

L'écriture manuscrite, son développement et ses troubles

Jérémy Danna

Laboratoire de Neurosciences Cognitives
jeremy.danna@univ-amu.fr

Remerciements à Jean-Luc Velay & Marieke Longcamp pour l'utilisation de certaines de leurs diapositives

A propos de l'écriture...

Datant de plus de 5300 ans, l'écriture manuscrite reste l'un des savoir-faire des plus anciens. Son apparition définit la frontière entre la préhistoire et l'histoire. Les premiers systèmes d'écriture s'attachaient à dessiner le monde ; ils construisaient le sens à partir de signes symboliques (e.g. le sumérien).



Signe de l'orge + Combien d'orge

D'autres systèmes plus tardifs se préoccupèrent de fixer les sons du discours : ils dessinaient ainsi la parole (e.g. l'akkadien)



Orge ('she')

Qu'il soit idéographique, phonographique ou mixte, tout système d'écriture représente une alliance entre l'image et la parole.

<http://www.mesopotamia.co.uk/writing/>

Les révolutions dans l'écriture

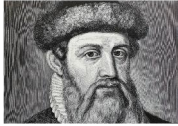
- 1^{ère} révolution (1500 ans av. JC) : L'invention de l'alphabet



Abecedary Ugarit	Earliest Evidence of Alphabetical Order
<p>Photo of the 1988 discovery on a museum display in Syria by M. Dietrich, Digitized by S. Bert. Table by G. Kelley</p>	<p>An alphabet is often defined as an ordered set of (phonograms). That order has a long history. The Ugarit collection table above is the earliest evidence of that order found to date. On another page, David Kelley relates this order to the 28 asterisms or mansions in the ancient lunar calendar.</p> <p>source documents: www.unicode.org/unicode/ugarit/ugarit.html www.unicode.org/ugit/a-earliest-order.html</p>

Les révolutions dans l'écriture

- 1^{ère} révolution (1500 ans av. JC) : L'invention de l'alphabet
- 2^{ème} révolution (1450 ap. JC) : l'invention de l'imprimerie



Changement du support de l'écriture : parchemin → papier

Les révolutions dans l'écriture



De la plume au stylo à bille:
L'apprentissage de l'écriture manuscrite suit
l'évolution technologique

1827 : premier brevet
du stylo-plume



1919 : L'invention du stylo-bille
gagne le concours Lépine
1938 : brevet su stylo-bille actuel



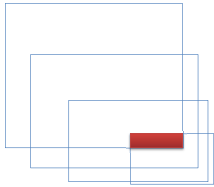
Les révolutions dans l'écriture

- 1^{ère} révolution (1500 ans av. JC) : L'invention de l'alphabet
- 2^{ème} révolution (1450 ap. JC) : l'invention de l'imprimerie
- 3^{ème} révolution (actuelle) : la révolution numérique

avec 3 tournants importants :

- 1980's : généralisation de l'ordinateur personnel et la naissance d'Internet ;
- 1990's : explosion du phénomène Internet ;
- 2000's : apparition du smartphone (puis des tablettes), ordinateur tenant dans la main et pouvant être utilisé pratiquement partout

Qu'est-ce qu'écrire ?



Composer du texte (structuration des idées et de la logique)

Composer des phrases (grammaire & syntaxe)

Composer des mots (lexique & orthographe)

Tracer les lettres (mouvement)

Gérer tout cela en même temps !

Qui s'intéresse à l'écriture manuscrite ?

- Les historiens
- Les linguistes, psycholinguistes, neurolinguistes
- Les psychologues (apprentissage et éducation)
- Les neuroscientifiques
- Les thérapeutes (psychomotriciens, orthophonistes, graphothérapeutes...)
- Les graphologues (police scientifique...)
- Les calligraphes (artistes...)
- Les enseignants
- ...

Notre définition (simplifiée) de l'écriture

Un langage



Outil de communication au sein d'une communauté

Développé il y a plus de 5000 ans...

Très normalisé
(codifié)
INVARIANCE

PRODUIT DE L'ÉCRITURE

Un mouvement

lapin

Singulier, personnel, identitaire

En train de changer (disparaître ?)

Très variable
(inter et intra-sujet)
PREFERENCES

PROCESSUS DE L'ÉCRITURE

Processus et produit de l'écriture

Le produit : la **trace statique** laissée sur le support (2 dimensions)

Le produit de l'écriture finalise (contraint) le processus : il faut tracer une forme **lisible** (élément le plus important d'un point de vue du lecteur)

Le processus : le **mouvement** qui génère la trace (3 dimensions), contraint par :

- des processus cognitifs (attentionnel, linguistique etc.)
- des processus affectifs (émotionnel, motivationnel etc.)
- des processus sensorimoteurs (vision, proprioception etc.)
- des contraintes biomécaniques (main, doigts, bras, et le reste du corps)
- des contraintes spatiales (lisibilité de la trace)
- des contraintes temporelles (liées aux exigences scolaires et académiques)

Processus et produit de l'écriture

Le produit : la **trace statique** laissée sur le support (2 dimensions)

Le produit de l'écriture finalise (contraint) le processus : il faut tracer une forme **lisible** (élément le plus important d'un point de vue du lecteur)

Le processus : le **mouvement** qui génère la trace (3 dimensions)

Les topocinèses et morphocinèses dans le geste d'écriture (adaptée de Paillard, 1994)

- Les **morphocinèses** sont des mouvements contraints par la forme de sa trajectoire considérée (dans le plan bidimensionnel de la feuille)
- Les **topocinèses** sont des mouvements dans un espace orienté, finalisé par un but et non par la trajectoire pour atteindre ce but (dans la troisième dimension)

L'écriture: un aller-retour entre la main et le cerveau

Impact sur les **représentations linguistiques** ?

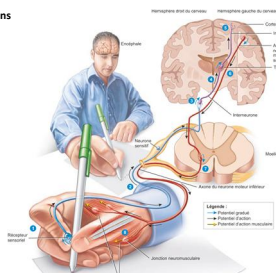
Actualisation des **représentations motrices (spatiales, temporelles et spatio-temporelles)**

Messages visuels

Messages proprioceptifs remontent vers l'encéphale

Mouvements activent les récepteurs sensoriels musculaires, tendineux, articulaires et cutanés.

RETOUR



ALLER

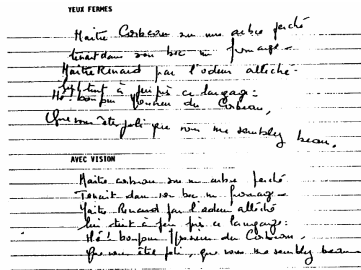
Cerveau : certaines zones sont mises en jeu dans l'écriture: lesquelles?

Représentation cérébrale du langage écrit: où, quand et comment?

Envoie les commandes motrices aux muscles: quelles commandes?

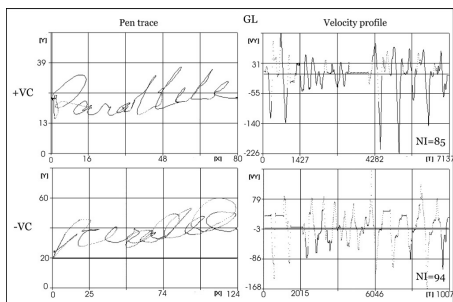
Processus périphériques

Le contrôle moteur de l'écriture chez l'adulte



Paillard, 1990

Le contrôle moteur de l'écriture chez l'adulte



Hepp-Reymond et al., 2009

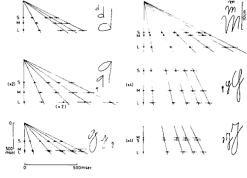
Le contrôle moteur de l'écriture chez l'adulte

- ✓ A partir d'une certaine vitesse, le mouvement devient trop rapide pour être contrôlé via des feedback sensoriels.
- ✓ Le contrôle moteur s'effectuerait donc en amont, via un « programme moteur » c'est-à-dire « un groupe de commandes musculaires qui sont structurées avant que le mouvement commence et qui autorise le déroulement du geste sans aucune influence des retours sensoriels ».
- ✓ Keele, 1968
- ✓ Schmidt (1976) : notion de programme moteur généralisé (PMG) pour une classe de mouvement : notion d'INVARIANCE et de PARAMETRISATION

Keele, 1968

Les invariances de l'écriture

Viviani et Terzuolo, 1980



Exemples d'invariance spatio-temporelle dans la production de six lettres de différentes tailles.

A gauche de chaque lettre écrite, l'alignement des points illustré par les droites révèle une proportion temporelle constante de chaque partie de la lettre, indépendamment de la taille des lettres.

Les invariances de l'écriture



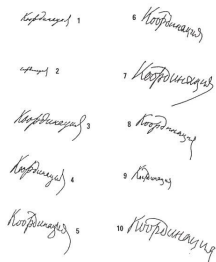
Principe d'isochronie :

Maintien d'une durée constante d'exécution d'un mot en dépit des variations de taille ou de longueur.



Plus la lettre est grande, plus la vitesse augmente et inversement (point important à connaître dans le cadre d'une rééducation de la dysgraphie...)

Les invariances de l'écriture



Mot « coordination » écrit en russe par Bernstein en tenant le stylo avec les doigts de la main droite (1 : taille normale; 2 : petite taille), en bloquant les doigts (3), en attachant le stylo au-dessus du poignet (4), au coude (5), à l'épaule (6), au gros orteil du pied droit (7), en serrant le stylo entre les dents (8), en le tenant avec la main gauche (9), et attaché au gros orteil du pied gauche (10) (tiré de Bernstein, 1947).

Les lois qui régissent l'écriture manuscrite

✓ La loi de puissance 2/3 (ou 1/3 selon vitesse considérée)

Lacquaniti, Terzuolo & Viviani, 1983 ; Viviani & Terzuolo, 1982



$$A(t) = kC(t)^\alpha$$

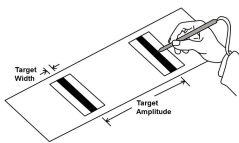
ou

$$V(t) = kR(t)^\beta$$

où A est la vitesse angulaire, C la courbure, V la vitesse tangentielle, R le rayon de courbure et k une constante appelée gain de vitesse. Il a été montré que la valeur des exposants α et β était fixée à une valeur de 1/3 et 2/3 (respectivement).

Les lois qui régissent l'écriture manuscrite

✓ La loi de Fitts (1954)



$$TM = a + b^s \log_2(2D/L)$$

Les modèles de l'écriture

Un langage



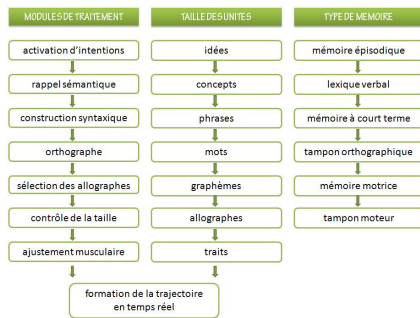
Modèles « centraux »

Un mouvement



Modèles « périphériques »

Un exemple de modèle « central »

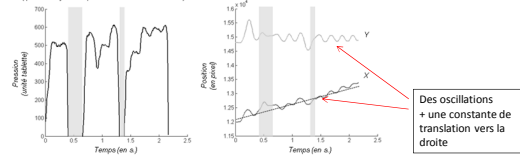


Van Galen, 1991

Un exemple de modèle « périphérique »

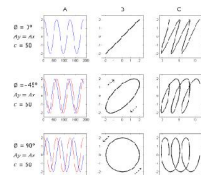
lapin

A. Représentation spatiale du mot lapin écrit par un adulte droitier. Les pointillés gris correspondent au mouvement en l'air (quand le stylo n'est pas en contact avec la tablette).



B. Evolution des variables directement fournies par la tablette. La pression (à gauche) reflète les mouvements en l'air (zones grisées), lorsqu'elle est nulle. Elle permet aussi de calculer le Temps de Mouvement en l'air et à l'écart, le nombre de levés de stylo et la pression moyenne exercée par le stylo sur la tablette. Les coordonnées du stylo (à droite) en x (courbe basse) et y (courbe haute) permettent de calculer les variables spatiales (e.g. longueur et largeur des traits) ou des variables cinématiques (e.g. vitesse ou accélérations). Notons que le coefficient directeur de la droite en pointillés détermine le déplacement continu gauche-droite.

Un exemple de modèle « périphérique »

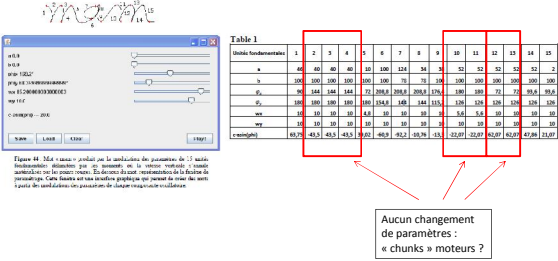


$$x = A_x + \sin(\omega_x(t - t_0) + \varphi_x) + c$$

$$y = A_y + \sin(\omega_y(t - t_0) + \varphi_y)$$

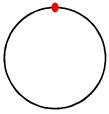
Hollerbach, 1981

Un exemple de modèle « périphérique »



Les préférences de l'écriture

✓ Un sens de rotation préférentiel

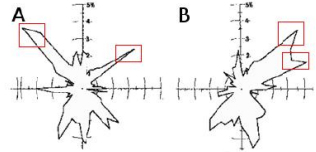


Les enfants pré-scripteurs droitiers préfèrent effectuer des cercles dans le sens horaire (préférences biomécaniques) alors que les enfants scripteurs tendent à produire les mêmes figures dans le sens anti-horaire qui correspond au sens de rotation dominant de l'écriture

Meulenbroek, Vinter, & Mounoud, 1993

Les préférences de l'écriture

✓ Des orientations préférentielles



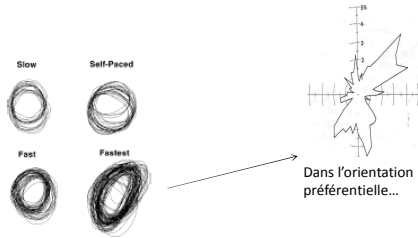
GAUCHERS DROITIERS

Répartition des orientations spontanément choisies par des gauchers (A) et des droitiers (B) Les orientations les plus choisies sont dites préférentielles

Van Sommers (1984)

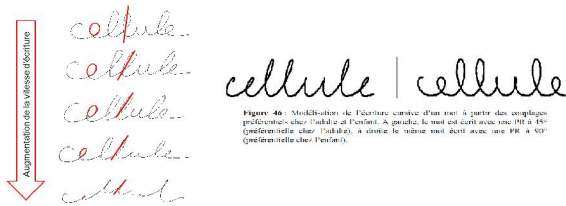
Les préférences de l'écriture

✓ Une courbure préférentielle

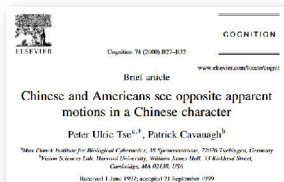


Dounskaia et al., 2000

Entre invariance et préférences...



Impact de l'écriture sur la lecture



Double encodage de la lettre lorsqu'on l'écrit : informations spatiales (sur la forme) et spatiotemporels (sur le mouvement)

Ces deux types d'information sont réactivés dans la reconnaissance des lettres statiques

Est-il nécessaire de maintenir l'apprentissage de l'écriture cursive ?

Psychology in the Schools, Vol. 50(6), 2013
View this article online at wileyonlinelibrary.com/journal/pits

© 2013 Wiley Periodicals, Inc.
DOI: 10.1002/pits.21691

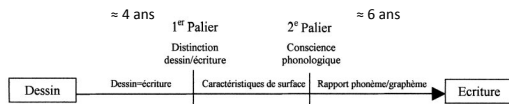
DOES THE HANDWRITING STYLE LEARNED IN FIRST GRADE DETERMINE THE STYLE USED IN THE FOURTH AND FIFTH GRADES AND INFLUENCE HANDWRITING SPEED AND QUALITY? A COMPARISON BETWEEN FRENCH AND QUEBEC CHILDREN

FLORENCE BARA
University of Brest
MARIE-FRANCE MORIN
University of Sherbrooke

An important issue relating to the teaching of handwriting concerns the style that should be learned at school (manuscript or cursive). Whereas some countries choose to teach both styles (e.g., Canada), other countries choose to teach only one (e.g., France). Our research had three main underlying goals, namely (1) to observe and describe the handwriting styles spontaneously used by fourth and fifth graders according to the first style learned at school; (2) to describe the evolution of handwriting between the fourth and fifth grades; and (3) to examine the relationship between speed, legibility, and handwriting style. The results revealed that the effects of country, grade level, handwriting style, and handwriting instruction were significant. Quebec children wrote faster than French children did, but their handwriting was less legible. Cursive handwriting was the slower style, whereas mixed handwriting seemed to be more efficient. Handwriting speed and legibility improved from fourth to fifth grade. © 2013 Wiley Periodicals, Inc.

L'écriture manuscrite, son développement et ses troubles

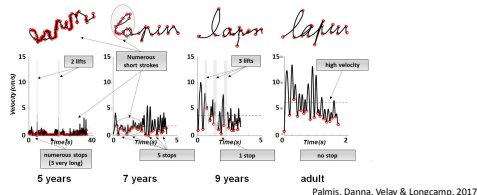
Le développement de l'écriture



- **Confusion initiale dessin/écriture** Levin & Bus, 2003 ; Zesiger, 2003 ; Tolchinsky-Landsmann & Levin, 1985
- **Palier 1** : prise en considération des caractéristiques de surface de l'écriture, relatives aux formes des signes graphiques et liées à leur agencement dans l'espace graphique. Attitudes conformes aux contraintes sociales et culturelles qui régissent ces deux systèmes (sérieux et concentrés quand ils écrivent, alors qu'ils sont décontractés lorsqu'ils dessinent) Brenneman, Massey, Machado, & Gelman, 1996
- **Palier 2** : Prise de conscience que le mot prononcé est segmentable et, à un moment donné, ils comprennent qu'écrire c'est coder des sons avec des signes spécifiques que l'on appelle des lettres.

Noyer, 2005

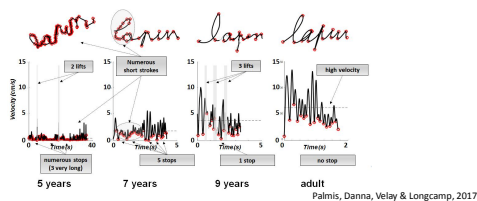
Le développement de l'écriture



Avec la pratique, la taille de l'unité de base passerait du trait composant la lettre à la lettre entière

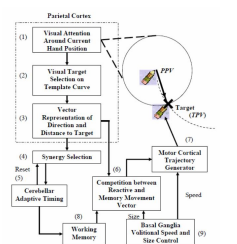
Chez l'adulte, la plupart des travaux ont rapporté des résultats allant dans le sens que l'unité du programme moteur était de l'ordre de la lettre (Teulings, Thomassen et Van Galen, 1983)

Le contrôle moteur de l'écriture chez l'enfant qui apprend



- ✓ Diminution des afférences sensorielles dans le contrôle de l'écriture
- ✓ Passage d'un contrôle principalement visuel à un contrôle plutôt sensorimoteur

Modèle d'acquisition de l'écriture

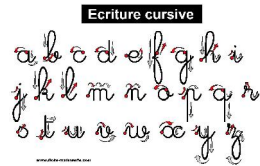


Paine, Grossberg & Van Gemmert, 2004

Au début du mouvement, l'attention visuelle (1) permet de positionner la main à un point donné pour le début de la courbe et d'évaluer la position cible (2) vers laquelle la main doit se déplacer. Une représentation de la distance et de la direction du mouvement à réaliser pour le déplacement de la main du point initial au point cible est programmée en vecteur différentiel (3). Ce vecteur différentiel active les synergies musculaires appropriées pour activer un mouvement (4). Au même moment, un système d'adaptation de timing cérébelleux (5) stocke l'apprentissage du patron d'activation de synergies musculaires impliquées dans le mouvement. Le contrôle visuel intervient lorsque la mémoire identifie des erreurs. La mémoire motrice cérébelleuse est alors en compétition (6) pour le contrôle du mouvement avec les aires corticales qui guident les mouvements réactifs (7). Une mémoire de travail (8) stocke temporairement les commandes motrices qui leur permettent d'être exécutées à des vitesses amoindries puisque la vitesse et la taille de la trajectoire à générer sont volontairement contrôlées par les ganglions de la base (9). Lorsque les mouvements sont corrigés par la vision, une nouvelle mémorisation de l'activation des synergies musculaires est formée pour produire une courbe. Après plusieurs répétitions correctes de la courbe, les mouvements peuvent être réalisés sans erreur.

Apprendre à écrire aujourd'hui en France...

- C'est au départ apprendre le **mouvement** qui permet de former les lettres et de lier entre elles...



Apprendre à écrire aujourd'hui en France...

- C'est au départ apprendre le **mouvement** qui permet de former les lettres et de lier entre elles...
- pour ensuite apprendre à écrire des mots correctement (**processus orthographiques**) puis des phrases (**processus syntaxiques**)...

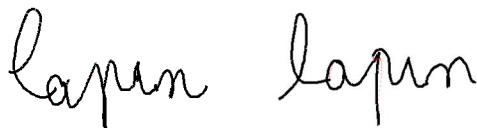
PROCESSES	UNITS	EXAMPLE: <i>lapin</i>
Orthographic-STM	word	<lapin>
Orthographic-WM	grapheme	<l> <a> <p> <i> <n>
Motor-STM	idiograph	<L> <A> <P> <I> <N>
Motor-WM	stroke	<1> <2> <3> <4> <5>

On-line motor control Motor planning

Palms, Danna, Velay & Longcamp, 2017

Copyright 1999 by the American Psychological Association
 Relationship Between Automaticity in Handwriting and Students' Ability to Generate Written Text
 Dian Jopek and Carol A. Chermak
 University of Connecticut
 The ability to generate written text requires the execution of a complex array of cognitive and motor processes. The extent to which the development of these complex, automatic actions leads to able to write freely and with automaticity 1-2

Quand l'apprentissage de l'écriture ne se passe pas bien...



- La trace écrite (le produit) ne diffère pas toujours de la norme...
- Le mouvement d'écriture (le processus) lui diffère toujours!

Les dysgraphies

- ✓ Trouble au niveau de la production du geste d'écriture
- ✓ Les dysgraphies peuvent être développementales, en lien avec l'apprentissage de l'écriture, ou acquises, consécutive à un autre trouble.



Les dysgraphies

- ✓ Distinction entre dysgraphie (périphérique / trouble moteur) et dysorthographe (dysgraphie centrale) avec cependant un recouvrement partiel...
- ✓ Distinction entre dysgraphie (sans troubles neurologiques) et agraphie (chez des patients cérébrlésés)

Qu'est ce qu'une écriture dysgraphique ?

- ✓ Distinction entre le *processus* d'écrire et le *produit* de l'écriture

La relation entre processus et produit de l'écriture n'est pas directe : une écriture lisible peut s'effectuer au détriment d'un geste lent, peu fluide et très interrompus de même qu'un geste très fluide et très rapide peut conduire à une écriture peu lisible, comme celles trouvées sur de nombreuses ordonnances. Un équilibre entre *processus* et *produit* est donc à retrouver dans l'analyse de la qualité de l'écriture

Qu'est ce qu'une écriture dysgraphique ?

✓ Au niveau du *produit* de l'écriture

✓ A l'échelle de la lettre

- non-respect de la taille relative des traits (« strokes » dans la littérature anglophone) qui la composent ;
- un nombre de traits incorrect (traits manquants ou supplémentaires) ;
- une mauvaise orientation ou une mauvaise courbure de ces traits ;
- une erreur spatiale de début du trait (e.g. dans le second trait du « x »)

Qu'est ce qu'une écriture dysgraphique ?

✓ Au niveau du *produit* de l'écriture

✓ A l'échelle du mot

- problème d'espacement inter-lettres (lettres trop éloignées ou superposées) ;
- mauvaise hauteur relative inter-lettres (surtout entre les lettres tronc et les lettres avec jambage ou hampe)

Qu'est ce qu'une écriture dysgraphique ?

✓ Au niveau du *produit* de l'écriture

✓ A l'échelle de la phrase

- problème d'espacement inter-mots ;
- non-respect de l'horizontalité ;
- non-respect de la marge

Qu'est ce qu'une écriture dysgraphique ?

- ✓ Au niveau du *processus*
- ✓ Au niveau du scripteur
 - mauvaise position ;
 - mauvaise tenue de son stylo ;
 - mauvaise pression qu'il exerce avec ses doigts sur le stylo ;
 - problème de variation dans l'inclinaison de son stylo

Qu'est ce qu'une écriture dysgraphique ?

- ✓ Au niveau du *processus*
- ✓ Au niveau de la pointe du stylo
 - pression inappropriée sur la feuille;
 - vitesse inappropriée (trop lente ou trop rapide);
 - accélérations/décélérations inappropriées (trop grandes et/ou trop nombreuses);
 - arrêts et/ou levers inutiles et/ou trop longs;
 - mouvements trop amples

Facteurs de risque d'une dysgraphie

- ✓ distinction entre facteurs endogènes (caractéristiques du scripteur), et exogènes (pratique)
- ✓ Facteurs endogènes
 - Moteur : dextérité digitale (coordination inter-segmentaire des doigts);
 - Sensorimoteur : intégration des informations sensorielles provenant des doigts de la main
 - Visuomoteur : coordination entre perception visuelle et coordination des doigts de la main

Ce facteur fait moins consensus dans la littérature (cf. Kaiser, 2009)

Facteurs de risque d'une dysgraphie

- ✓ distinction entre facteurs endogènes (caractéristiques du scripteur), et exogènes (pratique)
 - ✓ Facteurs exogènes
 - A l'école primaire : effet d'un apprentissage scolaire de deux styles d'écriture (le cursif et le script) ?
 - Au collège : passage raté de la gestion de la contrainte de précision (écriture *pour autrui*) à la contrainte de vitesse d'écriture (*pour soi*, prise de note d'informations orales) ?
 - Après les études : vers une disparition de l'écriture manuscrite ? L'écriture électronique, au clavier, sur tablettes ou sur smartphones, a conduit inévitablement à une diminution de la pratique de l'écriture manuscrite

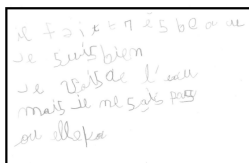
La dysgraphie au sein des troubles « DYS »

- ✓ La co-existence de plusieurs troubles neurodéveloppementaux chez un même enfant est « la règle plutôt que l'exception », (Kaplan *et al.*, 1998).
- ✓ Ceci se vérifie pour la dysgraphie, dont le pluridétérisme qui associe des composantes langagières, motrices et cognitives est certainement pour beaucoup dans ses liens avec les troubles spécifiques des apprentissages, notamment la dyslexie, ainsi qu'avec les troubles psychomoteurs que sont le Trouble Dévelopmental de la Coordination (TDC) et le Trouble Déficit de l'Attention/Hyperactivité (TDA/H).

Le diagnostic de la dysgraphie

En France, le test standard actuel : le BHK

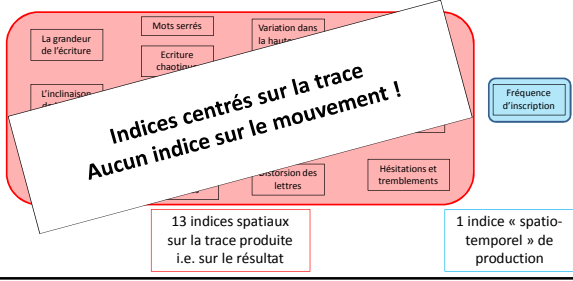
(Hamstra-Bletz, de Bie & den Brinker, 1987; adaptation française Charles, M., Soppelsa, R., & Albaret, J.-M. (2003))



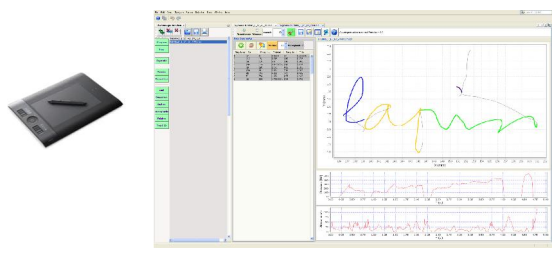
Le diagnostic de la dysgraphie

En France, le test standard actuel : le BHK

(Hamstra-Bletz, de Bie & den Brinker, 1987; adaptation française Charles, M., Soppelsa, R., & Albaret, J.-M. (2003))



Le diagnostic de la dysgraphie



Le diagnostic de la dysgraphie

✓ Intérêt des nouvelles technologies



La rééducation de la dysgraphie

✓ Le constat

- ✓ aucune méthode générique établie et consensuelle pour la rééducation de la dysgraphie

Car nécessité d'adapter les protocoles de rééducation au scripteur, en prenant en compte à la fois les troubles qui affectent son écriture et les attentes sociétales qui lui correspondent

- ✓ S'il n'existe pas de « recette » établie, l'objectif ici est de recenser l'ensemble des « ingrédients » qui participent à l'efficacité d'une rééducation

La rééducation de la dysgraphie

✓ Intérêt de travailler la graphomotricité

- ✓ Partant du postulat que la dysgraphie recouvre les troubles liés à la production de la trace écrite, une manière pertinente d'y pallier est de proposer des tâches graphomotrices simplifiées.
- ✓ La mise-en-place de ce type d'exercices permet de détourner le rapport conflictuel qu'a le scripteur dysgraphique avec l'acte d'écrire.
- ✓ Evidemment, l'efficacité de ces exercices sur l'écriture repose sur un postulat fort : le transfert d'habiletés graphomotrices à la capacité d'écrire. Les exercices graphomoteurs doivent donc se rapprocher ou tendre *in fine* vers des exercices d'écriture.

La rééducation de la dysgraphie

✓ Intérêt de travailler la graphomotricité

Augmentation du niveau de difficulté →	
Augmentation du niveau de difficulté ↑	<p> * ○ ○ ○ ○ 8 ∞ Pas de translation gauche-droite Travail centré sur le système poignet-douls Formes à produire de manière continue </p>
	<p> llll uuu oooo mmm Production de patrons graphomoteurs simples (sans changement de paramètres, dans les deux sens de rotation) avec translation gauche-droite </p>
	<p> oooo uuuu mmm ll ll Production de patrons graphomoteurs avec translation et avec changement de paramètres (variation d'amplitude, d'orientation etc.) </p>

Illustration de modèles à recopier, hiérarchisés selon le niveau de difficulté en termes de coordination graphomotrice impliquée. Progression d'exercices très simplifiés (production de traits droits) à des exercices plus difficiles mais également plus proches de l'écriture.

La rééducation de la dysgraphie

- ✓ Trouver l'équilibre entre répétition et variation des exercices
- ✓ Privilégier la répétition d'exercices dans la phase initiale de réapprentissage, pour permettre de stabiliser de nouvelles performances, et de privilégier la variation d'exercices dans un second temps, pour faciliter une meilleure rétention et transférabilité des capacités acquises.

La rééducation de la dysgraphie

- ✓ Présentation du modèle à retracer
- ✓ Privilégier les modèles qui contiennent des informations sur le processus et pas uniquement sur le produit de l'écriture
- ✓ Le traçage par-dessus des modèles de lettres en pointillés est plutôt à proscrire : le contrôle hautement visuel qui permet de relier les pointillés empêche le scripteur d'augmenter la vitesse et la fluidité de son geste, et perturberait l'automatisation du pattern moteur relatif à la lettre à produire

La rééducation de la dysgraphie

- ✓ Rôle de la métacognition
- ✓ Permettre au scripteur de prendre une part active dans sa rééducation en mettant en place une activité réflexive sur son écriture.
- ✓ Cette activité réflexive peut s'établir rétroactivement, dans l'auto-évaluation de l'exercice qu'il vient de réaliser.
Par exemple, demander à un enfant mauvais scripteur d'écrire plusieurs fois la même lettre puis d'évaluer quelle lettre est la mieux tracée, participe à l'amélioration de la lisibilité de leur écriture (mais pas à sa vitesse) Jongmans et al., 2003

La rééducation de la dysgraphie

- ✓ Rôle de la métacognition
 - ✓ Permettre au scripteur de prendre une part active dans sa rééducation en mettant en place une activité réflexive sur son écriture.
 - ✓ Cette activité réflexive peut également s'effectuer pro-activement, en laissant par exemple la possibilité au scripteur de choisir la difficulté de l'exercice suivant à partir de l'estimation des performances qu'il a effectuées à l'exercice précédent. On parle dans ce dernier cas d'autocontrôle (de la difficulté de la tâche).

La rééducation de la dysgraphie

- ✓ Modifier la perception de l'écriture
 - ✓ Modifier la perception proprioceptive est de permettre au scripteur de ressentir le mouvement correct de l'écriture
 - ✓ L'exploration digitale de lettres en relief est également une méthode validée pour augmenter la prise d'informations motrices liées à leur production (Bara et Gentaz, 2011)

La rééducation de la dysgraphie

- ✓ Modifier la perception de l'écriture
 - ✓ Modifier la perception visuelle : permettre au scripteur de se focaliser sur le mouvement qu'il effectue (au détriment de la qualité spatiale de la trace donc avec précaution), soit en fermant les yeux, soit en utilisant de l'encre invisible par exemple

La rééducation de la dysgraphie

- ✓ Rééduquer l'écriture en musique
- ✓ La musique est utilisée dans de nombreux protocoles de rééducations motrices (et dans la dyslexie...).
- ✓ Au-delà du potentiel motivationnel reconnu comme extrêmement fort, le rythme musical sert d'indice externe qui guide le mouvement, grâce à la tendance naturelle et spontanée à s'y synchroniser.



La rééducation de la dysgraphie

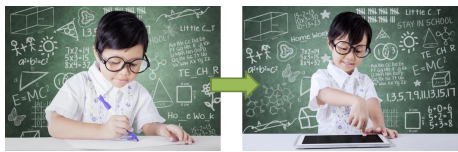
Impact des nouvelles technologies



Solution 1 : « radicale » mais sûrement nécessaire pour les enfants en très grande difficulté

La rééducation de la dysgraphie

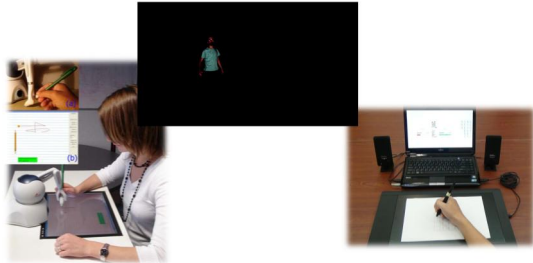
Impact des nouvelles technologies



Solution 2 : profiter des nouvelles technologies pour aider à apprendre ou rééduquer l'écriture

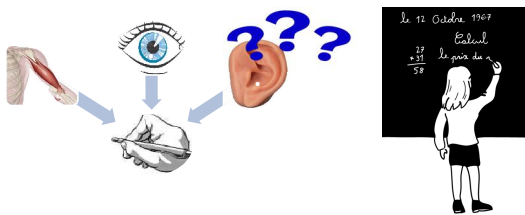
La rééducation de la dysgraphie

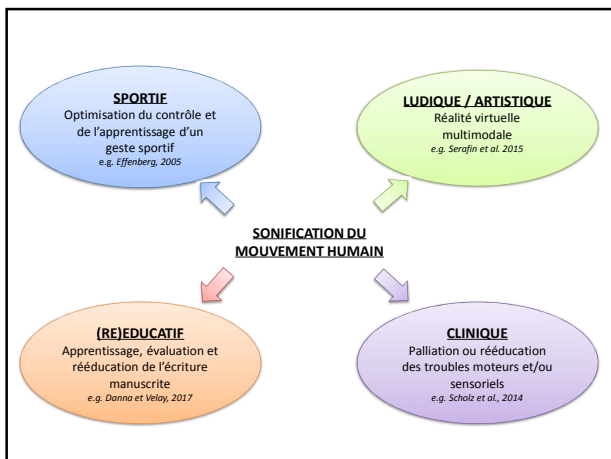
✓ Intérêt des nouvelles technologies



La rééducation de la dysgraphie

✓ Intérêt des nouvelles technologies





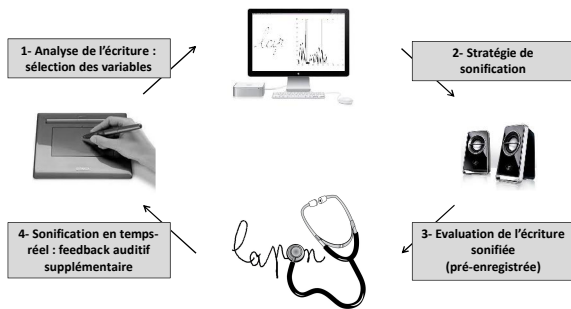
Sonification de l'écriture

• Pourquoi le son ?



- ✓ Exploite un autre canal sensoriel que ceux naturellement utilisés
- ✓ Adapté pour informer des caractéristiques spatio-temporelles du mouvement
- ✓ Effet de l'intégration multisensorielle congruente
- ✓ Source d'émotion et de motivation

Sonification de l'écriture



Sonification de l'écriture

1- Analyse de l'écriture : sélection des variables

Qu'est-ce qu'une « vilaine » écriture ?

Autrement dit

Sur quels indices s'appuie-t-on pour évaluer la qualité d'une écriture ?

Ces indices peuvent porter sur :

- ✓ La **forme** (position, distance)
- ✓ La **cinématique du mouvement** (vitesse, accélération...)
- ✓ La **dynamique du mouvement** (force)
- ✓ L'**activité musculaire** (EMG)

Sonification de l'écriture

- Validation expérimentale 1 : Evaluation de l'écriture sonifiée

Condition IMPLICITE : aucune connaissance de ce qu'ils entendaient
⇒ tâche de familiarisation

Condition EXPLICITE : Informations données sur les sons qu'ils entendaient

Danna et al., Plos One, 2015

Sonification de l'écriture

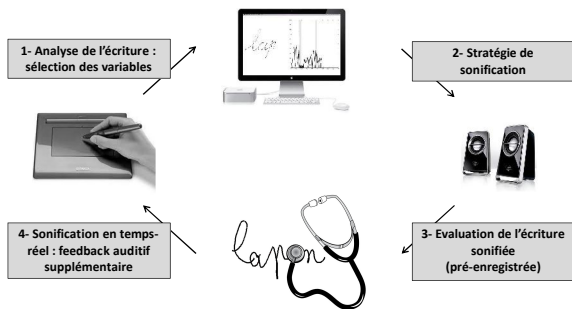
- Validation expérimentale 1 : Evaluation de l'écriture sonifiée

Où est l'écriture dysgraphique ?



Danna et al., Plos One, 2015

Sonification de l'écriture



Sonification de l'écriture

- Validation expérimentale 2 : Effet de la sonification de l'écriture sur l'apprentissage de nouveaux caractères

✓ **Participants** : 32 adultes droitiers

✓ **Tâche** : apprendre 4 nouveaux caractères (avec la main gauche), dont 2 avec le retour auditif supplémentaire



✓ **Protocole expérimental de type** « pré-test / entraînement / post-test »

Danino et al., Hum Mov Sci, 2015

Sonification de l'écriture

- Validation expérimentale 2 : Effet de la sonification de l'écriture sur l'apprentissage de nouveaux caractères



Conclusion

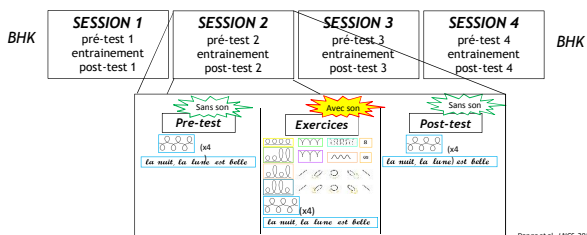
✓ L'ajout d'un FB auditif pendant l'apprentissage a amélioré le geste d'écriture (plus fluide et plus rapide) mais a réduit légèrement (et à court terme uniquement) la forme des caractères produits

✓ Cela est valable chez l'adulte...

Danino et al., Hum Mov Sci, 2015

Sonification de l'écriture

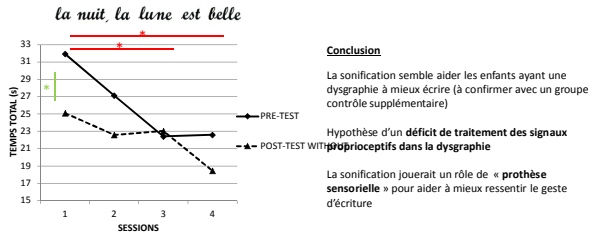
- Validation expérimentale 3 : Effet de la sonification de l'écriture sur la rééducation de la dysgraphie (7 enfants)



Danino et al., LNCES, 2014

Sonification de l'écriture

- Validation expérimentale 3 : Effet de la sonification de l'écriture sur la rééducation de la dysgraphie (7 enfants)

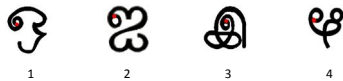


Sonification de l'écriture

- Validation expérimentale 4 : « Entendre pour ressentir » ?

✓ **Participants** : 2 sujets déafférentés (GL et IW, 61 et 65 ans)
 16 sujets témoins appariés en âge et en genre

✓ **Tâche** : Apprendre 4 nouveaux caractères issus du tamoul



✓ **Design expérimental**: « Pré-test / Entraînement (16x) / Post-test »
 ✓ 2 conditions d'entraînement : avec son (S) et sans son (N)
 ✓ 2 post-tests : un juste après l'entraînement et un 2h plus tard

Danna et Velay, Front. Neurosci, 2017

Sonification de l'écriture

- Validation expérimentale 4 : « Entendre pour ressentir » ?

Conclusions

Dans cette étude, les sujets déafférentés ont significativement amélioré leur performance uniquement lorsque l'apprentissage s'est effectué avec la sonification. (Les contrôles qui ont amélioré leur performance même sans la sonification.)

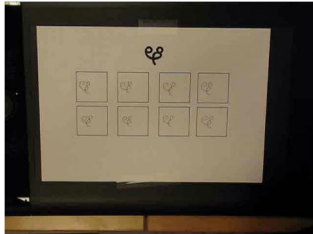
Contrairement aux contrôles, les sujets déafférentés sont revenus à leur performances initiales sur le test effectué 2 heures plus tard

Plusieurs hypothèses : apprentissage pas assez long / caractères trop faciles à apprendre / ils n'apprennent pas vraiment ?

Danna et Velay, Front. Neurosci, 2017

Vers une sonification musicale de l'écriture

- Validation expérimentale en cours



CONCLUSION GENERALE

- Apprendre à écrire, c'est apprendre **le mouvement correct** (fluide, rapide, et précis) **qui laisse une trace correcte** (lisible)
- **Mouvement et trace ne sont pas toujours corrélés**
- Par contre, **en travaillant sur le mouvement, cela améliorera** le processus et le produit de l'écriture, c'est-à-dire **la trace écrite**.
