

Sonifier l'écriture : un outil pour le diagnostic et la remédiation de la dysgraphie



Jérémy Danna, Vietminh Paz-Villagran, Jean-Luc Velay

Laboratoire de Neurosciences Cognitives (UMR 7291)

Charles Gondre, Mitsuko Aramaki, Sølvi Ystad, Richard Kronland-Martinet

Laboratoire de Mécanique Acoustique (UPR 7051)

Harold Omer, Bruno Torrèsani

Laboratoire d'Analyse, Topologie, Probabilités (UMR 7353)



Diagnostic de la dysgraphie: le BHK

Texte à recopier

Il fait très beau
Je suis bien
Je vois de l'eau
mais je ne sais pas
où elle va

L'eau venait sur les côtés, avec une grande force. Des enfants étaient près de moi. Le plus petit, donnait ses affaires à une femme.

Cette femme, qui était grande et belle, devait être une amie. Elle lui avait pris la main, et je les voyais aller vers une place : la plus belle de notre ville ! Un des enfants, donnait des choses à un autre ; mais, je ne savais pas ce que c'était.

J'étais trop loin ; alors, je me dirigeais doucement vers eux, pour mieux voir. Un des enfants me regardait. Il me fit signe de venir, avec lui, dans le groupe.

J'entendais des rires et des paroles joyeuses. J'étais content car ils m'avaient demandé de venir. Je les regardais en souriant puis je leur demandais leurs noms.

En faisant de grands bruits, ils me donnaient leurs petits noms, tous en même temps. « Je n'ai pas tout compris » dis-je en riant. Le plus grand du groupe me regardait avec un oeil sympathique et voulait savoir si j'étais du coin. « Non, je viens d'arriver depuis peu » lui dis-je. « Alors bienvenu parmi nous » dit-il.

Nous avons ensuite cherché un jeu que nous aurions pu faire. Il fallait tous se réunir, pour trouver quelque chose. Nous avons fini par nous accorder, après de longs discours : on allait faire des bateaux dans l'eau. Nous avons décidé de nous séparer en petits groupes, pour rapporter du matériel : du bois et divers objets... Mais, la pluie s'est mise à tomber fort. Alors, nous sommes allés, en courant et en riant, avec mes nouveaux camarades de jeux, dans une vieille maison, trouver de nouvelles idées !

Le constat

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))

– Les 13 items sont :

La grandeur
de l'écriture

Mots serrés

Variation dans
la hauteur

Ecriture
chaotique

L'inclinaison
des lettres

**Indices centrés sur la trace
Aucun indice sur le mouvement !**

Vitesse
d'écriture

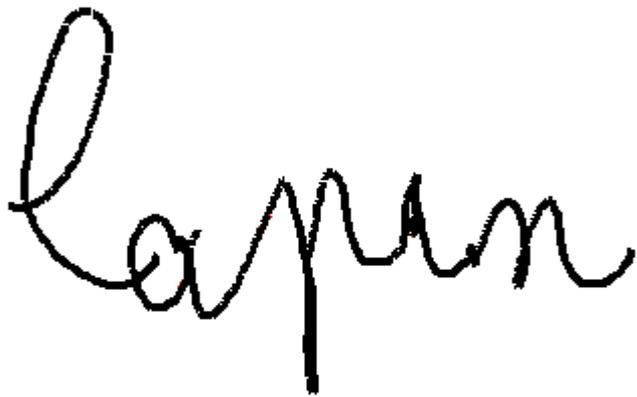
Distorsion des
lettres

Hésitations et
tremblements

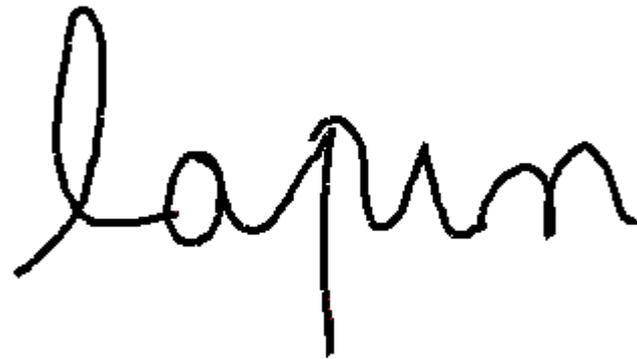
13 indices spatiaux
sur la trace produite
i.e. sur le résultat

1 indice « spatio-
temporel » de
production

Le constat

The word 'Lapin' is written in a cursive script by a child with dysgraphia. The letters are highly irregular, with the 'L' being a large, loopy shape, the 'a' being a small, tight loop, and the 'p' having a very long, thin vertical stem. The 'i' and 'n' are also somewhat distorted and less fluid.

Enfant dysgraphique

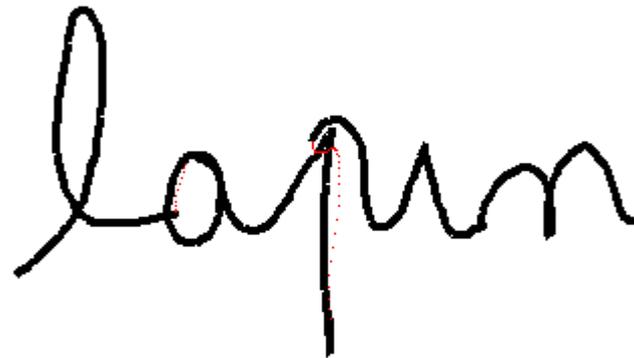
The word 'Lapin' is written in a cursive script by a child with normal handwriting. The letters are well-proportioned, fluid, and connected. The 'L' is a simple, elegant shape, the 'a' is a clear loop, and the 'p' has a distinct vertical stem. The 'i' and 'n' are also clearly defined and connected to the rest of the word.

Enfant normoscripteur

- Les traces écrites entre un enfant dysgraphique et normoscripteur diffèrent mais pas toujours...

Le constat

.

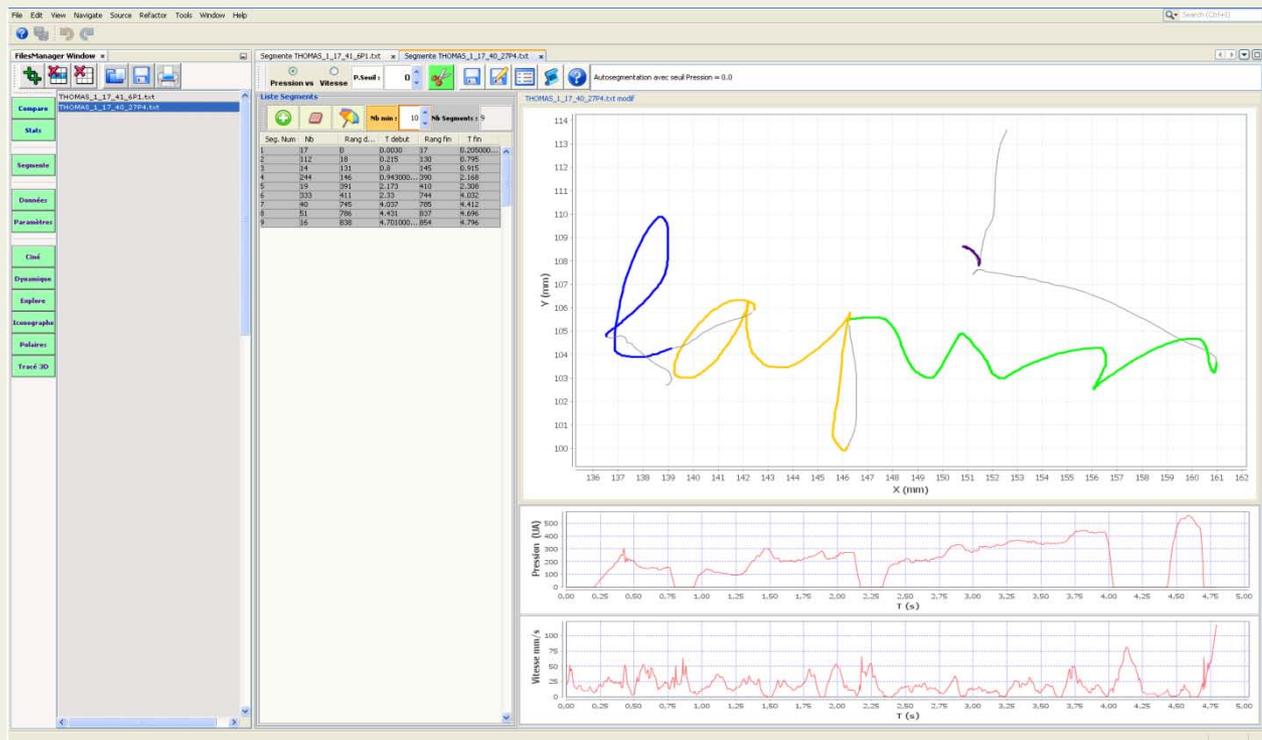


Enfant dysgraphique

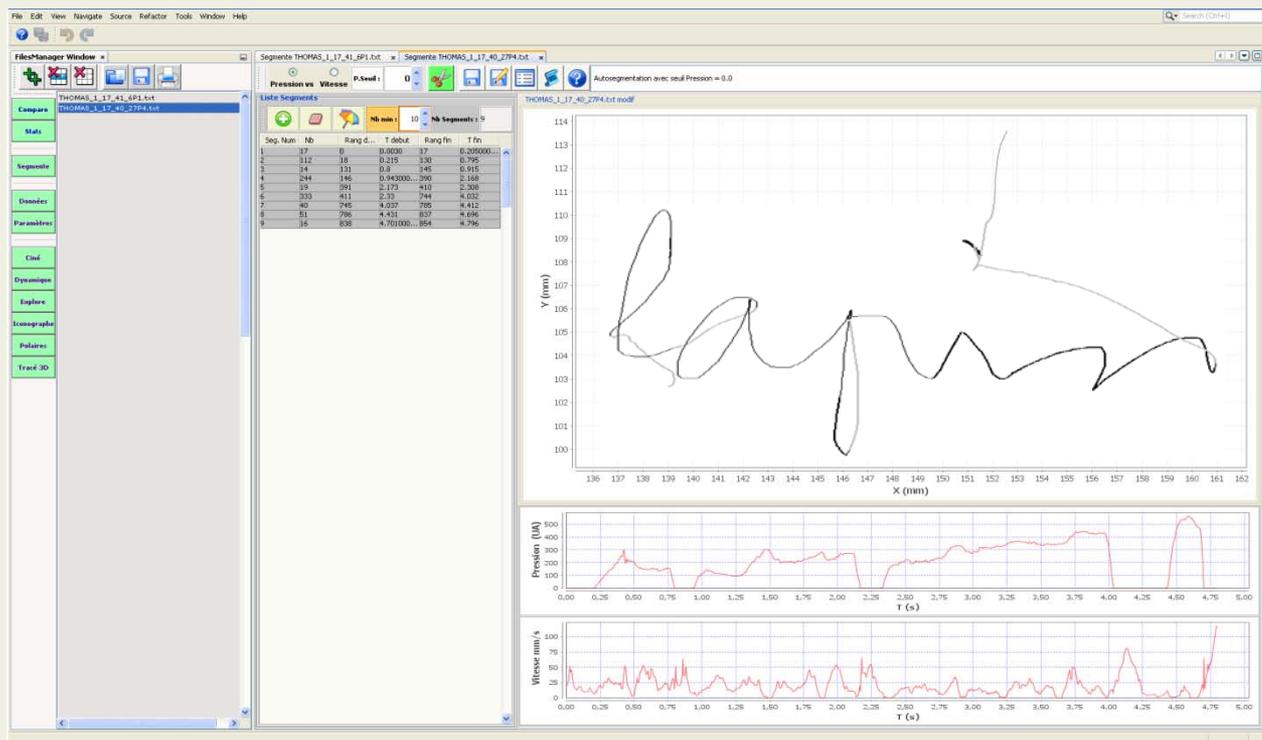
Enfant normoscripteur

- Les traces écrites entre un enfant dysgraphique et normoscripteur diffèrent mais pas toujours...
- Le mouvement lui diffère toujours !

Le constat



Le constat

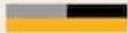


L'objectif du projet



1. Côté diagnostic => aider les thérapeutes à repérer une écriture d'enfant dysgraphique à partir d'indices sonifiés

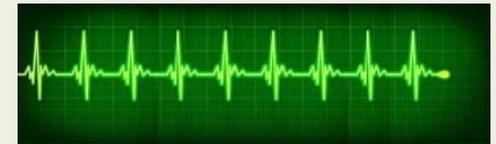
Pourquoi utiliser le son ?



Malgré les apparences, le son est utilisé depuis longtemps dans le diagnostic...



... Pour accéder plus facilement à des informations qu'on ne voit pas (ou difficilement)



Pourquoi utiliser le son ?



Intérêts :

✓ Les propriétés dynamiques et temporelles du son le rendent particulièrement adapté pour renseigner sur un phénomène évolutif (tel que le geste d'écriture)

Pourquoi utiliser le son ?



Intérêts :

✓ L'ajout d'informations sonores n'empêche pas la prise d'informations visuelles sur la trace, le geste, ou la posture du scripteur. Il peut même la compléter

Pourquoi utiliser le son ?



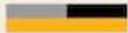
Intérêts :

- ✓ Le son peut même amplifier certaines informations...

...En créant des METAphores SONores !



Pourquoi utiliser le son ?



Intérêts :

- ✓ Le son peut même amplifier certaines informations...

...En créant des METAphores SONores !



- ✓ Associer un son discordant, qui '*craque*', à une mauvaise écriture,
- ✓ Associer un son mélodieux, qui '*coule*', à une « belle » écriture

Qu'est-ce qu'une « belle » 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)

Les indices du mouvement d'écriture les plus analysés actuellement

(Méta-analyse sur 40 articles étudiant les troubles de l'écriture)

Kinematic analysis	
Speed	
Mean velocity	[2], [3], [6], [7], [10], [11], [18], [19], [20], [22], [24], [29], [34],
Mean peak velocity (or mean of maximum velocity)	[6], [12], [13], [14], [21], [28], [30], [32], [33], [35], [36], [37], [40]
SD of velocity	[6], [19]
SD of peak velocity	[6]
Minimum velocity	[14], [40]
Mean acceleration	
Mean peak acceleration (or maximum)	
Maximum negative acceleration	
Asymetry phase duration in acceleration	
Frequency	
Fluency	
Number of peaks velocity	
Number of Inversion (Change) of Velocity (NIV or NCV or zero cross in acceleration)	[6], [9], [14], [18], [20], [21], [22], [26], [28], [30], [31], [35], [36], [38], [40]
Percent of strokes with NIV = 1	[20]
SD of NIV (or NCV)	[6]
Power Spectral Density or Score (Noise in velocity profile)	[9], [10]
Fluctuation of velocity profile (specific equation)	[5]
Number of Inversion of Acceleration (NIA)	[14], [30], [40]
ratio of Peak-over-Mean Velocity	[25]
Averaged Normalized Jerk (ANJ)	[11], [12], [16], [32], [33]
Dynamical analysis	
Mean pen pressure ([18] Specific measure)	[2], [3], [18], [19], [20], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [29], [34], [38], [39]
Variability of pen pressure	
Number of pen touches on paper ([24])	
Grip force on the pen	
Variability of grip force on the pen	[3]
Maximum Grip force	[18]
Grip height	[18]
Temporal analysis	
Stroke duration	
Movement Time	
Mean On Paper Movement Time	
SD On Paper Movement Time	
Mean In Air Movement Time (Mean p	
In Air/ On Paper Time Ratio	
Accumulated Pause Time	
Pause (stop) Duration	[39]

-La vitesse du mouvement (moyenne, variable et maximale)
 -La fluidité du mouvement (NIV, NIA, ANJ...)

-La pression de contact entre le stylo et la feuille

-Le Temps de Mouvement (TM)
 -La proportion entre TM en l'air et l'écrit
 -Les arrêts du mouvement (les vrais pauses)

Etape 1 : Quels indices choisir ?



A partir d'analyses d'écritures d'enfants dysgraphiques comparées à celles d'enfants et d'adultes normoscripteurs, les variables pertinentes seraient :

- ✓ La vitesse
 - informe sur la rapidité de l'écriture
 - informe sur la rythmicité de l'écriture

Etape 1 : Quels indices choisir ?



A partir d'analyses d'écritures d'enfants dysgraphiques comparées à celles d'enfants et d'adultes normoscripteurs, les variables pertinentes seraient :

- ✓ Les pics de vitesse anormaux (C'est quoi ?)
 - informe sur la fluidité de l'écriture

Etape 1 : Quels indices choisir ?



A partir d'analyses d'écritures d'enfants dysgraphiques comparées à celles d'enfants et d'adultes normoscripteurs, les variables pertinentes seraient :

✓ La pression

- informe sur le niveau de crispation du membre effecteur
- informe sur la durée des levers de stylo (quand la pression est nulle)

Etape 2 : Quel son associer à ces indices ?

✓ La vitesse

- Associer un son **plutôt agréable**
- Associer une *métaphore* sonore en créant un son de « *frottement* », pour évoquer de l'écriture sur une feuille métallique ou une feuille de verre...

Etape 2 : Quel son associer à ces indices ?

✓ Les pics de vitesse anormaux

- Associer un son **plutôt désagréable**
- Associer une *métaphore* sonore à ces pics, un son de « *craquement* » par-dessus le son agréable de la vitesse

Etape 2 : Quel son associer à ces indices ?



✓ La pression

- Varier le **volume du son** de la vitesse en fonction de la pression
 - Faible variation quand le stylo est en contact avec la tablette
 - Aucun son quand le scripteur lève le stylo

Etape 3 : Validation expérimentale



Expérience 1 : Evaluer « à l'oreille » la qualité d'écritures sonifiées d'enfants dysgraphiques, d'enfants normoscripteurs et d'adultes

Objectif :

A partir de l'écoute de fichiers audio d'écriture d'enfants dysgraphiques (DYS), d'enfants normoscripteurs (ENS) et d'adultes (ANS), 48 auditeurs doivent évaluer la qualité de l'écriture uniquement à partir de l'écoute du son qu'elle produit (sans la voir)

Etape 3 : Validation expérimentale



Expérience 1 : Evaluer « à l'oreille » la qualité d'écritures sonifiées d'enfants dysgraphiques, d'enfants normoscripteurs et d'adultes

Procédure :

Nous avons manipulé 2 facteurs :

- Le facteur « CATEGORIE » de scripteurs : DYS, ENS, ANS
- Le facteur « CONNAISSANCE » : IMPLICITE vs. EXPLICITE

Etape 3 : Validation expérimentale

Déroulement de l'étude :

Familiarisation

Aucune connaissance de ce qu'ils entendent

Objectif : Permettre aux auditeurs de construire une grille d'évaluation

Condition IMPLICITE

Aucune connaissance de ce que les auditeurs entendent ni des 3 groupes de scripteurs

Objectif : Reconnaître l'écriture dysgraphique sans avoir la signification de ce que l'on entend

Condition EXPLICITE

Connaissance de ce que les auditeurs entendent mais pas des 3 groupes de scripteurs

Objectif : Reconnaître l'écriture d'un enfant dysgraphique avec des critères d'évaluation

Etape 3 : Validation expérimentale



Déroulement de l'étude :

Condition EXPLICITE

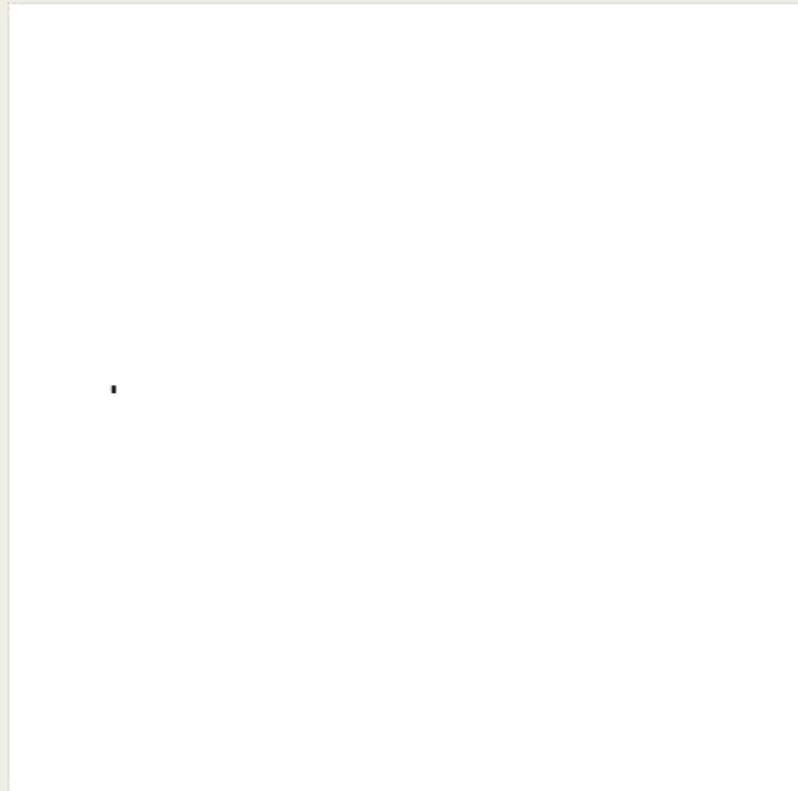
Consignes de la condition explicite :

- Les silences (absence de son) correspondent aux levers de stylo. Une écriture fluide, sans lever de stylo, est considérée comme étant de bonne qualité.
- Le son continu correspond à la vitesse d'écriture. Une écriture rapide et rythmique est considérée comme étant de bonne qualité.
- Les brefs craquements correspondent à un problème de fluidité d'écriture. Une écriture fluide, avec peu de craquements, est considérée comme étant de bonne qualité.

Connaissance de ce que les auditeurs entendent mais pas des 3 groupes de scripteurs

Objectif : Reconnaître l'écriture d'un enfant dysgraphique avec des critères d'évaluation

Etape 3 : Validation expérimentale



Etape 3 : Validation expérimentale



Lequel est dysgraphique ?



Etape 3 : Validation expérimentale



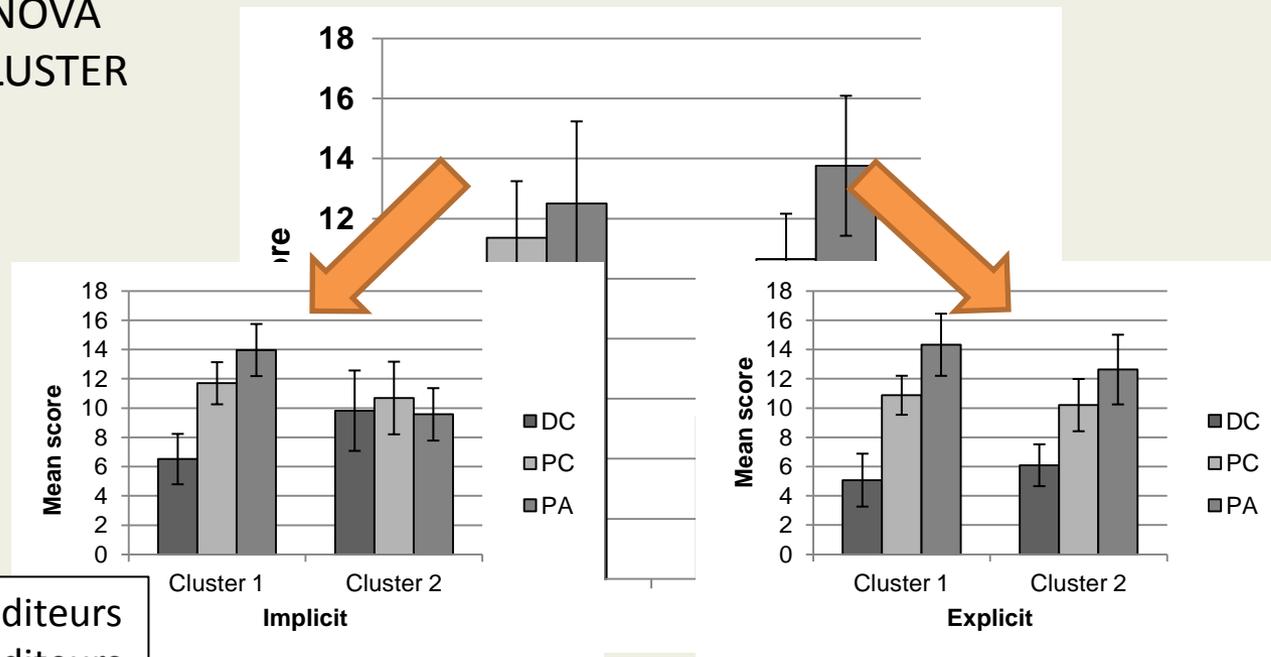
Analyse de données :

- ✓ Calcul des notes moyennes pour chaque catégorie (DYS, ENS, ANS)
- ✓ ANOVA (Connaissance × Catégorie)
- ✓ ANALYSE DE CLUSTER pour repérer des regroupements de notes selon des stratégies de notation communes

Etape 3 : Validation expérimentale

Résultats :

- ✓ ANOVA
- ✓ CLUSTER



Cluster 1 : 32 auditeurs
Cluster 2 : 16 auditeurs

Etape 3 : Validation expérimentale

Conclusion :

Même sans savoir à quoi correspondent les sons entendus, nous évaluons plus négativement l'écriture d'enfants dysgraphiques par rapport à celle d'enfants normoscripteurs et celle d'adulte

Côté diagnostic



Conclusion générale :

Ces 3 variables (sonifiées) pourraient peut-être compléter la caractérisation (et le diagnostic) de la dysgraphie

L'objectif du projet



1. Côté diagnostic => aider les thérapeutes à repérer une écriture d'enfant dysgraphique à partir d'indices sonifiés
2. Côté remédiation => aider le scripteur à corriger en temps réel son écriture grâce à un feedback sonore

Même question : Pourquoi le son ?



- Contrôle moteur du geste d'écriture :
 - ✓ Vision : agencement spatial de l'écriture
 - ✓ Proprioception : mouvement de l'écriture

- Intérêts du son :
 - ✓ Il ne perturbe pas le contrôle visuel et proprioceptif naturellement impliqué dans le contrôle moteur de l'écriture

Même question : Pourquoi le son ?



- Contrôle moteur du geste d'écriture :
 - ✓ Vision : agencement spatial de l'écriture
 - ✓ Proprioception : mouvement de l'écriture

- Intérêts du son :
 - ✓ Il ne perturbe pas le contrôle visuel et proprioceptif naturellement impliqué dans le contrôle moteur de l'écriture
 - ✓ Il peut augmenter l'attention de l'enfant sur son mouvement



Une autre approche:

un guidage proprioceptif

(Bluteau et al., 2008)

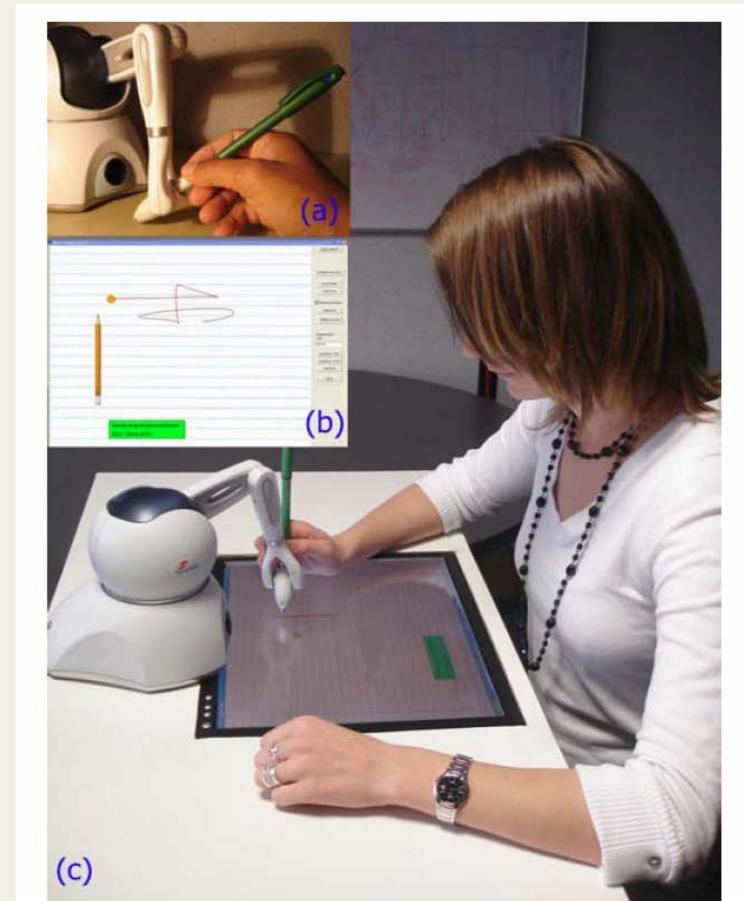


Figure 2. System overview: (a) The modified stylus pen; (b) The graphic User Interface displayed to the subject; (c) A subject undergoing training on the WYSIWYF interface.
doi:10.1371/journal.pone.0001775.g002



Une autre tentative de sonification: feedback sonore sur la pression exercée par les doigts sur le stylo

(Baur et al., 2009)



Le guidage et l'apprentissage du geste par le son



Dans le sport

Effenberg, 2011



En thérapie

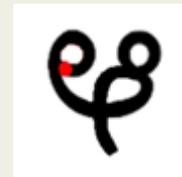
Workshop « Sound, Movement Therapy », Belfast, 2011

Expérience 2

Avec des adultes ...



- ✓ *Participants* : 32 adultes droitiers (19-32 ans)
- ✓ *Tâche* : Apprentissage de 4 nouveaux caractères issus du tamoul avec la **main non-dominante** sur tablette graphique



- ✓ *Design expérimental*: Protocole « Pré-test / Entraînement / Post-test »

Expérience 2

Pre-test

Écriture de chaque caractère

- 1 fois,
- sans son

Entraînement

Écriture de chaque caractère

- 16 fois,
- avec son pour la moitié des caractères et sans son pour l'autre moitié (contrebalancé)

Post-test T0

Écriture de chaque caractère

- 1 fois,
- sans son

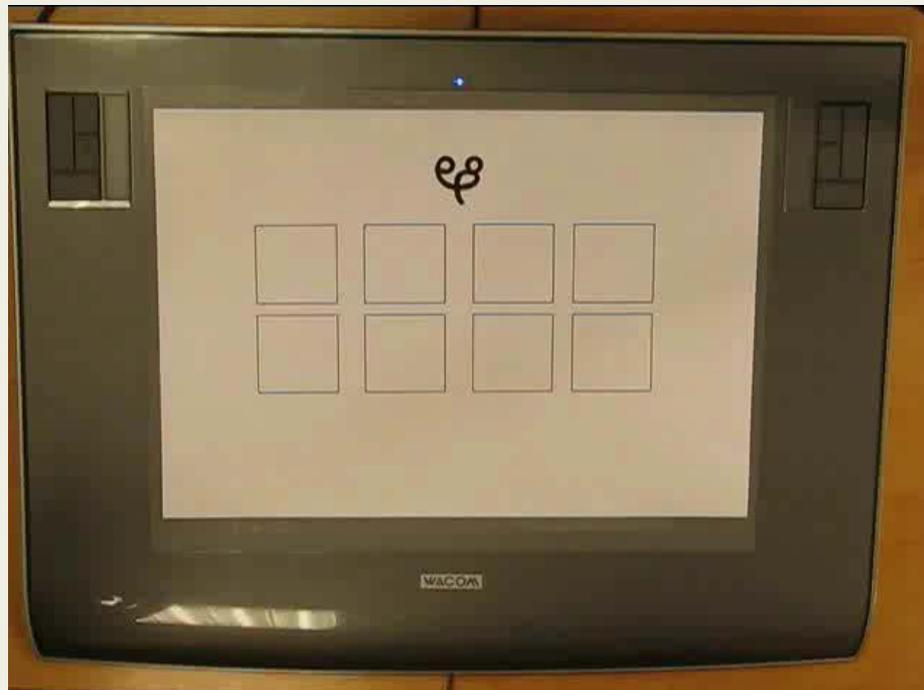
Post-test T0+24h

Écriture de chaque caractère

- 1 fois,
- sans son

✓ Méthode de sonification pendant l'entraînement

- Son de *frottement* ou de *couinement* asservi à la vitesse instantanée
- Sons *d'impact* asservis aux pics de vitesse anormaux (SNv_{pd})
- Volume du son asservi à la pression exercée par le stylo sur la feuille





✓ Analyse de données

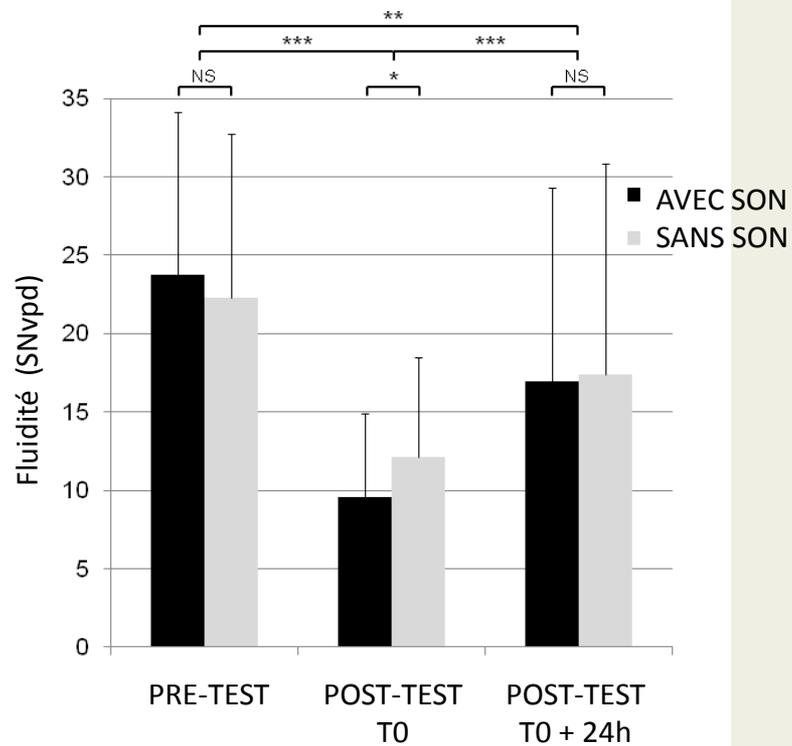
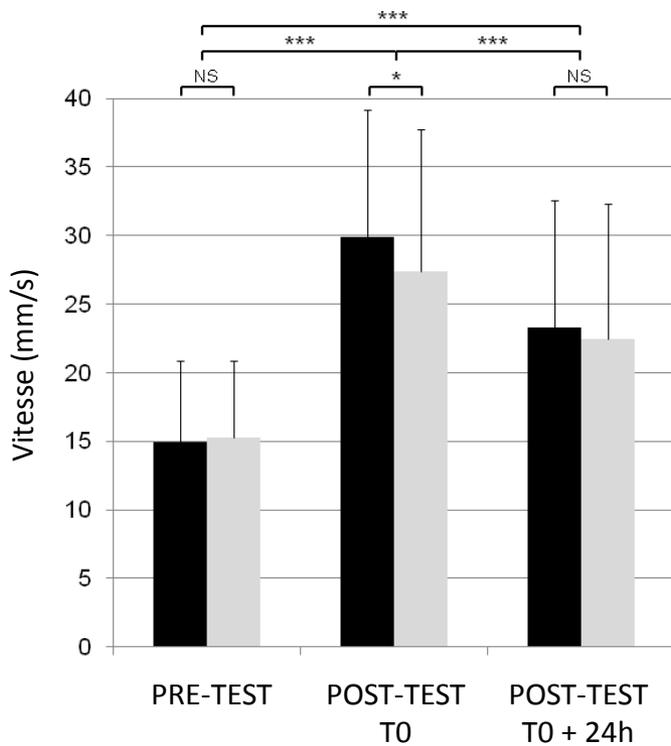
- Vitesse moyenne du mouvement
- Fluidité du mouvement (SNvpd)
- Précision spatiale des caractères tracés (DTW distance)

✓ Analyse statistique :

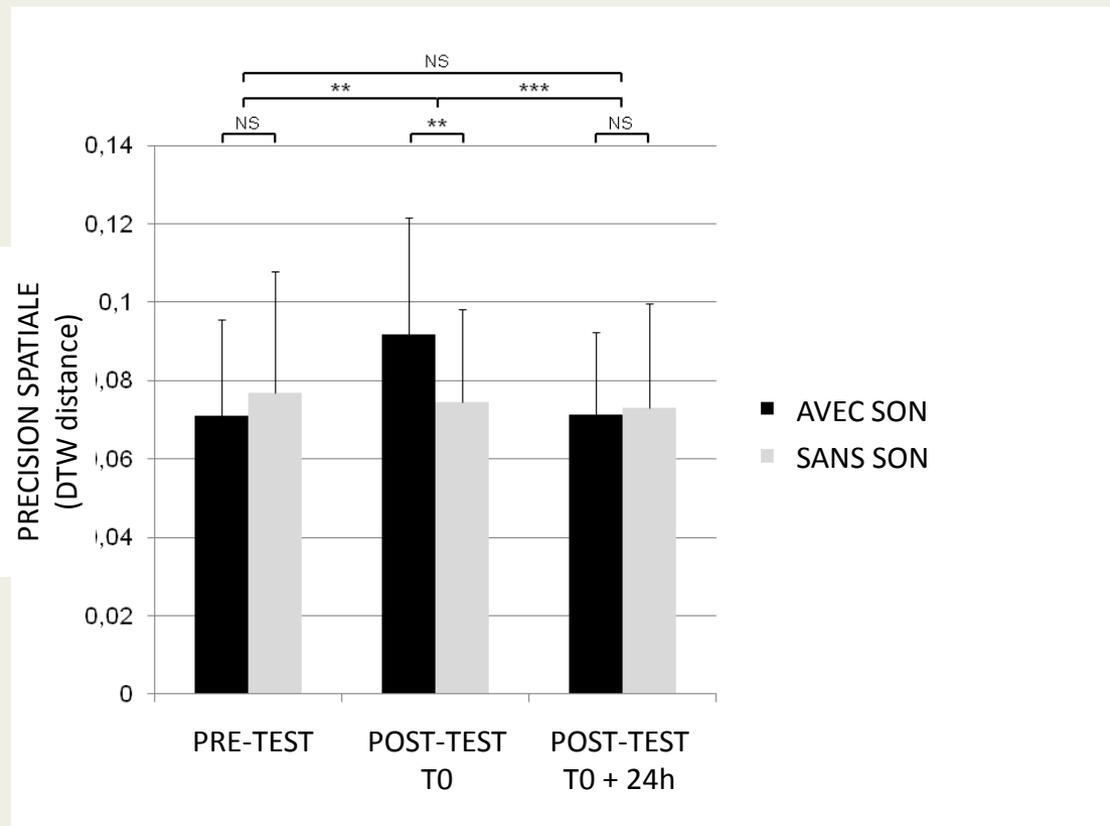
ANOVA à deux facteurs à mesures répétées :

- Effet *Apprentissage* (Pré-test / Post-test à T0 / Post-test à T0 + 24h)
- Effet *Feedback auditif* (Caractères appris avec le retour sonore vs. caractères appris sans le retour sonore)

1. Analyse du mouvement



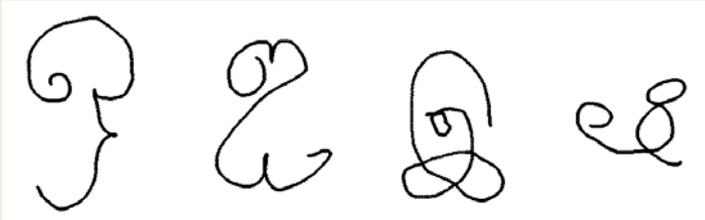
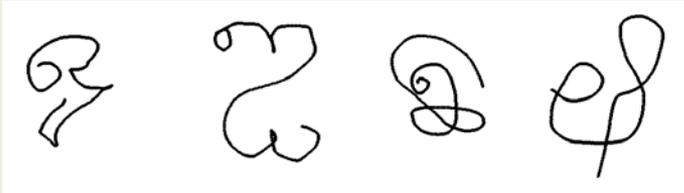
2. Analyse de la trace



Expérience 2

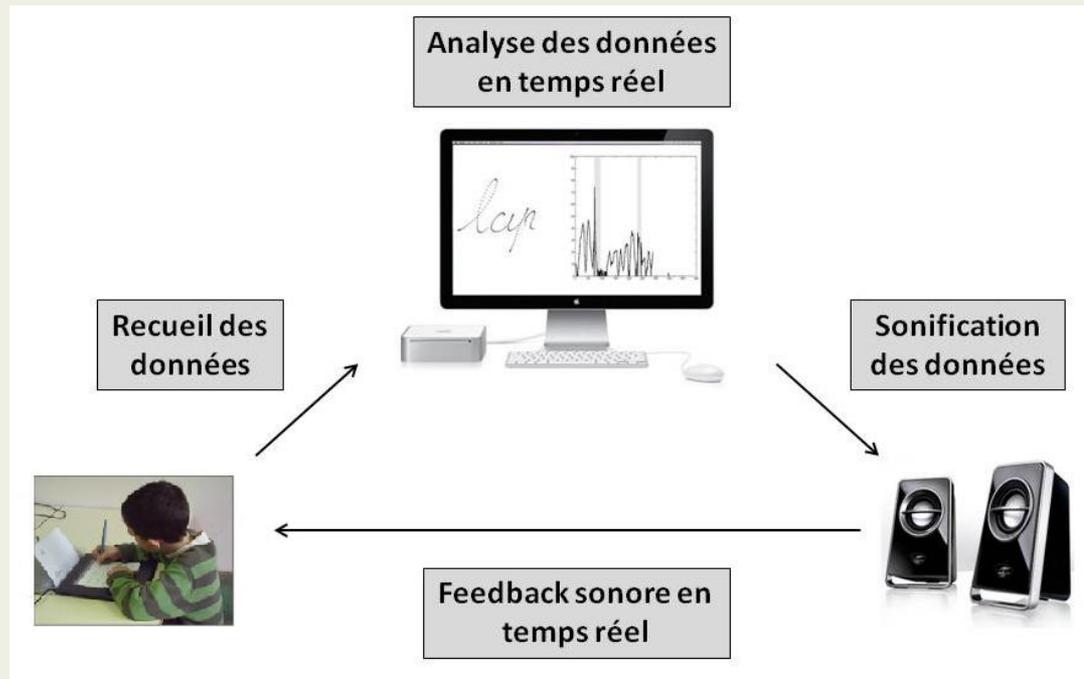
✓ L'ajout d'un FB auditif améliore à court terme le geste d'écriture au détriment de la précision spatiale de la trace écrite

✓ Cependant, cette détérioration ne semble pas altérer la lisibilité de l'écriture

<i>Formes écrites par un expert</i>	
<i>Formes apprises avec le son</i>	
<i>Formes apprises sans le son</i>	

Avec des enfants...

Objectif: Améliorer l'écriture d'enfants dysgraphiques grâce à un protocole de remédiation avec utilisation du feedback auditif en temps réel



Déroulement de l'étude :

- Etude longitudinale: 4 séances avec 7 enfants dysgraphiques
- Etude de type *pré-test/ entraînement/ post-test* à chaque séance

BHK

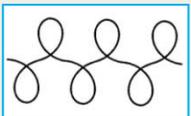
Séance 1 pré-test 1 entraînement post-test 1	Séance 2 pré-test 2, 3... entraînement post-test 2, 3...	Séance 3 pré-test 6 entraînement post-test 6	Séance 4 pré-test 6 entraînement post-test 6
--	--	--	--

BHK

Description d'une séance

Sans le son

Pré-test



(x4)

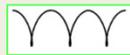
lapin

(x4)

la nuit, la lune est belle

Avec le son

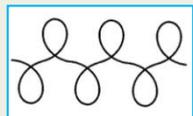
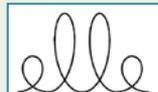
Entraînement



8



∞



(x4)

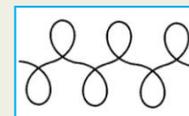
lapin

(x4)

la nuit, la lune est belle

Sans le son

Post-test



(x4)

lapin

(x4)

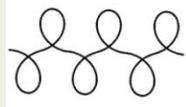
la nuit, la lune est belle



Analyse de données :

-**Macroscopique** : Comparaison des scores entre le BHK initial et le BHK final

-**Microscopique**



lapin

la nuit, la lune est belle

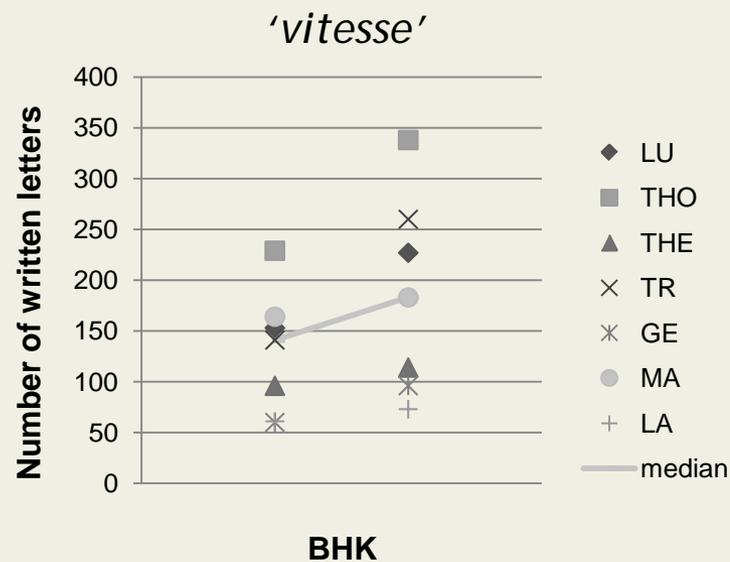
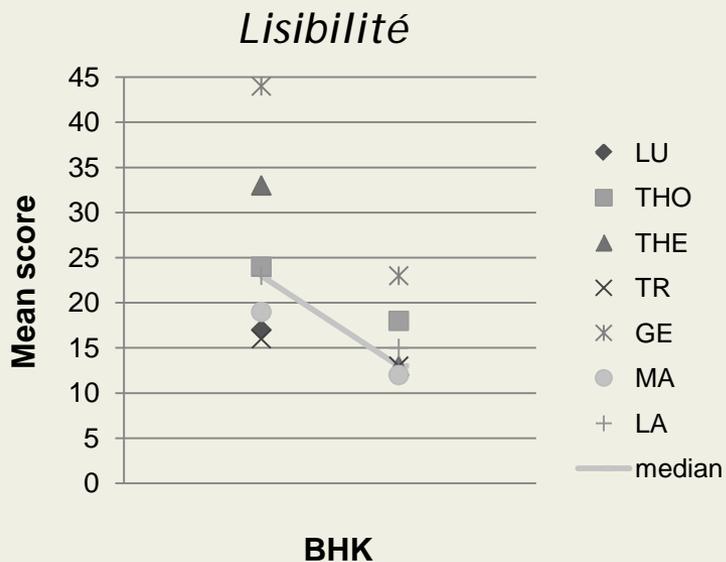
Analyse des variables cinématiques et dynamiques (vitesse, pression, nombre de levers et TM en l'air, nombre et temps d'arrêts, fluidité du geste, taille de la trajectoire, TM total)

Comparaison entre les performances effectuées en **Pré-test** vs. **Post-test** de chaque séance (Voir l'effet de l'outil à court terme)

Comparaison entre les performances effectuées **à chaque pré-test** de toutes les séances (voir l'effet à plus long terme)

Résultats

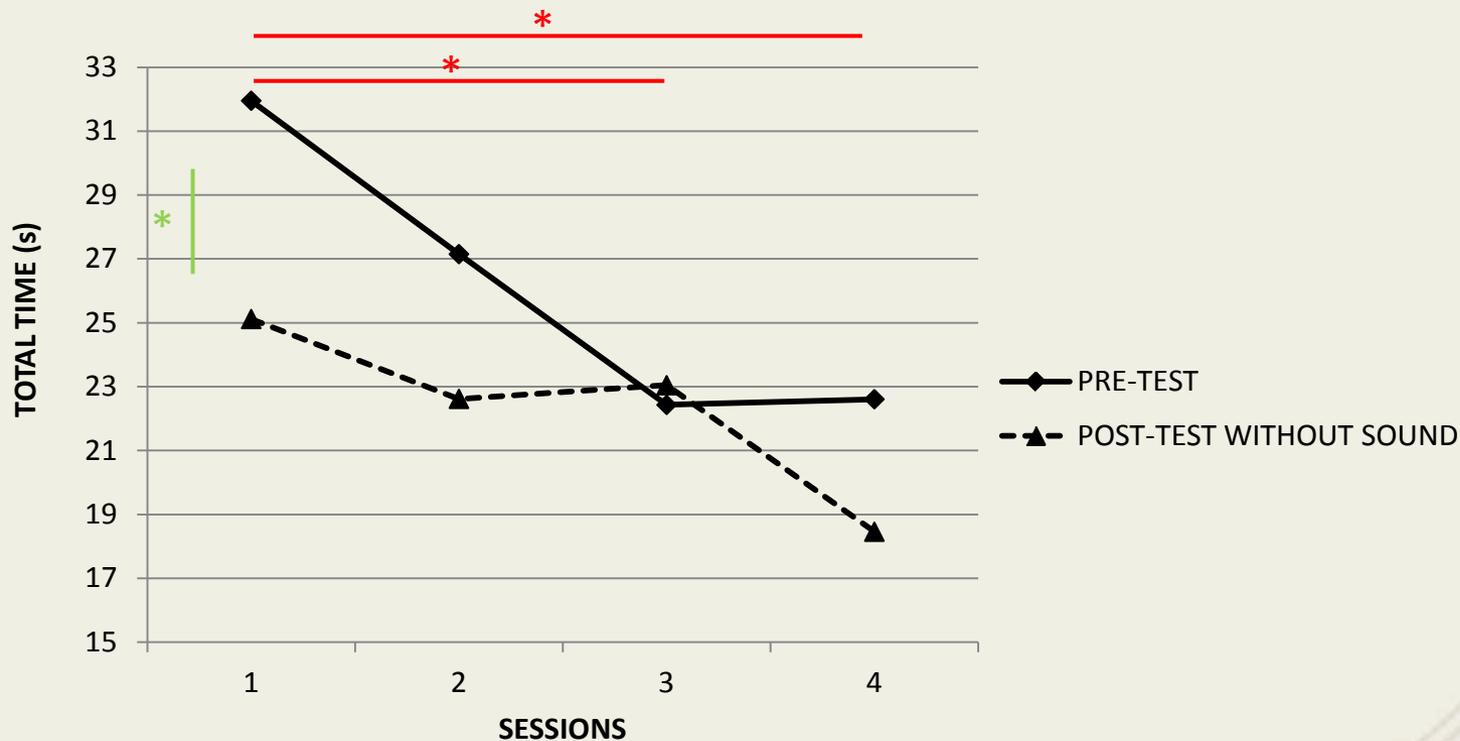
Analyse macroscopique: après 4 semaines d' apprentissage versus avant apprentissage



Résultats



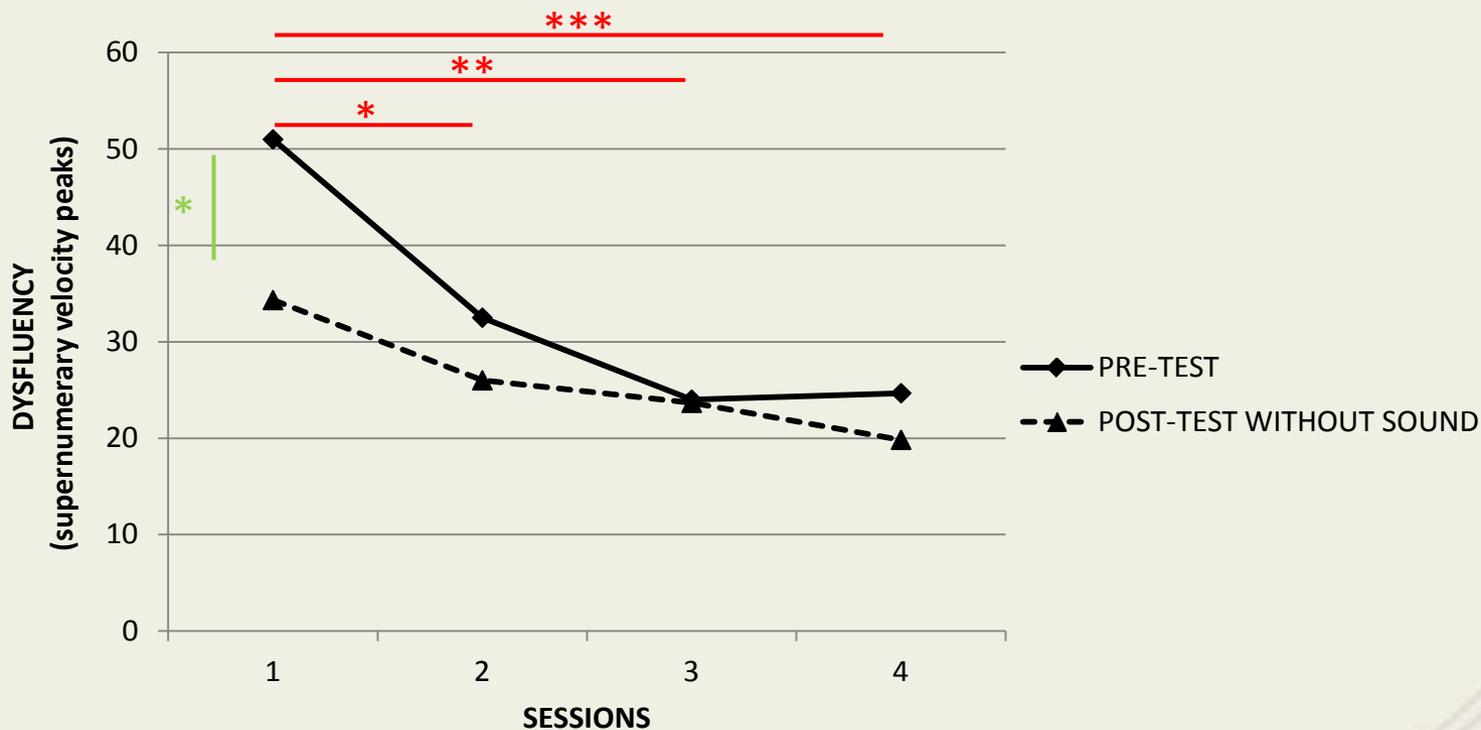
la nuit, la lune est belle



Résultats



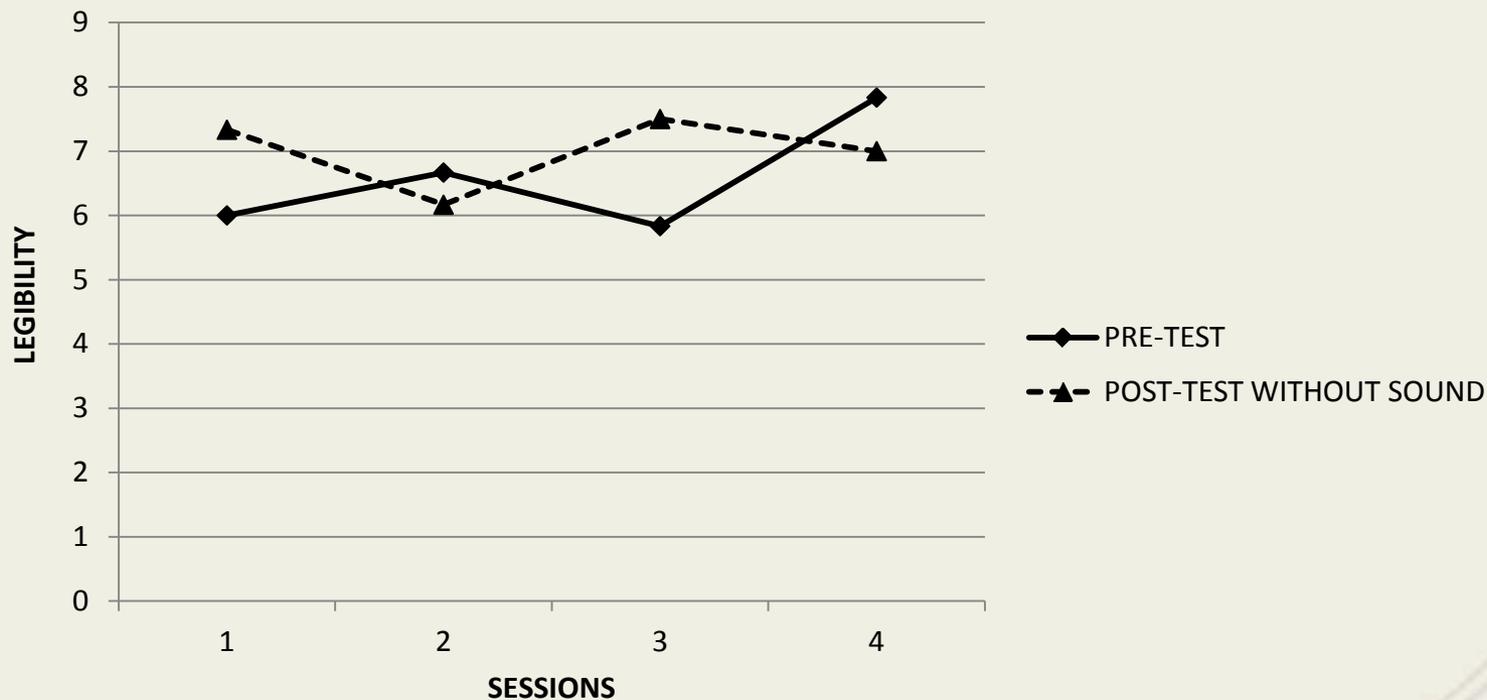
la nuit, la lune est belle



Résultats



la nuit, la lune est belle



Conclusions



Sonifier le mouvement semble aider les enfants dysgraphiques à améliorer leur mouvement graphique sans améliorer (mais sans dégrader non plus) leur lisibilité. Mais...

Il faut augmenter le nombre d'enfants

Il faut augmenter le nombre de séances

Il manque un groupe contrôle qui ne bénéficie pas du son...

Il faut changer les sons pour les rendre plus agréables!!



Experimentation en cours...



12 enfants dysgraphiques dans une seule école

6 semaines

Musique à la place des sons de frottement

2 conditions sonores différentes:

- Avec la musique associée à l'écriture (A)
- Avec la même musique 'de fond', non associée à l'écriture (B)

Chaque enfant est son propre contrôle:

- 3 séances avec la musique A
- 3 séances avec la musique B

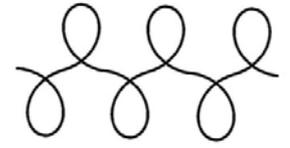
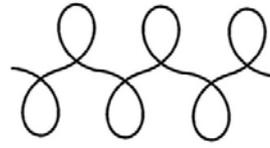
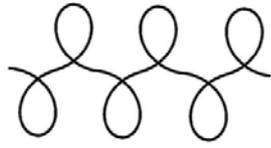
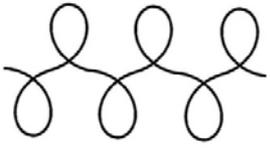
Prénom:

Séance 4

Date:

SANS SON

PRETEST

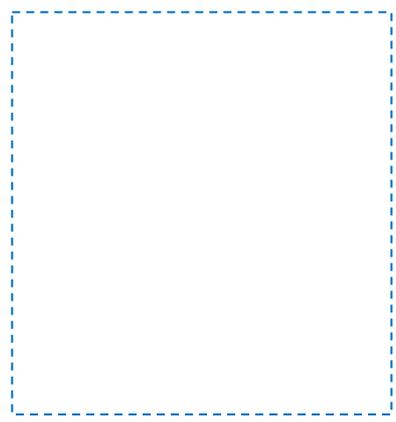
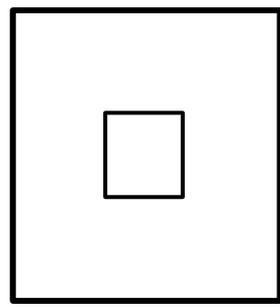
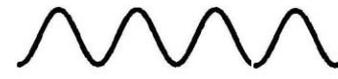
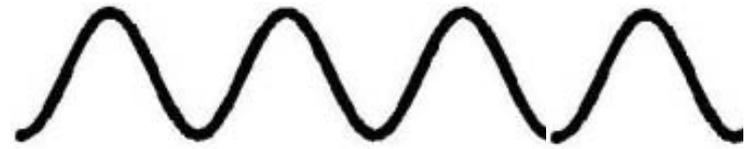


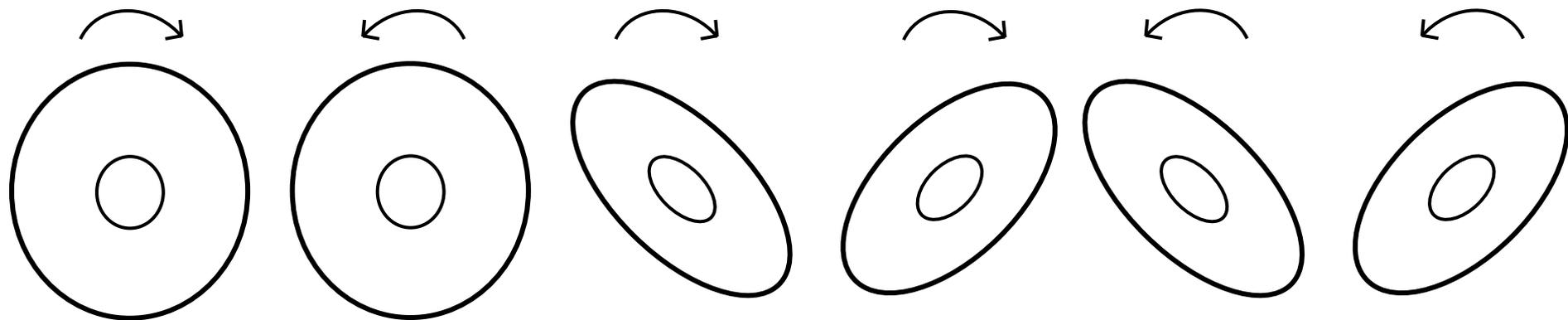
la nuit, la lune est belle

Prénom:

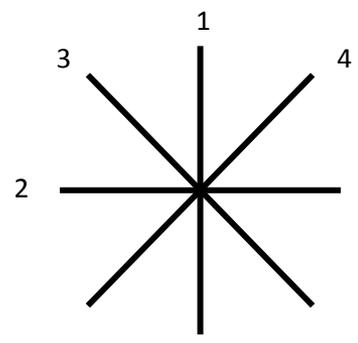
Séance 4

Date: AVEC SON Familiarisation





A row of six dashed rectangular boxes, intended for writing the names of the shapes in the diagrams above.



A dashed rectangular box, intended for writing the numbers 1, 2, 3, and 4 corresponding to the lines in the diagram to its left.

el el

el el

el el

el el

el el

el el

ll ll

ll ll

ll ll

ll ll

ll ll

ll ll

rr rr

rr rr

rr rr

rr rr

rr rr

rr rr

8

∞

8

∞

8

∞

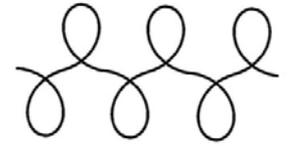
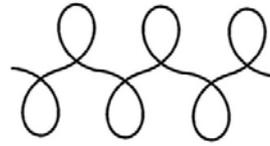
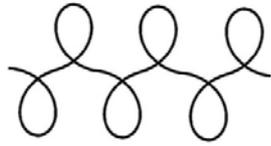
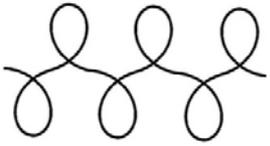
8

∞

Prénom:

Séance 4

Date: SANS SON POST-TEST



la nuit, la lune est belle

Résultats..?



Perspectives (si ça marche...)



Côté remédiation :

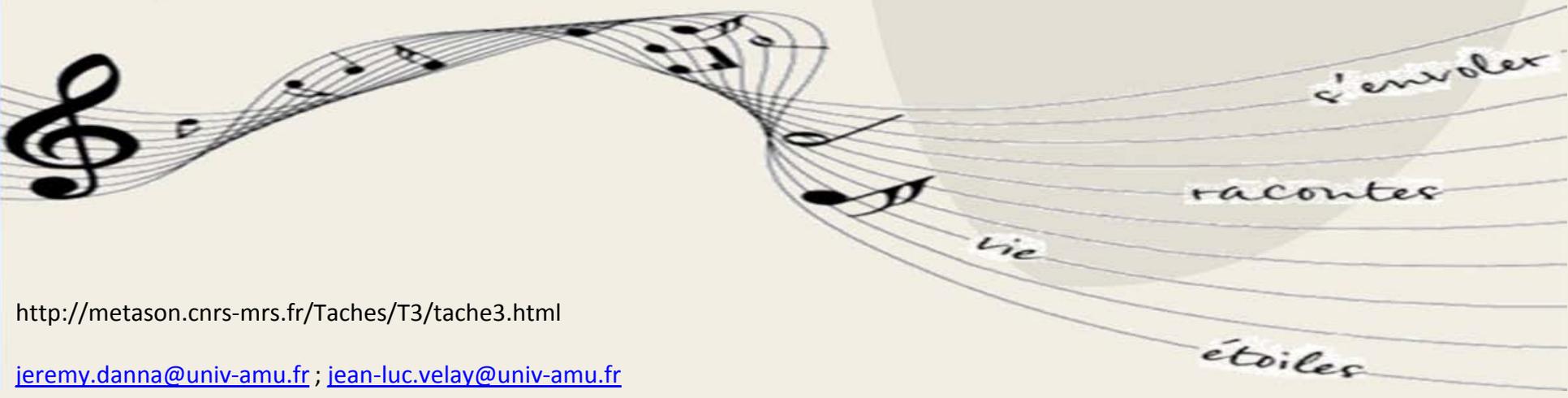
- Tester l'outil en tant qu'aide à l'apprentissage de l'écriture chez des enfants non dysgraphiques

Côté diagnostic :

- Améliorer le diagnostic précoce de la Maladie de Parkinson grâce à la sonification de l'écriture manuscrite

Merci de votre attention !

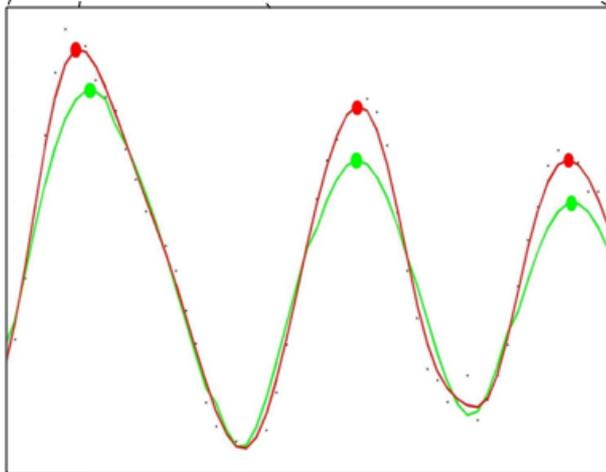
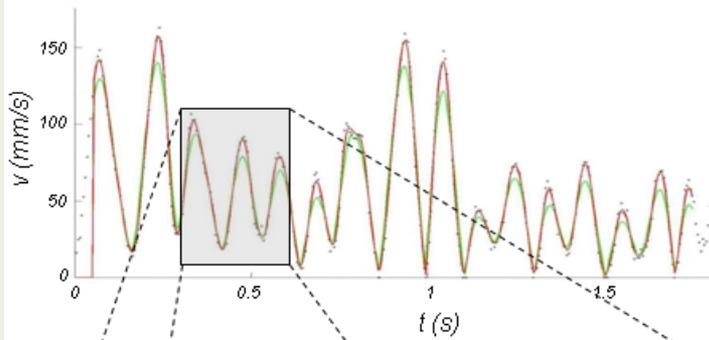
MÉTASON



<http://metason.cnrs-mrs.fr/Taches/T3/tache3.html>

jeremy.danna@univ-amu.fr ; jean-luc.velay@univ-amu.fr

lapin



lapin

