L'écriture (manuscrite) :
un mouvement au service du langage

Jérémy Danna

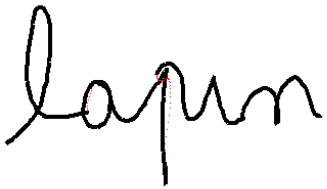
Laboratoire de neurosciences cognitives

jeremy.danna@univ-amu.fr

A propos de l’écriture…

Un langage

Un mouvement



A propos de l'écriture…

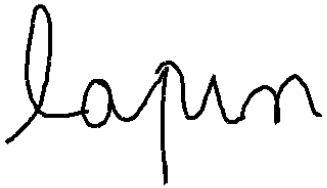
Un langage

Outil de communication au sein d'une communauté

Développé il y a plus de 5000 ans…

Très normalisé
(codifié)
INVARIANCE

Un mouvement

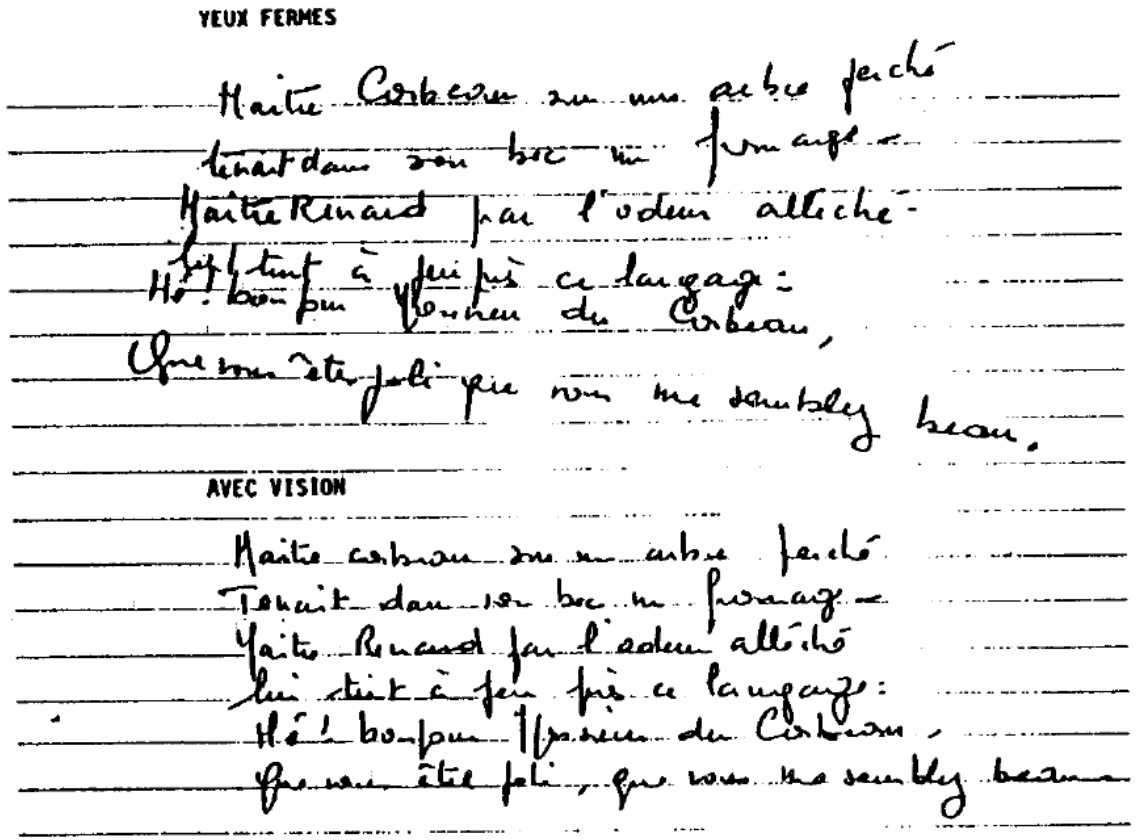


Singulier, personnel, identitaire

En train de disparaître actuellement ?

Très variable
(inter et intra-sujet)
PREFERENCES

Le contrôle moteur de l'écriture


YEUX FERMES

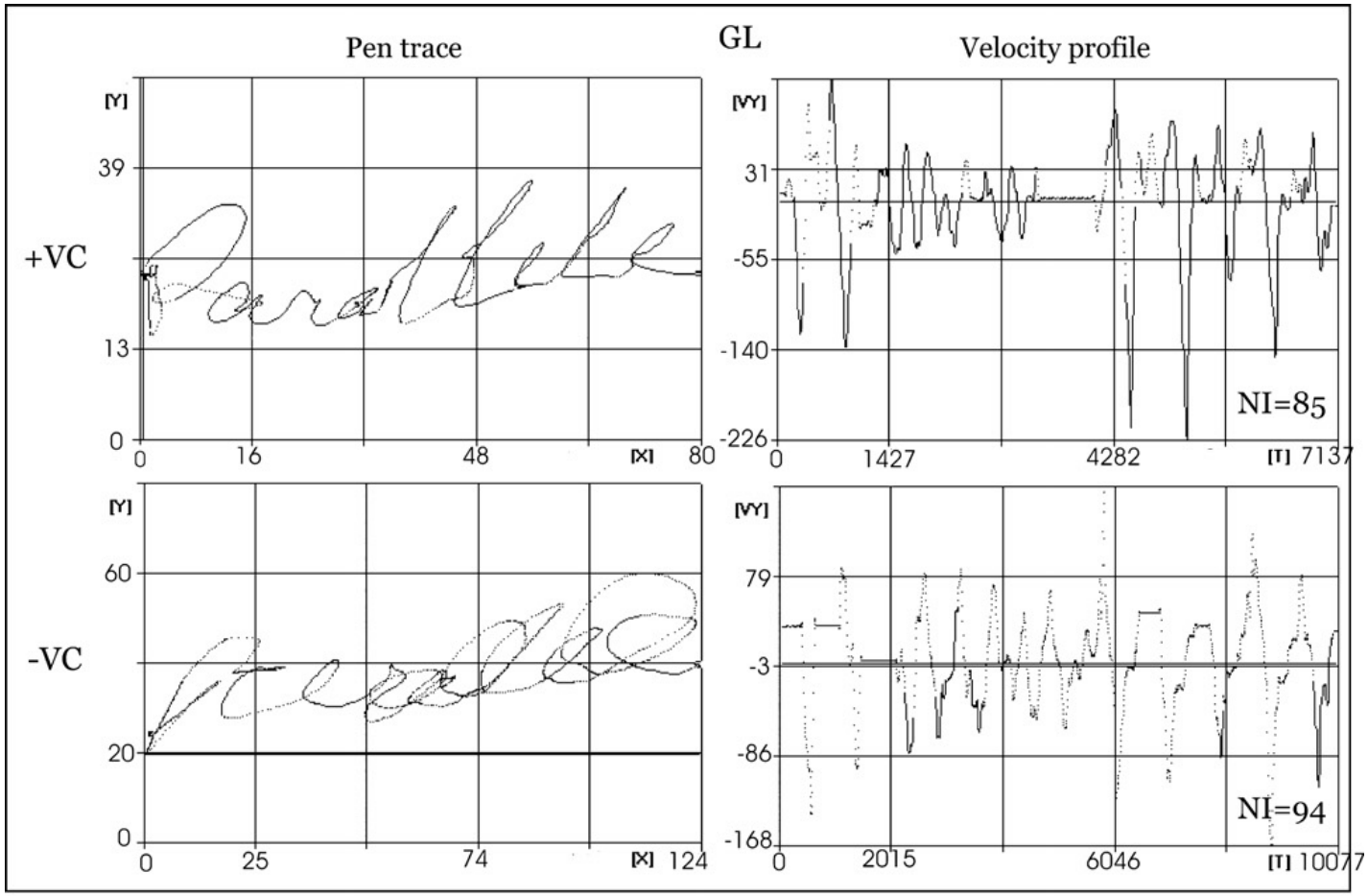
Maître Corbeau sur un arbre perché
tenait dans son bec un fromage.
Maître Renard par l'odeur alléché
lui tint à peu près ce langage :
Hé ! bonjour Monsieur du Corbeau,
que vous êtes joli ! que vous me semblez beau.

AVEC VISION

Maître corbeau sur un arbre perché
Tenait dans son bec un fromage.
Maître Renard par l'odeur alléché
lui tint à peu près ce langage :
Hé ! bonjour Monsieur du Corbeau,
que vous êtes joli, que vous me semblez beau.

Paillard, 1990

Le contrôle moteur de l'écriture



Hepp-Reymond et al., 2009

Le contrôle moteur de l'écriture

- ✓ A partir d'une certaine vitesse, le mouvement devient trop rapide pour être contrôlé via des feedback sensoriels.

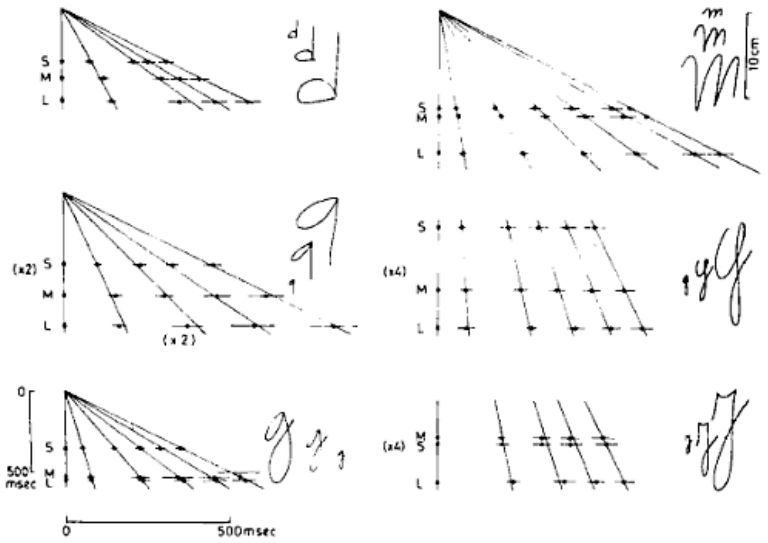
- ✓ Le contrôle moteur s'effectuerait donc en amont, via un « programme moteur » c'est-à-dire « un groupe de commandes musculaires qui sont structurées avant que le mouvement commence et qui autorise le déroulement du geste sans aucune influence des retours sensoriels ».

Keele, 1968

- ✓ Schmidt (1976) : notion de programme moteur généralisé (PMG) pour une classe de mouvement : notion d'INVARIANCE et de PARAMETRISATION

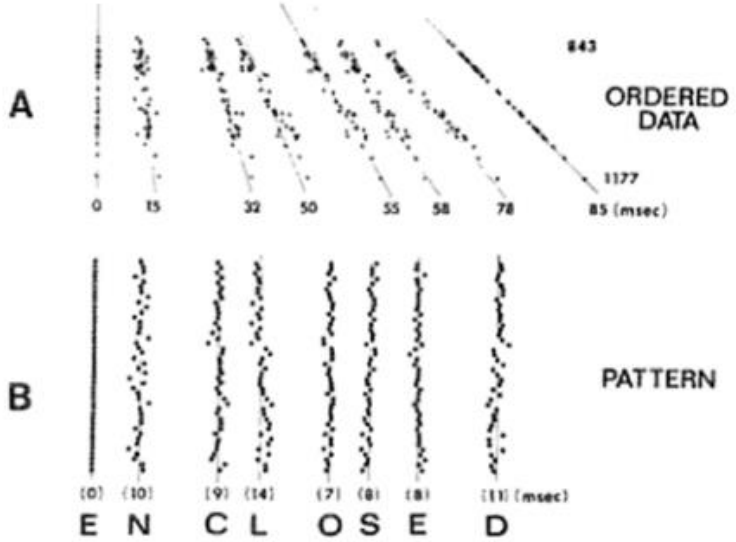
Les invariances de l'écriture

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.



Exemple d'homothétie temporelle en dactylographie.

En A, exemple du maintien de la structure temporelle dans la séquence motrice du mot « ENCLOSED », exprimée par le ratio dans les intervalles de temps, malgré l'augmentation de la vitesse (à droite). En B, normalisation de chaque séquence de ce même mot par la durée moyenne

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

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)

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

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

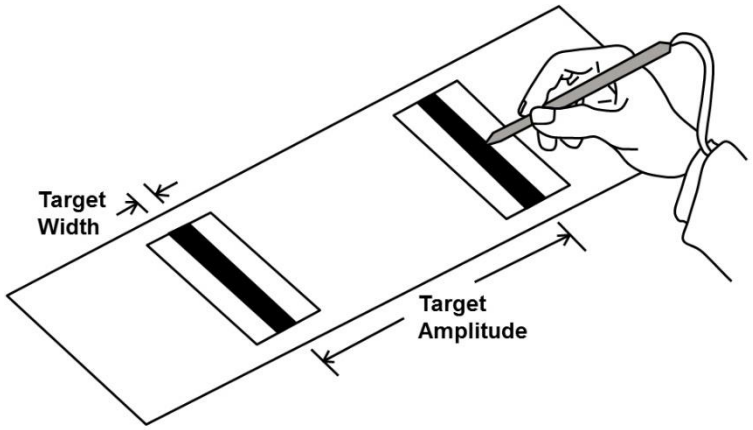
ou

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

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)



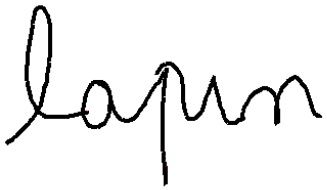
$$TM = a + b * \log_2(2D/L)$$

Les modèles de l'écriture

Un langage

Modèles centrés sur les caractéristiques symboliques de l'écriture
(modèles « top down »)

Un mouvement



Modèles centrés sur les caractéristiques motrices de l'écriture
(modèles « bottom-up »)

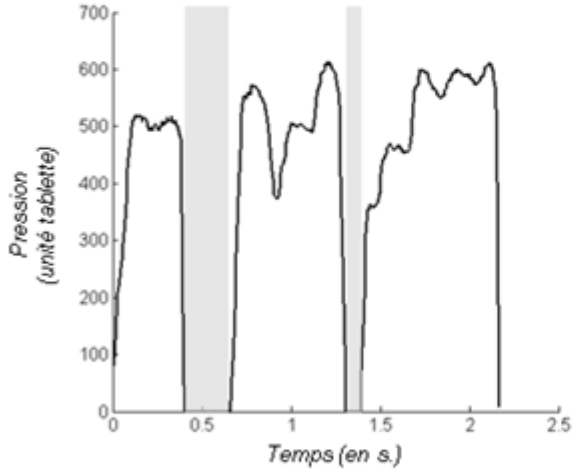
Un exemple de modèle « top-down »

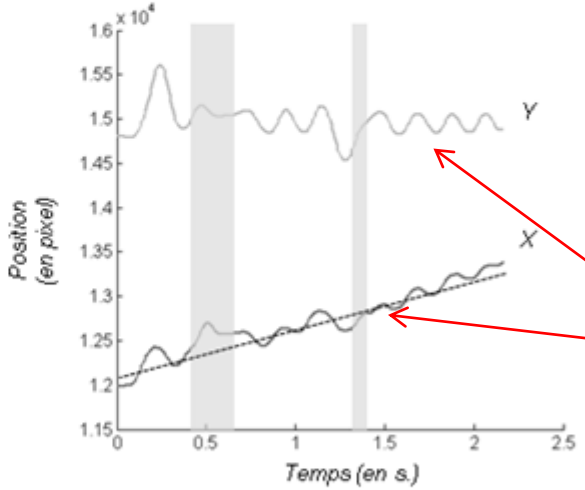
Modules de traitement	Taille des unités	Type de mémoire
activation d'intentions	idées	mémoire épisodique
↓	↓	
rappel sémantique	concepts	lexique verbal
↓	↓	
construction syntaxique	phrases	mémoire à court terme
↓	↓	
orthographe	mots	tampon orthographique
↓	↓	
sélection des allographes	graphèmes	mémoire motrice
↓	↓	
contrôle de la taille	allographe	tampon moteur
↓	↓	
ajustement musculaire	traits	
↓	↓	
formation de la trajectoire en temps réel		

Van Galen, 1991

Un exemple de modèle « bottom-up »

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).

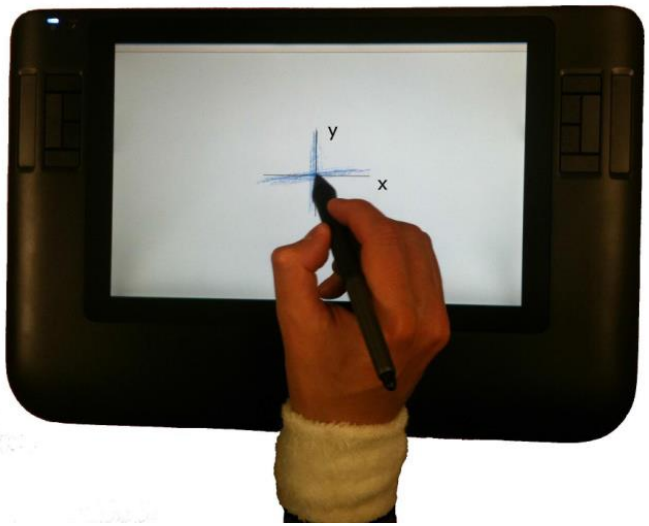


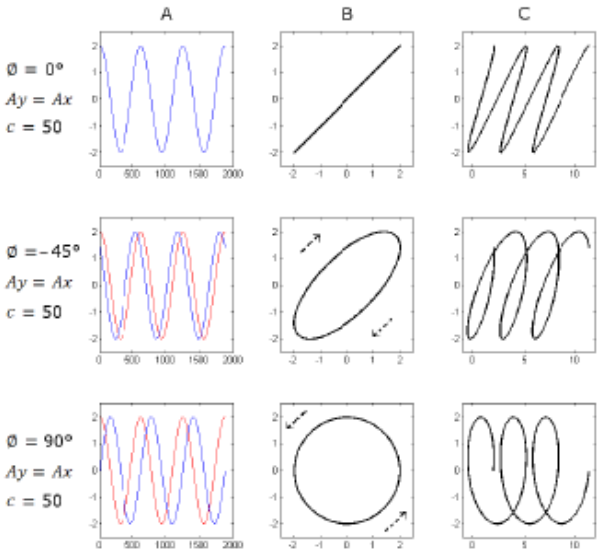


B. Evolution des variables directement fournies par la tablette. La pression (à gauche) repère les mouvements en l'air (zones grises), lorsqu'elle est nulle. Elle permet ainsi de calculer le Temps de Mouvement en l'air et à l'écrit, le nombre de levers de stylo et la pression moyenne exercée par le stylo 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 accélération). Notons que le coefficient directeur de la droite en pointillés détermine le déplacement continu gauche-droite.

Des oscillations
+ une constante de translation vers la droite

Un exemple de modèle « bottom-up »



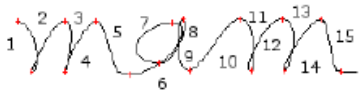


$$\dot{x} = A_x * \sin(\omega_x(t - t_0) + \varphi_x) + c$$

$$\dot{y} = A_y * \sin(\omega_y(t - t_0) + \varphi_y)$$

Hollerbach, 1981

Un exemple de modèle « bottom-up »



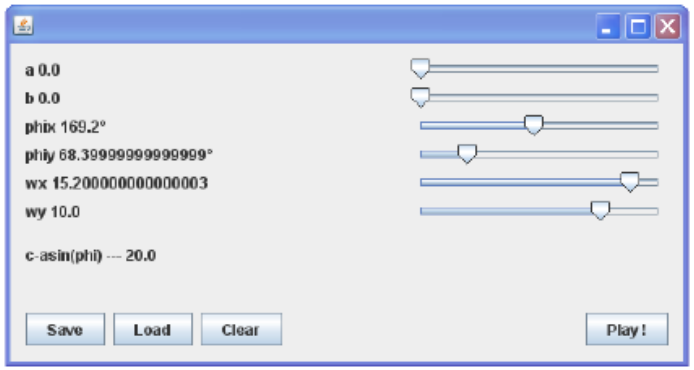


Figure 44 : Mot « mam » produit par la modulation des paramètres de 15 unités fondamentales délimitées par les moments où la vitesse verticale s'annule matérialisés par les points rouges. En dessous du mot, représentation de la fenêtre de paramétrage. Cette fenêtre est une interface graphique qui permet de créer des mots à partir des modulations des paramètres de chaque composante oscillatoire.

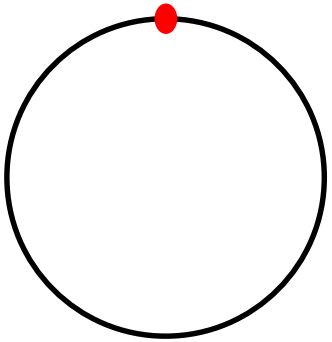
Table 1

Unités fondamentales	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
a	46	40	40	40	10	100	124	34	3	52	52	52	52	52	2
b	100	100	100	100	100	100	78	78	10	100	100	100	100	100	100
φ_x	90	144	144	144	72	208,8	208,8	208,8	176,	180	180	72	72	93,6	93,6
φ_y	180	180	180	180	180	154,8	14	144	115,	126	126	126	126	126	126
wx	10	10	10	10	4,8	10	10	10	1	5,6	5,6	10	10	10	10
wy	10	10	10	10	10	10	10	10	1	10	10	10	10	10	10
c-asin(phi)	63,75	-43,5	-43,5	-43,5	39,02	-60,9	-92,2	-10,76	-13,	-22,07	-22,07	62,07	62,07	47,86	21,07

Aucun changement de paramètres : « chunks » moteurs ?

Les préférences de l'écriture

✓ Un sens de rotation préférentiel

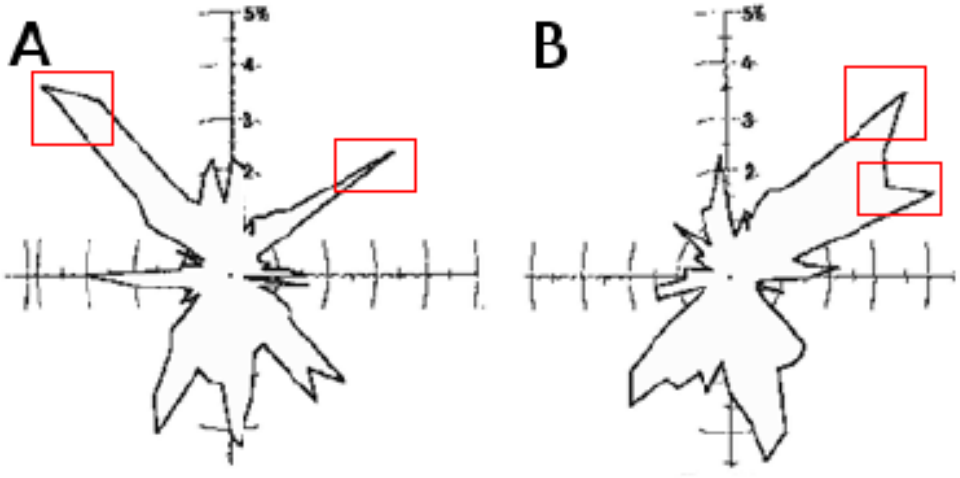


Les enfants pré-scripteurs droitiers préfèrent effectuer des cercles dans le sens horaire (préférences biomécaniques) alors que les enfants scripteurs tendent à produire les mêmes figures dans le sens anti-horaire qui correspond au sens de rotation dominant de l'écriture

Meulenbroek, Vinter, & Mounoud, 1993

Les préférences de l'écriture

✓ Des orientations préférentielles



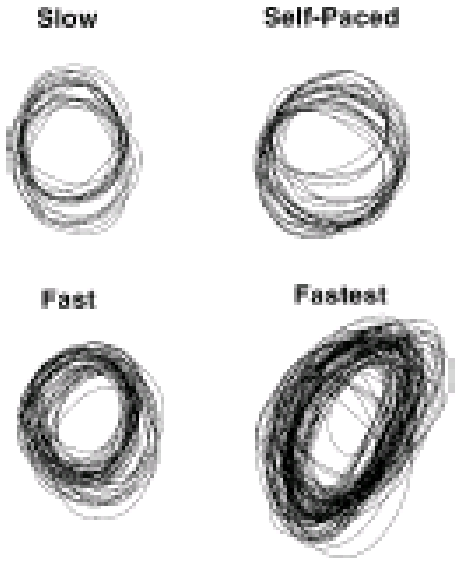
GAUCHERS **DROITIERS**

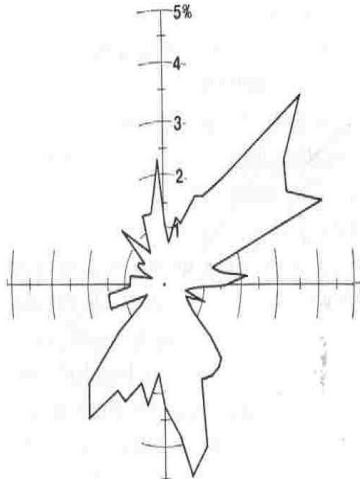
Répartition des orientations spontanément choisies par des gauchers (A) et des droitiers (B) Les orientations les plus choisies sont dites préférentielles

Van Sommers (1984)

Les préférences de l'écriture

✓ Une courbure préférentielle

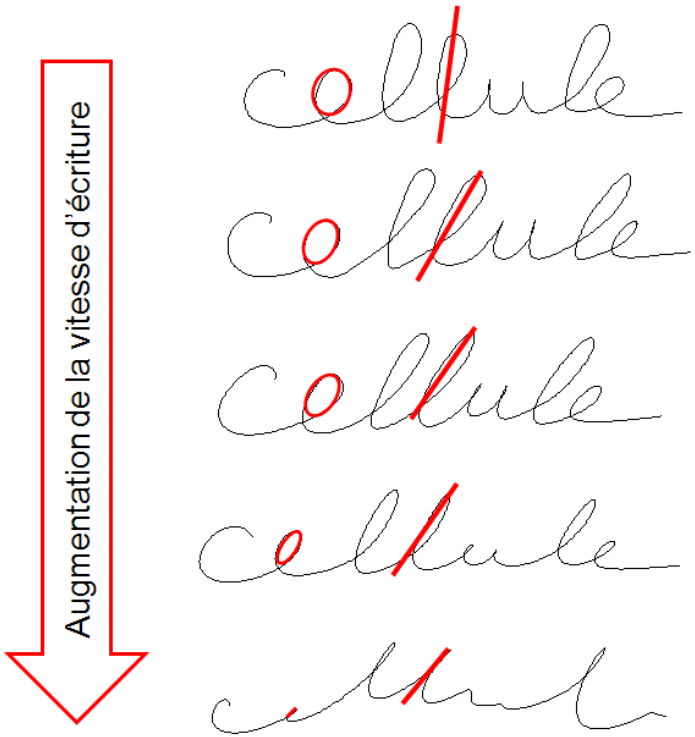




Dans l'orientation préférentielle…

Dounskaia et al., 2000

Entre invariance et préférences…



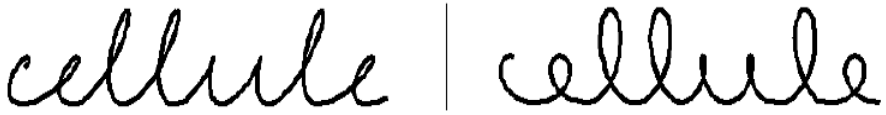


Figure 46 : Modélisation de l'écriture cursive d'un mot à partir des couplages préférentiels chez l'adulte et l'enfant. A gauche, le mot est écrit avec une PR à 45° (préférentielle chez l'adulte), à droite le même mot écrit avec une PR à 90° (préférentielle chez l'enfant).

Impact de l'écriture sur la lecture

ELSEVIER

COGNITION

Cognition 74 (2000) B27–B32

www.elsevier.com/locate/cognit

Brief article

Chinese and Americans see opposite apparent motions in a Chinese character

Peter Ulric Tse[a,*], Patrick Cavanagh[b]

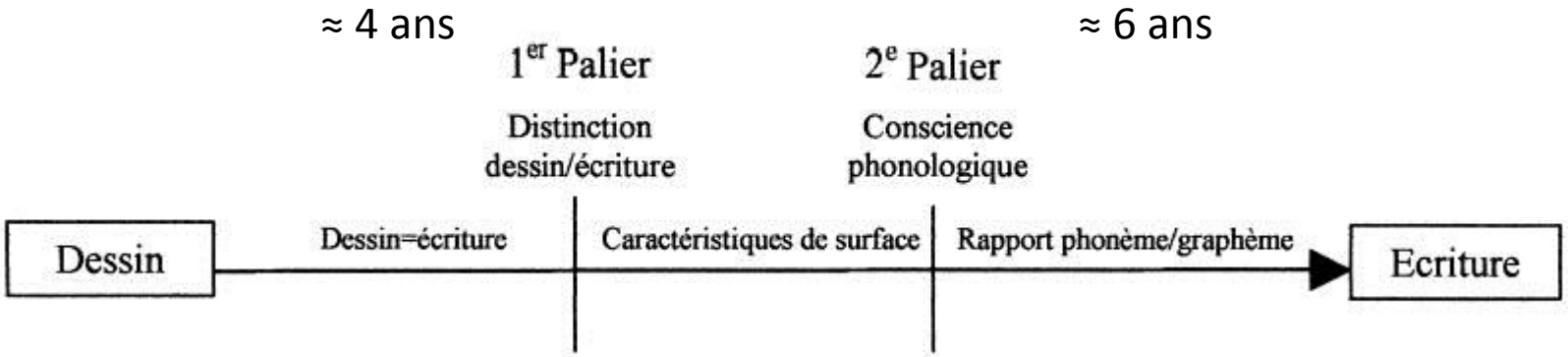
[a]*Max Planck Institute for Biological Cybernetics, 38 Spemannstrasse, 72076 Tuebingen, Germany*
[b]*Vision Sciences Lab, Harvard University, William James Hall, 33 Kirkland Street, Cambridge, MA 02138, USA*

Received 1 June 1997; accepted 21 September 1999

Double encodage de la lettre, spatiale (statique) et spatiotemporel (dynamique), qui serait réactivé dans la reconnaissance des lettres statiques, processus de base de la lecture.

Possible « aide » de ces informations motrices dans les processus orthographiques ?

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

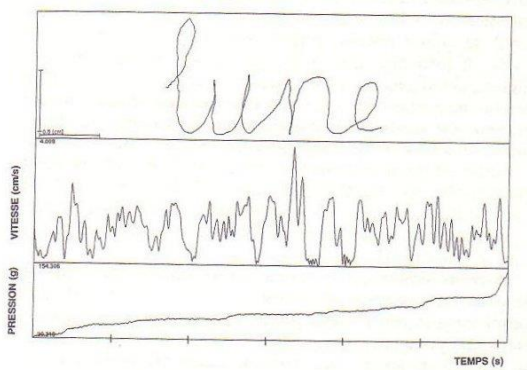
- **Palier 2 :** Prise de conscience que le mot prononcé est segmentable et, à un moment donné, ils comprennent qu'écrire c'est coder des sons avec des signes spécifiques qu'on appelle des lettres.

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)



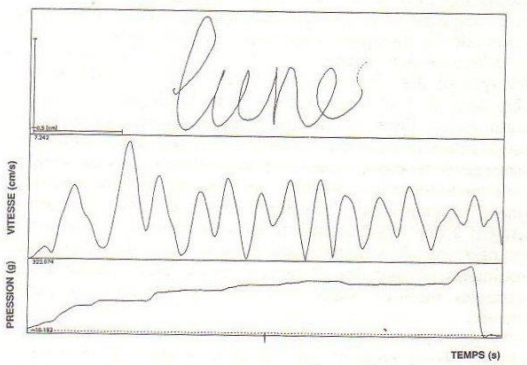


Fig. 5.1. — Tracés et profils de la vitesse absolue et de la pression pour le mot « lune » écrit par un enfant de 8 ans (panneau supérieur) et par un enfant de 12 ans (panneau inférieur) ; les échelles temporelles et spatiales sont adaptées aux caractéristiques respectives des productions.

Zesiger, 1995

Le développement de l'écriture

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

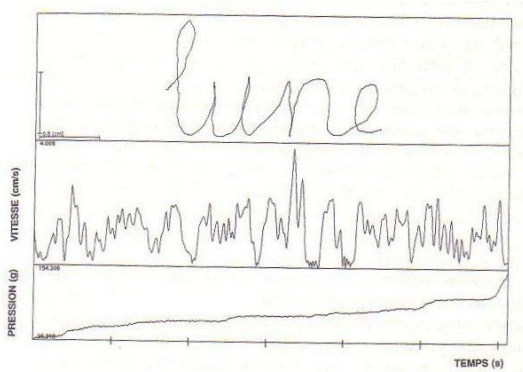


Fig. 5.1. — Tracés et profils de la vitesse absolue et de la pression pour le mot « lune » écrit par un enfant de 8 ans (panneau supérieur) et par un enfant de 12 ans (panneau inférieur) ; les échelles temporelles et spatiales sont adaptées aux caractéristiques respectives des productions.

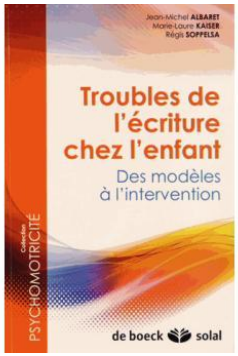
Zesiger, 1995

Les dysgraphies

- ✓ Trouble au niveau de la production du geste d'écriture

- ✓ Les dysgraphies peuvent être développementales (primaires), en lien avec l'apprentissage de l'écriture, ou acquises (secondaires), conséquente à un autre trouble. secondaire, consécutif à un trouble acquis.

Note : la dysgraphie primaire fait état d'un nombre bien plus important de recherche et d'ouvrages cliniques



Les dysgraphies

- ✓ Distinction entre dysgraphie (trouble moteur) et dysorthographie (trouble linguistique) avec cependant un recouvrement partiel…

- ✓ Distinction entre dysgraphie (sans troubles neurologiques) et agraphie (chez des patients cérébro-lésés)

Qu’est ce qu’une écriture dysgraphique ?

- ✓ Distinction entre le *processus* d’écrire et le *produit* formel 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 vitesse et précision est donc à retrouver dans l’analyse de la qualité de l’écriture

Qu’est ce qu’une écriture dysgraphique ?

- ✓ Au niveau du *produit* formel 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* formel 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 troncs et les lettres avec jambage ou hampe)

Qu’est ce qu’une écriture dysgraphique ?

- ✓ Au niveau du *produit* formel 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*
  - ✓ A l’échelle 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*
  - ✓ A l’échelle 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 »

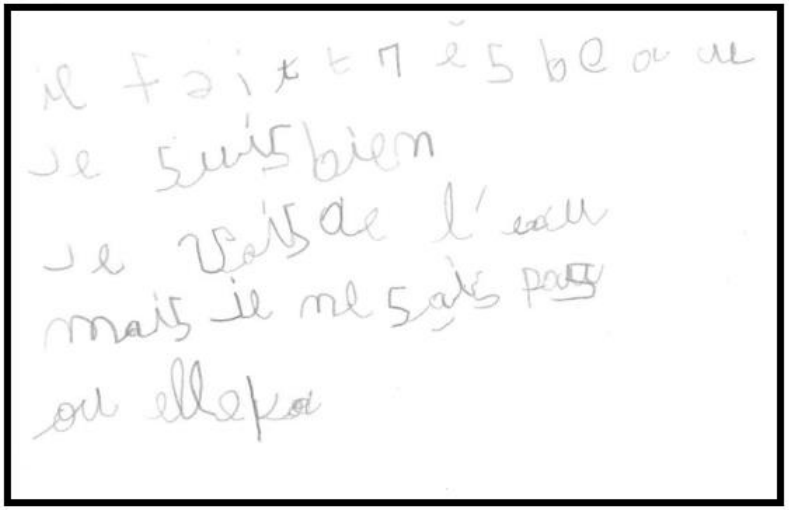
- ✓ La co-existence de plusieurs troubles neurodéveloppementaux chez un même enfant est « la règle plutôt que l'exception », (Kaplan *et al*., 1998).

- ✓ Ceci se vérifie pour la dysgraphie, dont le pluridétermisme 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 de l'Acquisition de la Coordination (TAC) et le Trouble Déficit de l'Attention/Hyperactivité (TDA/H).

Le diagnostic de la dysgraphie

En France, le test standard actuel : le BHK

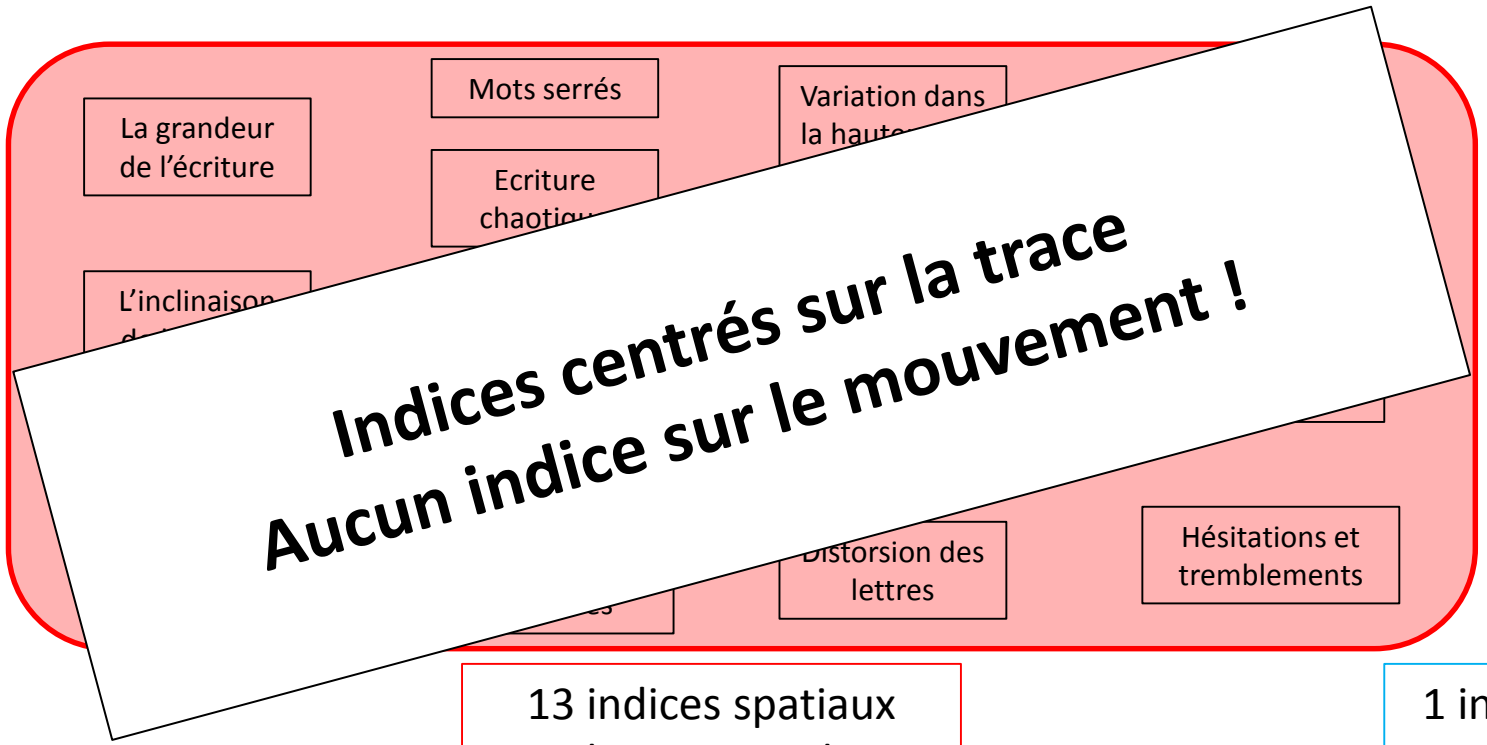
(Hamstra-Bletz, de Bie & den Brinker, 1987; adaptation française Charles, M., Soppelsa, R., & Albaret, J.-M. (2003)



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)

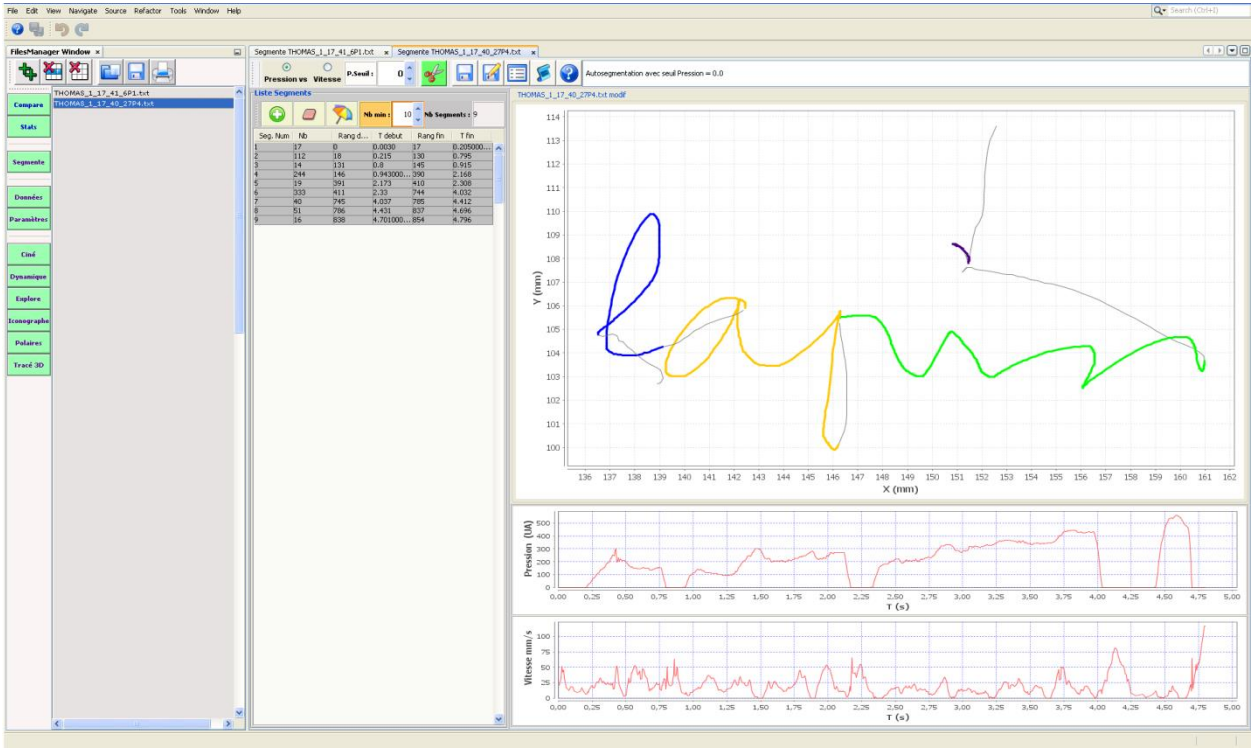


Fréquence d'inscription

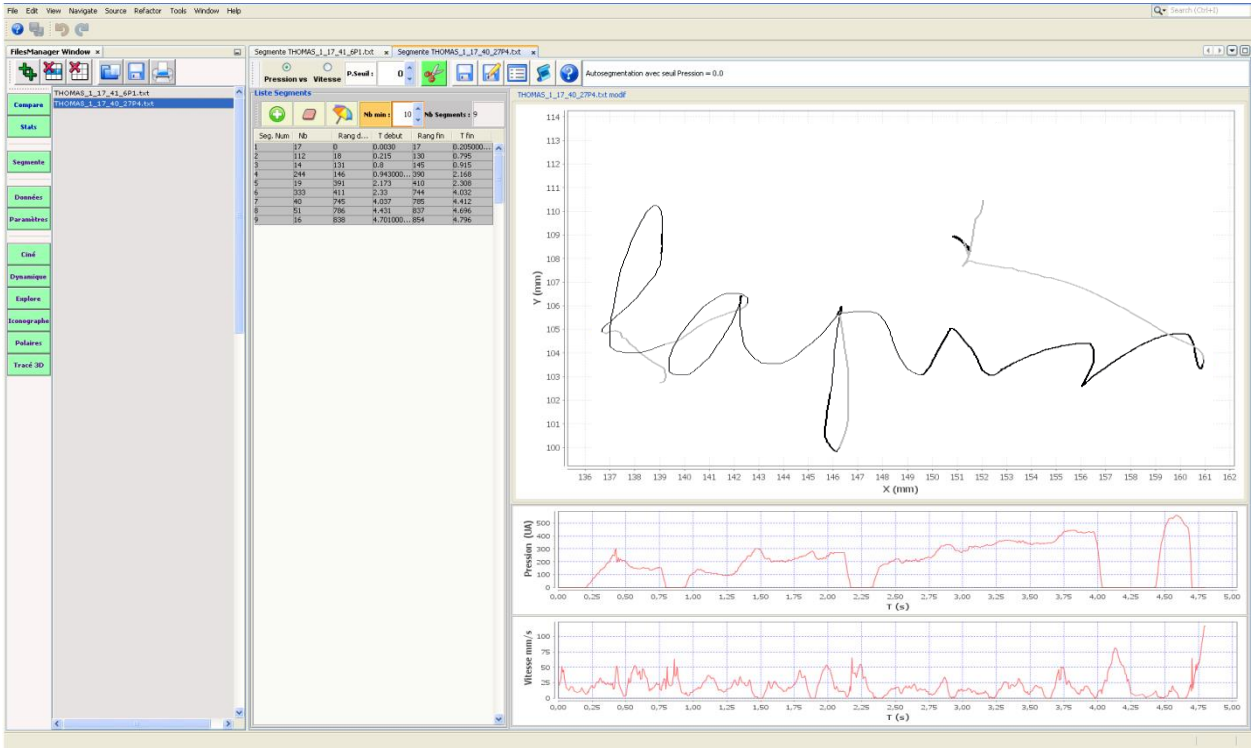
13 indices spatiaux sur la trace produite i.e. sur le résultat

1 indice « spatio-temporel » de production

Le diagnostic de la dysgraphie



Le diagnostic de la dysgraphie



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

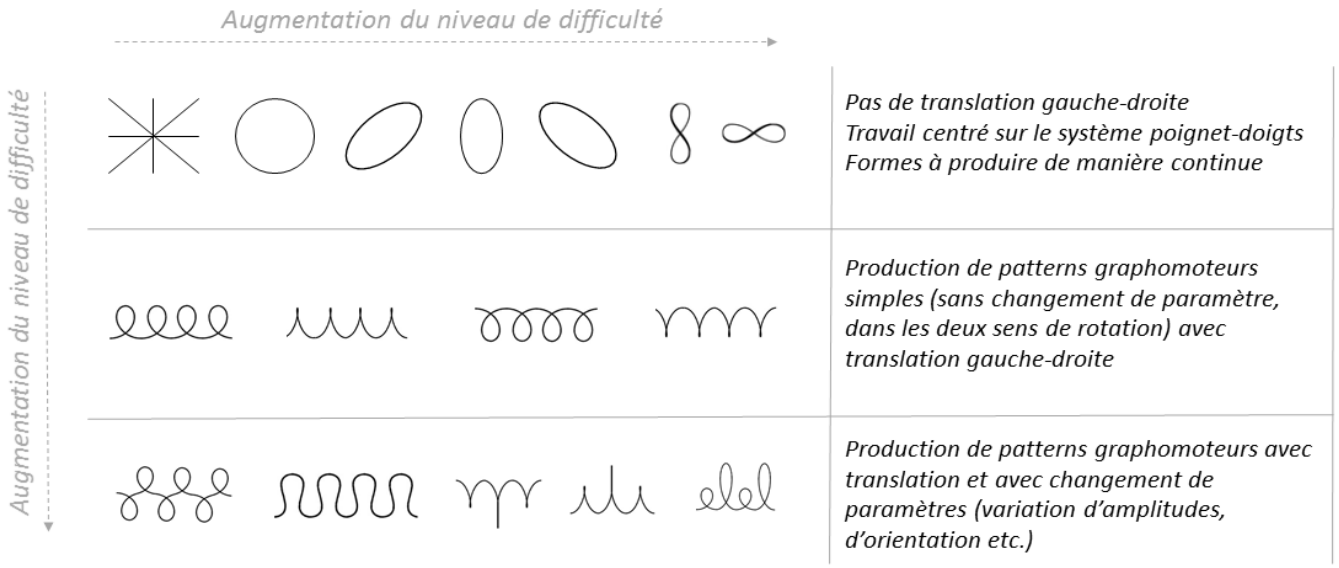


Illustration de modèles à recopier, hiérarchisés selon le niveau de difficulté en termes de coordination graphomotrice impliquée.
Progression d'exercices très simplifiés (production de traits droits) à des exercices plus difficiles mais également plus proches de l'écriture.

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

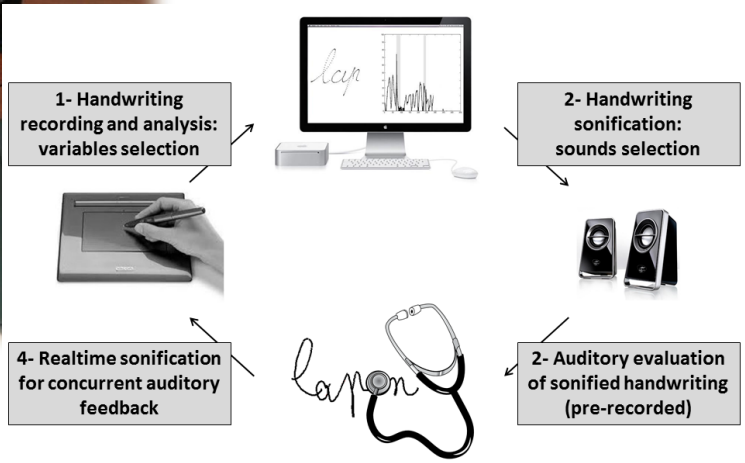
- ✓ Modifier la perception de l'écriture
  - ✓ Modifier la perception visuelle : permettre au scripteur de se focaliser sur le mouvement qu'il effectue (au détriment de la qualité spatiale de la trace donc avec précaution), soit en fermant les yeux, soit en utilisant de l'encre invisible par exemple

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.
  - ✓ Une étude de cas d'un protocole de rééducation d'un enfant avec une dysgraphie de Véron-Delor et al. (soumis) a montré qu'ajouter une musique de fond a participé à la rééducation du mouvement graphique, sans détériorer la qualité spatiale de la trace écrite.

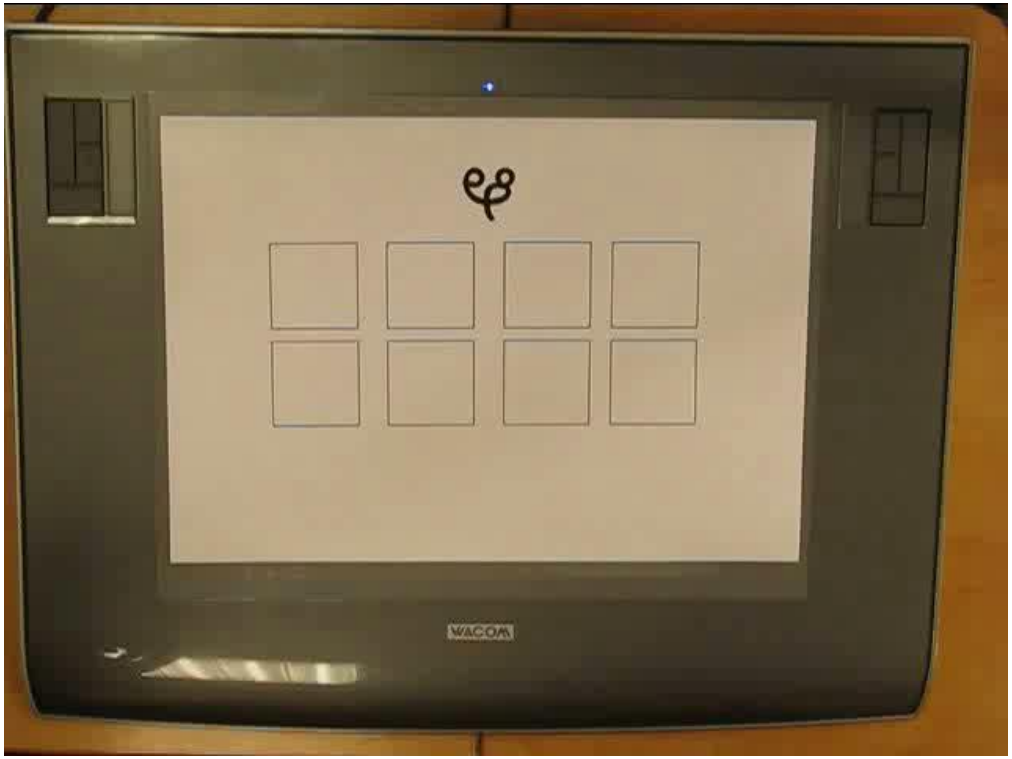
La rééducation de la dysgraphie

✓ Intérêt des nouvelles technologies



La rééducation de la dysgraphie

- ✓ Intérêt des nouvelles technologies



Fin !

Jérémy Danna

Laboratoire de neurosciences cognitives

jeremy.danna@univ-amu.fr