par un autre si celui-ci est plus efficace. Cette idée est déjà envisagée avec bienveillance, lorsque le thérapeute propose à l'enfant avec une dysgraphie de passer au clavier lorsque son écriture devient trop difficile. Pourtant, la manière dont les enfants utilisent les claviers n'est pas encore connue, et les conséquences de leur difficulté d'apprentissage du clavier commencent à peine à être envisagées. Nous pouvons facilement penser que les troubles de l'expression écrite risquent alors de prendre de nouvelles formes. À l'instar des dysgraphies, ces enfants avec dystypie (Weigelt-Marion & Weintraub, 2018) pourront être en difficulté non seulement pour écrire rapidement et précisément sur un clavier, mais également pour « penser à l'écrit » lorsque cet écrit devient virtuel, rapide, modulable et assisté.

Chapitre 2

Du stylo au clavier d'ordinateur

Svetlana Pinet^{1,2}

¹ Basque Center on Cognition, Brain and Language,
Donostia San Sebastián Spain

² Ikerbasque, Basque Foundation for Science,
Bilbao, Spain

Écrire à l'aide d'un clavier fait désormais partie de notre quotidien. Pourtant, l'accès aux claviers ne s'est généralisé que dans les trente dernières années. Dans ce chapitre, nous reviendrons sur l'historique de l'utilisation des claviers pour écrire, avant de nous intéresser à la performance qui y est associée. Nous envisagerons comment le comportement d'écriture au clavier a été théorisé, puis comment il a évolué en fonction des usages récents. Nous expliciterons en particulier les processus communs avec l'écriture manuscrite. Enfin, nous mentionnerons le recours aux claviers dans le contexte scolaire et clinique.

1. Historique et généralités

L'invention du clavier est indissociable de l'invention de la machine à écrire par Scholes, commercialisée par Remington, à la fin du XIX^e siècle. Malgré l'invention de plusieurs modèles, les fabricants convergèrent rapidement sur le modèle à vingt-six touches réparties en trois rangs que nous connaissons et utilisons actuellement. Ce modèle se généralisa aux langues qui disposent d'un système d'écriture alphabétique ou alpha syllabique avec seulement de légères modifications (p. ex., changement du sens du mécanisme pour les langues écrites de droite à gauche, telles que l'arabe ou l'hébreu). À noter que certaines langues ou systèmes d'écriture, tels que le braille ou la sténotypie, requièrent l'appui de touches simultanées, comme pour un accord de piano (aussi considéré pour des langues comme le japonais ou l'hébreu, Cooper, 1983).

Quand les claviers furent inventés, il était difficile de prévoir l'avènement de l'informatique qui allait suivre au XX^e siècle, où le clavier allait devenir le moyen privilégié de saisie d'information. L'évolution la plus fulgurante s'est produite au cours

des trente dernières années, avec la proportion d'utilisateurs d'Internet passant de 0.05 % à 67 % de la population mondiale, et la proportion d'utilisateurs de téléphones portables de 0.25 % à 78 % de la population mondiale (World Bank, via OurWorldinData.org). Les ordinateurs personnels, puis les téléphones de type « smartphones » ont ainsi conduit à une généralisation de l'utilisation des claviers dans la société, même si les statistiques d'utilisation des claviers doivent être inférées à partir de celles de l'utilisation de ces technologies.

Bien qu'il soit difficile d'identifier les motivations derrière l'invention des machines à écrire, une volonté d'accélérer le geste d'écriture est indéniable, peut-être attestée par les compétitions de vitesse de frappe très populaires au début du xx^e siècle (et encore aujourd'hui en Asie). Il faut aussi noter que les claviers, par le biais des machines à écrire et la volonté de produire à grande échelle des modèles avec des modifications minimales entre les langues, ont mené à des adaptations dites « technolinguistiques », afin de faire correspondre les différentes langues et systèmes d'écriture au même modèle de clavier (Mullaney, 2017). Cela crée et perpétue des biais envers les langues différentes de celle dans laquelle a été inventée ladite technologie (Helm *et al.*, 2023).

Cette brève perspective historique est importante afin de comprendre que le comportement d'utilisation des claviers qui s'est développé est nécessairement lié à la forme que les claviers ont acquise avec le temps, qui continue d'évoluer. Citons comme exemple la possibilité de correction offerte par les logiciels de traitement de texte (généralement absente des machines à écrire), l'absence de touches physiques sur un clavier tactile, ou la diminution de la taille d'un clavier de téléphone par rapport à celui d'un ordinateur, toutes susceptibles d'influer sur le comportement d'utilisation du clavier.

1.1. Des experts au clavier

Rapidement après l'invention des machines à écrire, leur utilisation a été associée à un apprentissage standardisé du système dit de « touch-typing », conçu à la fin du xix^e siècle par McGurris (Cooper, 1983). Il consiste à apprendre à taper sur les touches du clavier en utilisant tous les doigts des deux mains, mais en associant un seul doigt à chaque touche, et en ne regardant ni ses mains ni le clavier. Cet apprentissage résulte en une population très homogène dans son utilisation du clavier. Les premières études s'intéressant à l'écriture au clavier visaient à établir le profil comportemental de cette population réduite et spécialisée de dactylographes.

1.2. Profil comportemental

Le comportement de frappe peut être caractérisé expérimentalement par les erreurs commises lors de la copie d'un texte et le temps entre deux frappes (intervalle inter-frappe). Les intervalles tapés avec deux mains (bimanuels) ou une seule main

(unimanuels) peuvent être dissociés. Rumelhart & Norman (1982) ont ainsi identifié les principales caractéristiques du comportement des dactylographes :

- La frappe au clavier est très rapide
- Les intervalles bimanuels sont plus courts que les intervalles unimanuels
- Les intervalles unimanuels dépendent de la distance entre les touches tapées
- Un intervalle interfrappe peut dépendre du contexte (p. ex., mot, lettres précédentes ou suivantes)
- Des intervalles successifs sont négativement corrélés

Nous pouvons ajouter qu'un intervalle interfrappe est tapé d'autant plus rapidement que l'association entre les deux lettres qui le composent, ou « bigramme », est fréquente (Gentner *et al.*, 1988).

Les types d'erreurs commises par les dactylographes ont été largement décrits (Book, 1908 ; Grudin, 1983 ; F. A. Logan, 1999). Les plus fréquentes sont des erreurs de substitution par une lettre adjacente (Grudin, 1983). Des erreurs dites homologues, où le doigt de l'autre main est utilisé résultant en une erreur en miroir, ont aussi été observées (p. ex., D pour K). De plus, Rumelhart & Norman (1982) ont décrit des erreurs d'alternance (p. ex., *there* > *threr*) et de doublement (p. ex., *screen* > *scrren*, voir aussi Hepner *et al.*, 2018). Ces erreurs sont spécifiques à l'écriture au clavier et leur proportion peut varier selon le niveau d'expertise du dactylographe.

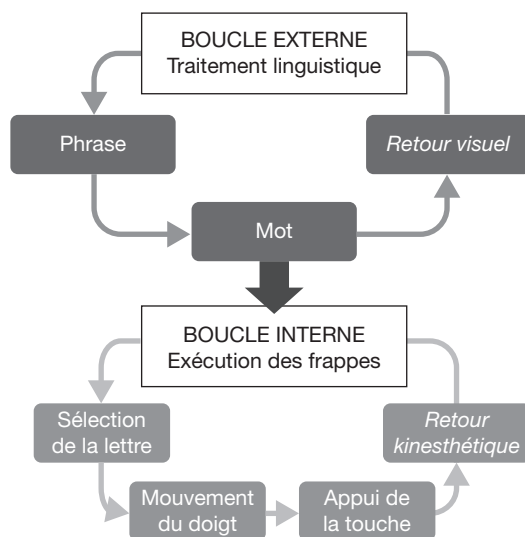
L'acquisition formelle de l'écriture au clavier conduit à une évolution caractéristique des performances de frappe. En particulier, les dactylographes deviennent moins sensibles au nombre de lettres que comporte un mot pour commencer à taper (Larochelle, 1983). De plus, alors que les novices tapent des lettres répétées plus rapidement que n'importe quel autre type d'intervalle, ce n'est plus le cas en fin d'apprentissage (Gentner, 1983). La méthode d'apprentissage poussant à porter le regard sur le produit écrit ou à copier plutôt que sur le clavier, les dactylographes apprennent progressivement à ne regarder que peu leurs mains, se reposant sur des retours sensoriels kinesthésiques plutôt que visuels (Long, 1976 ; West, 1967).

1.3. Théorie des deux boucles

Les résultats cités précédemment ont permis de formuler des théories sur les processus cognitifs sous-jacents au comportement d'écriture au clavier. En 1982, Rumelhart & Norman proposent une implémentation formelle du processus de copie de textes au clavier. Elle définit notamment le concept de « *keystroke schema* » ou schéma de frappe, à entendre dans le sens de schéma moteur (Schmidt, 1975). Ce schéma contient une représentation de la main et du doigt associé à chaque touche, ainsi que la position de la touche sur le clavier. Une des caractéristiques principales de ce modèle est l'activation en parallèle des représentations des frappes (« *key-strokes* »), qui permet un comportement de frappe rapide et fluide.

Par la suite, Logan proposa une théorie selon laquelle les processus cognitifs qui sous-tendent le comportement d'écriture au clavier sont organisés en deux boucles : une boucle externe et une boucle interne (résumée dans Logan & Crump, 2011 ; cf. Figure 1). La boucle externe est responsable des étapes de traitement linguistique, permettant de décomposer une phrase entière en mots isolés. À son tour, la boucle interne décompose le mot à taper en frappes individuelles. Le mot constitue donc la jonction entre les deux boucles (Logan, 2003). La boucle interne est responsable du contrôle des mouvements, considéré comme automatique (voir Logan, 2018 pour une implémentation formelle du fonctionnement automatique de la boucle interne). La boucle interne est encapsulée dans la boucle externe, et chacune fonctionne indépendamment. Notamment, chacune traite des retours sensoriels différents : alors que la boucle externe est sensible au retour visuel de l'écran, la boucle interne traite les informations proprioceptives des doigts. La dissociation forte entre les deux boucles a été montrée en insérant des erreurs ou en corrigeant les erreurs commises par les participants à leur insu. Des corrections insérées dans le texte tapé n'étaient pas explicitement reportées comme des erreurs (représentatif de la boucle externe), alors que des signes de ralentissement post-erreur étaient détectables dans les intervalles inter-frappes (représentatif de la boucle interne ; Logan & Crump, 2010).

Figure 1 : Théorie des deux boucles (Logan & Crump, 2011 ; Yamaguchi *et al.*, 2013).



Les auteurs des théories présentées reconnaissent les limites de leurs travaux, qui ne permettent pas d'expliquer le comportement de novices ou l'acquisition de l'expertise, l'encodage et le traitement cognitif et psycholinguistique des chaînes de caractères tapées, ainsi que la supervision et le contrôle de l'action (Logan, 2018 ; Rumelhart & Norman, 1982). D'autres modèles se sont intéressés plus spécifiquement à certains de ces aspects (Heath & Willcox, 1990 ; Sternberg *et al.*, 1990 ; Viviani & Laissard, 1996).

Ces premières études sur une population de dactylographes professionnels se sont relativement peu intéressées au niveau de traitement linguistique impliqué dans l'écriture au clavier ou aux comparaisons avec l'écriture manuscrite. Cela s'explique en partie par le fait que les dactylographes réalisaient surtout des tâches de copie où le traitement linguistique peut rester superficiel (Bonin *et al.*, 2015). De plus, lors de leur apprentissage, les dactylographes étaient incités à ignorer le sens du texte copié afin d'éviter d'être distraits pendant la frappe (Cooper, 1983). En revanche, les résultats présentés ici sur une population restreinte de dactylographes professionnels permettent d'établir un profil type d'expertise au clavier.

2. De nouvelles formes d'expertise

Les évolutions sociétales récentes ont vu les claviers envahir notre quotidien en même temps que les technologies de l'information. L'utilisation des claviers s'est donc élargie à une plus grande partie de la population, généralement sans entraînement spécifique en dehors d'une pratique informelle (selon les politiques éducatives de chaque pays). De plus, l'utilisation des claviers comprend actuellement des supports variés : claviers d'ordinateurs de bureau ou portables, de tablettes, et de téléphones de type « smartphones » (voir chapitre suivant). Cette évolution soulève deux questions : comment se caractérise la performance de cette nouvelle population ? Retrouve-t-on le profil comportemental décrit précédemment ?

2.1. Vers des profils comportementaux variés

La démocratisation des nouvelles technologies a permis de recourir à des approches en « big data » ou données massives à travers des études en ligne, auxquelles l'étude du comportement en écriture au clavier se prête naturellement et qui permettent d'atteindre des tailles d'échantillons très élevées. Ainsi, Dhakal *et al.* (2018) a pu mesurer le comportement de plus de 150 000 utilisateurs, comptabilisant plus de 130 millions de frappes.

Toutes les études convergent pour montrer une large variabilité de la compétence au clavier (Dhakal *et al.*, 2018 ; Pinet *et al.*, 2022 ; Van Waes *et al.*, 2021), actant déjà une différence importante avec la population professionnelle antérieure. Néanmoins, l'effet de fréquence de bigramme précédemment décrit a été répliqué : les intervalles interfrappes sont plus rapides si l'association entre deux lettres est fréquente (Pinet *et al.*, 2022 ; Van Waes *et al.*, 2021). De plus, nous avons montré que des caractéristiques précédemment attribuées aux seuls experts se retrouvaient également chez des sujets moins compétents (Pinet *et al.*, 2022). Par exemple, même les sujets les moins compétents présentaient des intervalles interfrappes bimanuels plus courts que les intervalles unimanuels ; cet effet est d'autant plus important que le niveau de compétence est élevé. Dhakal *et al.* (2018) ont montré que les intervalles interfrappes

bimanuels prédisent la vitesse de frappe, mieux que d'autres types d'intervalles. Ils ont également décrit un comportement dit de « rollover », où une touche est appuyée alors que la précédente n'a pas encore été relâchée. Loin d'être anecdotique, ce comportement s'observe sur 70 % des intervalles chez les sujets les plus rapides. Enfin, les intervalles interfrappes varient de façon non linéaire avec l'âge, les sujets les plus rapides ayant entre 20 et 30 ans (Van Waes *et al.*, 2021).

Plusieurs retours sensoriels sont combinés pour guider la frappe : visuel (de l'affichage à l'écran ou du clavier), proprioceptif et tactile (Rieger & Bart, 2016). Il a été montré que le retour visuel présenté sur l'écran permet la détection et la correction d'erreurs (Logan & Crump, 2010 ; Pinet & Nozari, 2021), que les retours tactiles des touches permettent de guider l'action en continu (Crump & Logan, 2010), et que le guidage visuel des doigts est utilisé en particulier pour des séquences de lettres peu fréquentes (Behmer & Crump, 2017 ; Snyder *et al.*, 2015). L'importance de chaque source peut varier selon le niveau d'expertise (Pinet, 2024). Par exemple, un dactylographe peu compétent passe plus de temps à regarder le clavier (Feit *et al.*, 2016).

La population actuelle présente aussi une plus grande diversité concernant le nombre de doigts utilisés pour taper. Feit *et al.* (2016) ont analysé des vidéos de participants qui tapaient au clavier en portant des capteurs de mouvement sur chaque doigt. Par une analyse de cluster, les participants étaient ensuite regroupés selon les doigts qu'ils utilisaient pour taper. Parmi 30 participants, 4 à 6 groupes distincts ont pu être identifiés pour catégoriser le profil de frappe de chaque main, démontrant une large variabilité. Dans leur échantillon, seulement 3 participants adoptaient la correspondance touche-lettre précédemment enseignée.

2.2. Influence de la pratique

Nous avons vu que la population actuelle présente une grande diversité de performance. Cependant, elle présente également une diversité dans ses pratiques de frappe, ce qui permet d'évaluer le lien entre pratique et performance et d'identifier quelles caractéristiques sont associées à une meilleure performance. La pratique délibérée fut longtemps considérée comme un facteur déterminant de la performance dans les théories de l'expertise (Keith & Ericsson, 2007). Cependant, des résultats récents suggèrent que ce facteur n'est pas pertinent pour expliquer les performances actuelles de frappe au clavier, avançant l'hypothèse que la quantité de pratique « passive » est dorénavant tellement élevée que le désir de s'améliorer n'a que peu d'effet (Pinet *et al.*, 2022). Le temps de pratique par jour et le nombre d'années depuis le début de la pratique sont en revanche positivement associés à une meilleure performance.

De plus, le nombre de doigts utilisés pour taper se révèle être un facteur déterminant de la performance de frappe (Dhakal *et al.*, 2018 ; Feit *et al.*, 2016 ; Pinet *et al.*, 2022). Utiliser plus de doigts, tout comme utiliser une correspondance fixe entre doigts et touches, améliore la performance en réduisant à la fois la distance entre le doigt et la touche et les choix possibles entre les doigts avant l'appui d'une touche

Un livre de référence pour comprendre, diagnostiquer et rééduquer les troubles de l'écriture.

À l'ère des claviers et des smartphones, prendre en charge une dysgraphie exige d'articuler connaissances issues de la psychologie, de la psycholinguistique, des sciences du mouvement, des neurosciences, de l'éducation et de la clinique. Cet ouvrage collectif propose un cadre cohérent allant des fondements de l'écriture au diagnostic différentiel, puis aux stratégies de rééducation.

Il couvre le contrôle du mouvement, l'apprentissage en contexte numérique, les dysgraphies dans les TND et le TSA, ainsi que les agraphies et dysgraphies secondaires chez l'adulte. La partie « évaluation » détaille les tests et questionnaires, et actualise l'usage du BHK dans l'environnement numérique ; la partie « rééducation » met en perspective les principes du contrôle moteur et des protocoles ciblés.

Ce guide propose :

- des repères théoriques pour comprendre les différentes pratiques scripturales (stylo, clavier, smartphone) ;
- un état des lieux des outils d'évaluation (tests et questionnaires, apports des outils numériques et des méthodes d'IA) ;
- des protocoles de rééducation (programme PEP'S, programme PRO-PEN, protocole de modification sensorielle, protocole spécifique à la maladie de Parkinson, etc.).

Les directeurs d'ouvrage

Jean-François CONNAN est psychomotricien et docteur en psychologie. Responsable du développement de la recherche à l'Institut Supérieur de Rééducation Psychomotrice (ISRP), il est également membre associé du laboratoire « Cognition, Langues, Langage, Ergonomie » (CLLE – UMR 5263, CNRS / Université Toulouse).

Marianne JOVER est psychomotricienne de formation initiale et professeure de psychologie du développement à l'université d'Aix-Marseille. Elle est membre du Centre PsyCLE (UR3273) et ses recherches portent sur la motricité à fonction communicative chez le nourrisson et le jeune enfant, et sur les troubles du neurodéveloppement.

Jérémy DANNA est chercheur au CNRS, membre du laboratoire « Cognition, Langues, Langage, Ergonomie » (CLLE, UMR 5263) rattaché au CNRS et à l'Université de Toulouse. Son principal objet de recherche concerne l'écriture manuscrite, son apprentissage et ses troubles.

Les auteurs

Anna Anastaseni, Gaëlle Alhaddad, Florence Bara, Nathalie Bonneton-Botté, Jean-François Connan, Jérémy Danna, Alexandre Eusebio, Anaïs Godde, Caroline Jolly, Marianne Jover, Sonia Kandel, Marieke Longcamp, Emmanuel Madiou, Thierry Olive, Serge Pinto, Svetlana Pinet, Frédéric Puyjarinet, Carole Tardif, Raphaelae Tsao, Aurélie Vauchel, Lauriane Veron Delor, Céleste Younes Harb, Yitong Zuo.

33 €
ISBN 978-2-8073-6440-0



9 782807 364400

De Boeck Supérieur s'engage
durablement pour l'environnement



www.deboecksuperieur.com

Publics

- Psychomotriciens
- Ergothérapeutes
- Orthophonistes
- Enseignants
- Psychologues
- Neuropsychologues