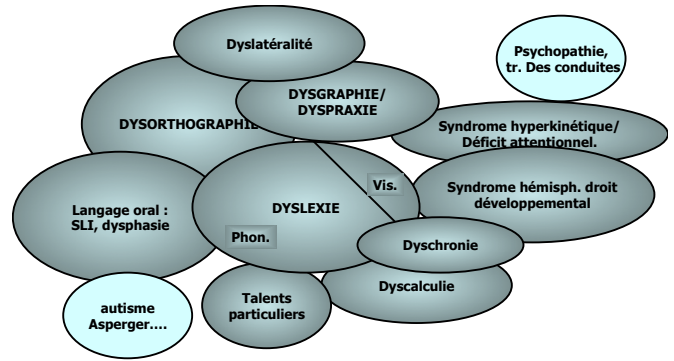


## Remédiation musicale: Une nouvelle voie dans le traitement des troubles spécifiques d'apprentissages

Michel Habib  
Centre de Référence des Troubles d'Apprentissage  
CHU Timone, Marseille



<http://www.resodys.org>



La « constellation dys » : un complexe symptomatique suggérant des mécanismes communs

## (ex) DSM-IV : troubles d'apprentissage

- Critères diagnostiques du F81.0 [315.001 Trouble de la lecture]**
- A. Les réalisations en lecture, soit mesurées par des tests standardisés, soit estimées par l'observation, sont nettement inférieures à celles attendues compte tenu de l'âge chronologique (mesuré par des tests).
- B. La perturbation décrite interfère de façon significative avec la réussite scolaire ou les activités de la vie courante qui requièrent l'élaboration de textes écrits (p. ex., écriture avec des phrases grammaticalement correctes, ou paragraphes bien construits).
- C. S'il existe un déficit sensoriel, celui-ci ne peut expliquer les difficultés de lecture.
- Critères diagnostiques du F81.1 [315.1 Trouble du calcul]**
- A. Les aptitudes et performances en calcul sont nettement inférieures à celles attendues compte tenu de l'âge chronologique (mesuré par des tests).
- B. La perturbation décrite interfère de façon significative avec la réussite scolaire ou les activités de la vie courante qui requièrent l'élaboration de textes écrits (p. ex., écriture avec des phrases grammaticalement correctes, ou paragraphes bien construits).
- C. S'il existe un déficit sensoriel, celui-ci ne peut expliquer les difficultés de calcul.
- Critères diagnostiques du F81.2 [315.2 Trouble de l'expression écrite]**
- A. Les capacités d'expression écrite, évaluées par des tests standardisés ou par l'observation, sont nettement inférieures à celles attendues compte tenu de l'âge chronologique du sujet, de son niveau intellectuel (mesuré par des tests) et d'un enseignement approprié à son âge.
- B. La perturbation décrite interfère de façon significative avec la réussite scolaire ou les activités de la vie courante qui requièrent l'élaboration de textes écrits (p. ex., écriture avec des phrases grammaticalement correctes, ou paragraphes bien construits).
- C. S'il existe un déficit sensoriel, celui-ci ne peut expliquer les difficultés d'expression écrite dépassant celles habituellement associées à celui-ci.
- Note de codage : S'il existe un déficit sensoriel, coder ceux-ci sur l'axe III.

## DSM-5 : troubles spécifiques d'apprentissage

- A. Difficulté à apprendre et à utiliser les aptitudes académiques, comme indiqué par la présence depuis au moins 6 mois d'au moins un des symptômes suivants:
- 1- lecture de mots inexacte, lente ou laborieuse
  - 2- difficulté à comprendre la signification de ce qui est lu (même si lu correctement)
  - 3- difficultés d'orthographe (spelling)
  - 4- difficultés dans l'expression écrite (p.e. erreurs de ponctuation ou grammaticales, manque de clarté de l'expression des idées)
  - 5- difficulté à maîtriser le sens des nombres, les faits numériques, ou le calcul
  - 6- difficulté dans le raisonnement mathématique
- B. Significativement en-dessous de ceux attendus pour l'âge et interfère significativement avec les performances académiques ou les occupations
- C. Commence durant les années d'école mais peut n'être manifeste que dès lors que les demandes excèdent les capacités limitées de l'individu
- D. Pas mieux expliquées par déficience intellectuelle, acuité auditive ou visuelle non corrigée, autres troubles neurologiques ou mentaux.

## Trois profils de troubles spécifiques d'apprentissage

- **Le syndrome phonologique** : le plus fréquent, le plus classique, repose sur l'hypothèse du déficit phonologique exclusif
- **Le syndrome visuo-attentionnel**: généralement considéré comme un déficit des processus d'ajustement de la fenêtre attentionnelle (S. Valdois)
- **Le syndrome dyspraxique** : moins connu, peut être associé aux précédents, mais aussi survenir seul

Peuvent s'associer entre eux!

## Le syndrome phonologique

- Dyslexie (incapacité à entrer dans la conversion grapho-phonémique)
- antécédent de difficultés de langage oral, SLI, dysphasie ou simple retard de langage, dyscalculie facultative
- Difficultés en lecture = déficit principal dans le décodage, erreurs de conversion grapho-phonémique, trouble de la conscience phonologique, trouble de la mémoire immédiate auditive-verbale, trouble de la dénomination rapide
- Plus tard : difficultés d'ordre lexical et pragmatique
- WISC-IV : ICV < IRP

## Le syndrome visuo-attentionnel

- La dyslexie : idem (incapacité à entrer dans la conversion)
- décodage exact mais lent ou paralexies dérivationnelles/sémantiques, substitution des "petits mots" (mots fonction), 2 types :
  - pas d'antécédents de trouble langage oral, conscience phonologique normale, trouble attentionnel aux tests, trouble de la mémoire de travail.
  - dyslexie "mixte", initialement phonologique évoluant ensuite vers un profil visuo-attentionnel (disproportion entre importance du déficit phonologique et intensité de la dyslexie)
- WISC-IV : altération IMT et IVT
- Fréquente comorbidité avec troubles comportementaux extériorisés : hyperactivité, trouble des conduites (conséquences à l'adolescence)

	Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
1. Il (Elle) se souvient difficilement des jours / m ois / années que nous sommes.					
2. Il (Elle) confond les moments de la journée matin / après-midi / soirée.					
3. Un événement qui est survenu le matin, il (elle) peut le placer la veille.					
4. Pour un événement qui est survenu il y a quelques jours, il (elle) peut dire : "il y a très longtemps".					
5. Il lui est difficile de comprendre les relations existantes entre les membres de la famille : grands-parents, tantes, oncles, beaux-frères.					
6. Il (Elle) a du mal à comprendre les notions de hier, demain ou après-demain.					
7. Il (Elle) a des difficultés à lier l'heure sur un cadran.					
8. Il (Elle) se trompe lorsque il (elle) doit évaluer la durée d'un film, la durée d'une activité, voire même la durée d'une nuit de sommeil.					
9. Vous avez besoin de lui donner des indices pour qu'il (elle) se repère dans une semaine (lundi : école ; mercredi : activités extra-scolaires ; dimanche : repos...).					

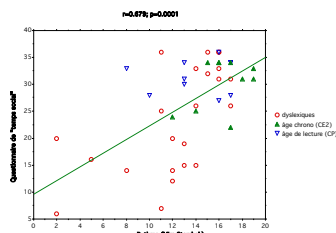
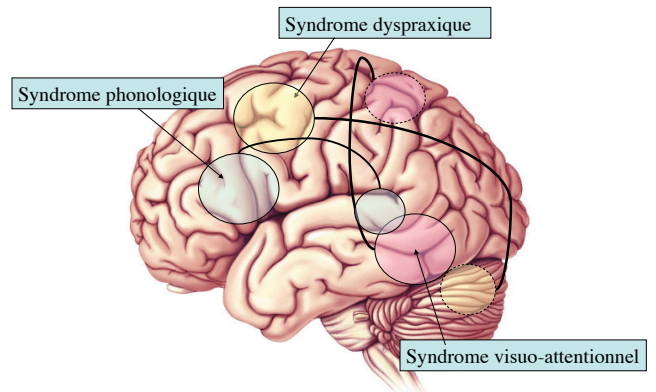


Figure 3 : corrélation chez 23 enfants dyslexiques et 20 témoins (appariés en âge de lecture : CP ou selon l'âge chronologique : CE2) entre la performance à un test d'imitation de rythmes et les résultats d'un questionnaire de « temps social » (Daffaure et al., 2002).

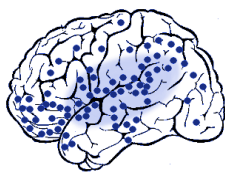
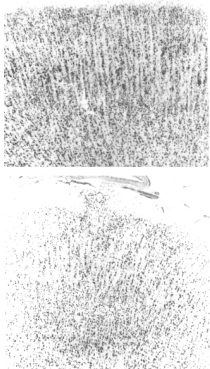
Corrélation entre reproduction de rythmes et questionnaire de « temps social » (V. Daffaure, 2000)

## Le syndrome dyspraxique

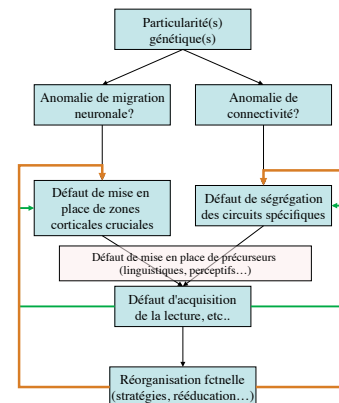
- Dyslexie en général plus modérée, volontiers erreurs visuelles
- retard des acquisitions motrices par rapport au langage, difficultés relatives dans les tâches de précision;
- dysgraphie, instabilité oculo-motrice, éventuellement trouble spatial, éventuellement dyscalculie spatiale,
- Dyschronie massive : appréciation d'une durée, placer un événement dans le temps
- éventuellement précocité intellectuelle,
- WISC-IV : IRP<ICV
- IVT↓↓



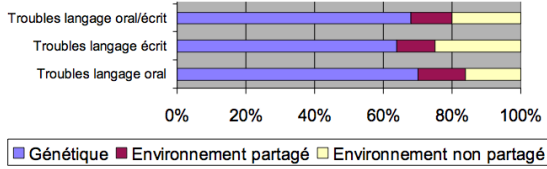
Substrat hypothétique des 3 principaux syndromes



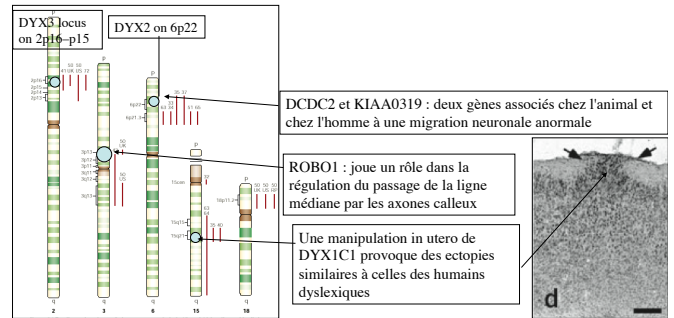
Ectopies sur le cerveau dyslexique (Galaburda et al., 1979, 1985)



## Héritabilité des troubles du langage oral et écrit (Stromswold, 2001)



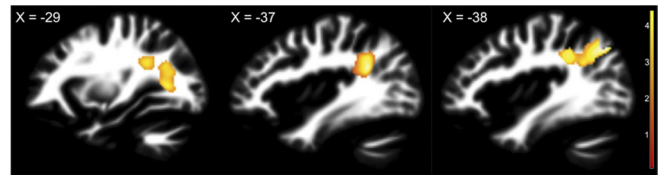
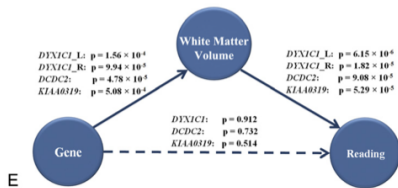
## Plusieurs gènes identifiés par les analyses de liaisons ont également un rôle connu dans le développement du cerveau



## Three Dyslexia Susceptibility Genes, *DYX1C1*, *DCDC2*, and *KIAA0319*, Affect Temporo-Parietal White Matter Structure

Fahimeh Darki, Myriam Peyrard-Janvidi, Hans Matsson, Juha Kere, and Torkel Klingberg

**Background:** Volume and integrity of white matter correlate with reading ability, but the underlying factors contributing to this variability are unknown.  
**Methods:** We investigated single nucleotide polymorphisms in three genes previously associated with dyslexia and implicated in neuronal migration (*DYX1C1*, *DCDC2*, *KIAA0319*) and white matter volume in a cohort of 76 children and young adults from the general population.  
**Results:** We found that all three genes contained polymorphisms that were significantly associated with white matter volume in the left temporo-parietal region and that white matter volume influenced reading ability.  
**Conclusions:** The identified region contained white matter pathways connecting the middle temporal gyrus with the inferior parietal lobe. The finding links previous neuroimaging and genetic results and proposes a mechanism underlying variability in reading ability in both normal and impaired readers.



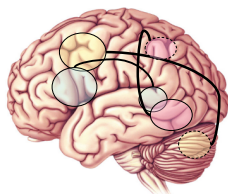
DYX1C1

DCDC2

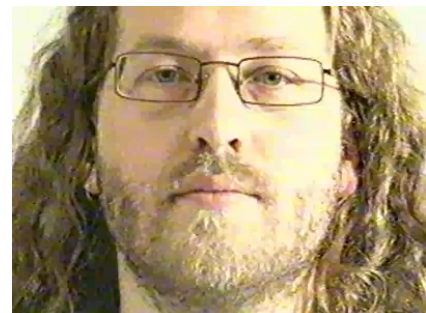
KIAA0319

3 gènes impliqués dans la migration neuronale et liés à l'efficacité en lecture

**Results:** We found that all three genes contained polymorphisms that were significantly associated with white matter volume in the left temporo-parietal region and that white matter volume influenced reading ability.



Une hypothèse unifiée: le déficit de traitement intermodal



McGurk effect : an auditory /ba/ presented with a visual /ga/ is typically "heard" as /da/ (the reverse, i.e., auditory /ga/ and visual /ba/, tends to yield /bga/).

## Effet McGurk chez des adultes dyslexiques et normo-lecteurs

- 9 adultes gardant des séquelles de dyslexie (4 M, 5 F; Age moyen : 38, range: 34-52) et 10 adultes normo-lecteurs (5 M, 5 F; Age moyen 30, range: 20-40)
- 81 présentations séparées par intervalles de 10 sec.
- 3 stimuli auditifs (/aba/, /ada/, ou /aga/) associés à des séquences vidéo, sous 2 conditions : congruente vs incongruente.
- Validation préalable du matériel : /aba/-/aga/, --> /ada/; /ada/-/aba/, --> /abda/; /aga/-/aba/, --> /abga/ (Cathiard et al., 2001).

K. Giraud, M. Habib, C. Liégeois-Chauvel, in press

## Effet McGurk chez des adultes dyslexiques et normo-lecteurs

COHERENT AUDIO-VISUAL : ABA									
	ABA	ABA	ABA	ABA	ABA	ABA	ABA	ABA	ABA
Non-dyslexic	83	1	0	3	0	2	0	0	0
Dyslexic	100	0	0	0	0	0	0	0	0

COHERENT AUDIO-VISUAL : ADA									
	ABA	ABA	ABA	ABA	ABA	ABA	ABA	ABA	ABA
Non-dyslexic	0	80	0	9	0	0	1	0	10
Dyslexic	0	77	0	20	0	0	1	0	2

COHERENT AUDIO-VISUAL : AGA									
	ABA	ABA	ABA	ABA	ABA	ABA	ABA	ABA	ABA
Non-dyslexic	0	0	84	0	0	0	0	0	0
Dyslexic	0	1	91	0	4	0	4	0	0

Les trois conditions cohérentes

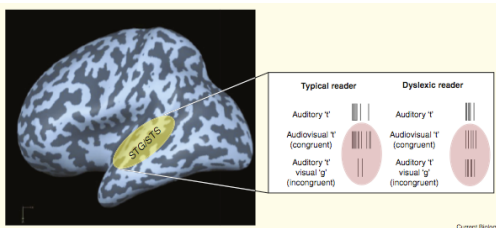
## Effet McGurk chez des adultes dyslexiques et normo-lecteurs

Audio ADA / Visual ABA					
	AUDIO	VISUAL	FUSION	COMB*	OTHER
Non-dyslexics	17 (19.1)	0	0	83 (19.1)	0
Dyslexics	38 (41.5)	0	0	57 (38.2)	6 (8.4)

Audio AGA / Visual ABA					
	AUDIO	VISUAL	FUSION	COMB	OTHER
Non-dyslexics	14 (21.0)	0	0	84 (23.0)	1 (3.5)
Dyslexics	31 (35.5)	0	0	65 (34.3)	4 (8.3)

Audio ABA / Visual AGA					
	AUDIO	VISUAL	FUSION	COMB	OTHER
Non-dyslexics	44 (46.3)	3 (7.5)	50 (43.0)	0	2 (4.7)
Dyslexics	67 (34.6)	3 (5.1)	25 (31.3)	3 (5.1)	3 (5.1)

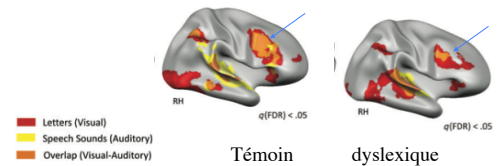
- Conditions incongruentes : moins de combinaisons ou de fusions chez les dyslexiques <-- déficit d'intégration intermodale
- préférence générale pour stimuli auditifs



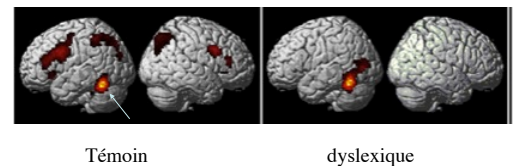
lorsque le stimulus est congruent (le sujet entend 't' et voit la lettre T), la décharge neuronale est moins bien organisée que chez le témoin; en outre, celle-ci est beaucoup plus importante qu'elle ne devrait l'être pour un stimulus incongruent (le sujet entend 't' et voit la lettre G).

--> pb d'intégration intermodale

Blau et al., Brain, 2010

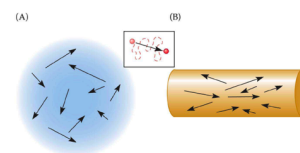


Van den Mark, Neuroimage, 2011

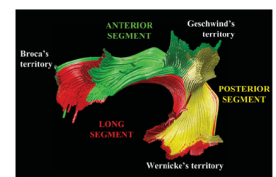


Étude de connectivité en fMRI (18 dyslexiques, ~9.3 ans lecture de pseudo-homophones "mézon", "sourri")

5.18 Isotropic and anisotropic diffusion.



Diffusion tensor imaging (D.T.I.)



A tractography study in dyslexia: neuroanatomic correlates of orthographic, phonological and speech processing

Michael McCloskey<sup>1,2,3</sup>, Bart Boels<sup>1,2,3</sup>, Hanne Poskotte<sup>1,2</sup>, Stefan Lorenz<sup>1,2</sup>, Jan-Willem R. P. Oosterlaan<sup>1,2,3</sup>

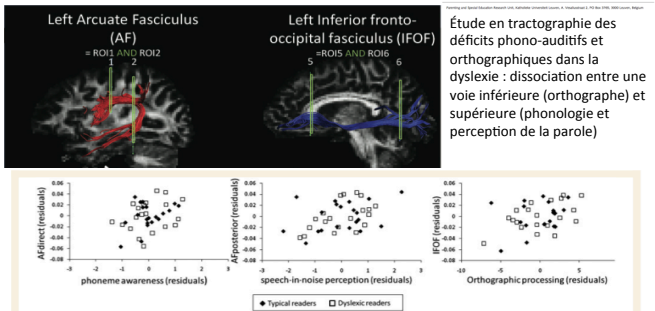


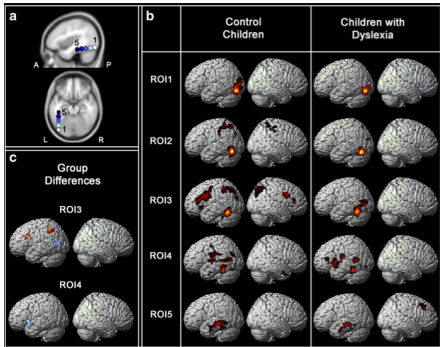
Figure 2 Correlations between (residual) fractional anisotropy values and (residual) reading-related behavioural measures after controlling for group, IQ and quality index of DTI acquisition. AFdirect = arcuate fasciculus-direct; AFposterior = arcuate fasciculus-posterior; IFOF = inferior fronto-occipital fasciculus.

MRI was used to assess connectivity of the VWF-System in 18 children with dyslexia and 24 age-matched controls (age 9.7-12.5 years) using five neighboring left occipitotemporal regions of interest (ROIs) during a continuous reading task requiring phonological and orthographic processing.

First, the results revealed a focal origin of connectivity from the VWF-system, in that mainly the VWFA was functionally connected with typical left frontal and parietal language areas in control children. Adjacent posterior and anterior VWF-System ROIs did not show such connectivity, confirming the special role that the VWFA plays in word processing. Second, we detected a significant disruption of functional connectivity between the VWFA and left inferior frontal and left inferior parietal language areas in the children with dyslexia.

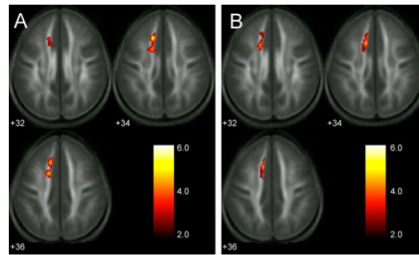
The left occipitotemporal system in reading: Disruption of focal fMRI connectivity to left inferior frontal and inferior parietal language areas in children with dyslexia

Samy van der Meer<sup>1,2</sup>, Peter Klaver<sup>1,2,3</sup>, Dennis Bucher<sup>1</sup>, Urs Martin<sup>1,2</sup>, Enrico Schulz<sup>1,2</sup>, Silvia Brem<sup>1,2</sup>, Ernst Koenig<sup>1,2</sup>, Christof Fiebert<sup>1,2,3</sup>



Altering Cortical Connectivity: Remediation-Induced Changes in the White Matter of Poor Readers

Timothy A. Keller<sup>1,2</sup> and Marcel Adam Just<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Center for Cognitive Brain Imaging, Department of Psychology, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213, USA  
<sup>2</sup>Communication Sciences Institute



La zone impliquée est la partie médiane du faisceau longitudinal supérieur, qui unit les régions pariétale (lobule paracentral) et préfrontale. Cette même région est restituée dans son intégrité après remédiation.

Mapping symbols to sounds: electrophysiological correlates of the impaired reading process in dyslexia

Andreas Widmann<sup>1</sup>, Erich Schröger<sup>1</sup>, Mari Tervaniemi<sup>1,2</sup>, Satu Pakarinen<sup>1</sup> and Teija Kujala<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Psychology, University of Leoben, Leoben, Germany  
<sup>2</sup>Cognitive Brain Research Unit, Cognitive Science Institute of Aalto University, University of Helsinki, Helsinki, Finland  
<sup>3</sup>Center of Excellence in Interdisciplinary Music Research, University of Jyväskylä, Jyväskylä, Finland  
<sup>4</sup>Center Learning, University of Helsinki, Helsinki, Finland

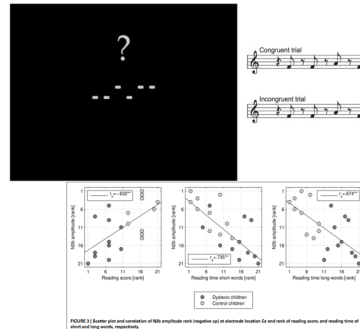
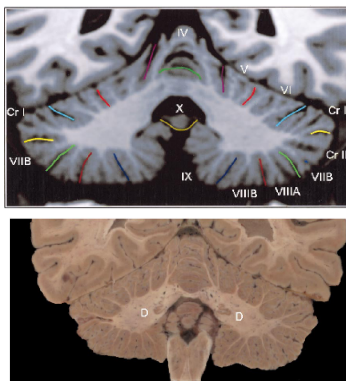
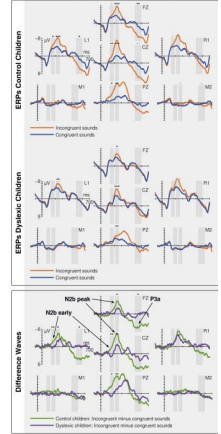


FIGURE 1 | Symbol-to-sound matching task. Congruent and incongruent trials. N2b and N2b-early components of the ERP waveforms.



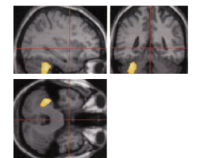
Le cervelet : un organe aux fonctions multiples et émergentes

- motricité, coordination, posture
- Modulateur des apprentissages procéduraux et des automatismes (sensorimoteurs et cognitifs)
- Pace-maker des structures sus-jacentes?

Developmental dyslexia: the cerebellar deficit hypothesis

Roderick I. Nicolson, Angela J. Fawcett and Paul Dean

Surprisingly, the problems faced by many dyslexic children are by no means confined to reading and spelling. There appears to be a general impairment in the ability to perform skills automatically, an ability thought to be dependent upon the cerebellum. Specific behavioural and neuroimaging tests reviewed here indicate that dyslexia is indeed associated with cerebellar impairment in about 80% of cases. We propose that disorders of cerebellar development can in fact cause the impairments in reading and writing characteristic of dyslexia, a view consistent with the recently appreciated role of the cerebellum in language-related skills. This proposal has implications for early remedial treatment.



Nicolson et al., 1999

Nicolson et al., T.I.N.S., 2001

**Timing precision and rhythm in developmental dyslexia:**

PETER H. WOLFF  
Children's Hospital and Harvard Medical School, Boston MA 02115, USA

dyslexic students anticipated the signal of an isochronic pacing metronome by intervals that were two or three times as long as those of age matched normal readers or normal adults. These group differences were significant when participants tapped with the preferred index finger alone or with both fingers in unison. Dyslexic students also took significantly longer than normal readers did to recalibrate their tapping responses when the metronome rate was experimentally changed in the middle of a trial. In addition, dyslexic students, by contrast to normal readers, had inordinate difficulty reproducing simple motor rhythms by finger tapping, and similar difficulty reproducing the appropriate speech rhythm of linguistically neutral nonsense syllables. These difficulties were exaggerated when participants had to synchronize their performance to an external pacing metronome.

Table 2. (A) Anticipation of isochronic intervals (finger tapping) and (B) Recalibration of anticipation mode (mean tracking responses before switch)

Outcome measure	Dyslexic students Mean (SD)	Normal readers Mean (SD)
<b>A. Absolute difference (ms) tap onset and metronome signal</b>		
Stable rate - 2Hz		
Right finger	130 (53)	41 (10)**
Both finger	86 (41)	28 (14)**
<b>B. Rate change: 1.5 to 2 Hz to 2.5 Hz</b>		
Right finger	6.1 (1.1)	1.3 (14)**

\*\*p < 0.01 Mann-Whitney U-Test.

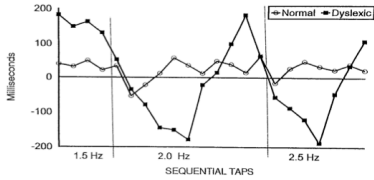


Figure 1. Mean intervals between tapping onset and metronome signal, before and after changes in metronome rate (dotted vertical lines). Points above the 0 line represent anticipations; those below the line represent tracking responses.

**Rhythmic processing in children with developmental dyslexia: Auditory and motor rhythms link to reading and spelling**

Jennifer M. Thomson<sup>1</sup>, Usha Goswami<sup>1\*</sup>

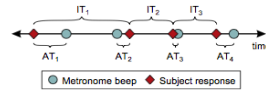


Fig. 1 - Schematic depiction of ITI and AT calculation.

CORTEX 45 (2009) 119-130

Special issue: Research report

**Rhythmic motor entrainment in children with speech and language impairments: Tapping to the beat**

Kathleen H. Corriveau<sup>1,2</sup> and Usha Goswami<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Centre for Neuroscience in Education, University of Cambridge, Cambridge CB2 3RQ, UK  
<sup>2</sup>Harvard University Graduate School of Education, Cambridge, MA, USA

We measure rhythmic finger tapping (paced by a metronome beat versus unpaced) and motor dexterity, phonological and auditory processing in 10-year old children, some of whom had a diagnosis of developmental dyslexia. We report links between paced motor tapping, auditory rhythmic processing and written language development. Motor dexterity does not explain these relationships. In regression analyses, paced finger tapping explained unique variance in reading and spelling.

Children with SLI were indeed found to be impaired in a range of measures of paced rhythmic tapping, but were not equally impaired in tapping in an unpaced control condition requiring an internally-generated rhythm. The severity of impairment in paced tapping was linked to language and literacy outcomes.

Research report

**Music, rhythm, rise time perception and developmental dyslexia: Perception of musical meter predicts reading and phonology**

Martina Huss, John P. Verney, Tim Fosker, Natasha Mead and Usha Goswami<sup>1\*</sup>



- Performances aux épreuves métriques corrélées aux tests phonologiques et de lecture
- Dyslexiques < contrôles sur toutes les épreuves métriques

**En résumé, mécanismes des troubles**

- Il existe des arguments convergents et croissants en faveur d'un trouble spécifique du transcodage intermodalitaire dans la dyslexie
  - La nature même de la conversion grapho-phonémique
  - Le défaut d'intégration de stimuli de nature visuelle et auditive
  - L'anomalie singulière d'organisation des fibres de substance blanche unissant des régions cérébrales distantes
  - Le défaut de coactivation de ces régions corticales
  - L'efficacité d'entraînements intermodalitaires
  - Les preuves croissantes de défaut de mécanismes associant perception auditive et réponse motrice, spécialement dans le contexte d'activité rythmique
- Cela pourrait être le mécanisme universel à l'origine de divers troubles au-delà du langage oral et écrit : dyscalculie, autisme...

Traitement analogique (IPS) :

- appréciation des magnitudes
- comparaisons de quantités
- soustraction

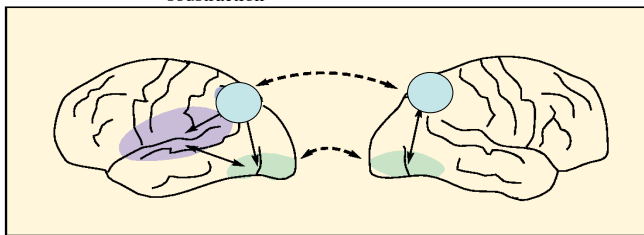
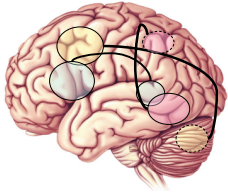


Figure 3 - Implémentation anatomique du triple code (traitement visuel arabe en vert, traitement analogique en bleu et traitement langagier en violet).



## La musique en tant qu'outil de rééducation intermodalitaire

## Transfer effect between music and non-musical abilities in children

- Literacy (Anvari et al., 2002; Moreno & Besson, 2007)
- Verbal memory (Chan et al., 1998; Ho et al., 2003)
- Visuo-spatial processing (Costa-Giomi, 1999)
- Mathematics (Cheek & Smith, 1999)
- IQ (Schellenberg, 2004)

We studied 60 female college students from the Chinese University of Hong Kong, of whom 30 had had at least six years of training with a Western musical instrument before the age of 12, and 30 had received no music training. The two groups of participants were matched (P<0.01) in terms of age (music training, 19.9; no music training, 19.6; t 0.99), grade point average (music training, 3.0; no music training, 3.0; t0.21) and years of education (music training, 14.7; no music training, 14.3; t2.07).

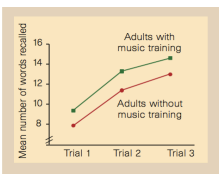


Figure 1 Mean number of words recalled by adults with and without music training. The list-learning task consisted of 16 words from four categories ('family member', 'country', 'furniture' and 'vegetable') that were presented in a fixed random order. The list was presented orally three times to each subject, who was asked to recall as many words as possible after each presentation. The subjects with music training recalled on average 16% more words than those with no music training.

**"music training improves verbal memory"**  
Chan et al., 1998

Agnes S. Chan, Yim-Chi Ho, Mei-Chun Cheung  
Department of Psychology,  
The Chinese University of Hong Kong,  
Shatin, Hong Kong, China  
e-mail: aschan@psych.cuhk.edu.hk

## Musique et apprentissage de la lecture

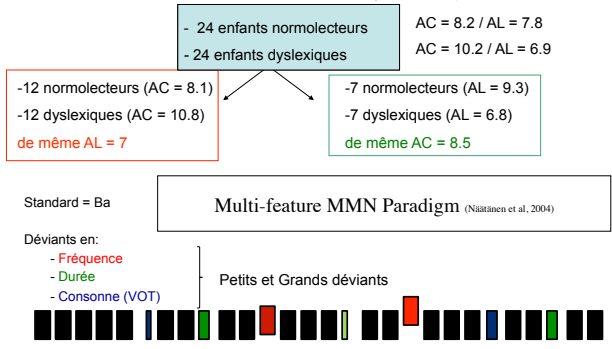


- Rauscher, Neurol Res., 1997
- Chan et al., Nature, 1998
- Vaughn, J. Esthet Educ, 2000
- Overy, Psychol Music, 2000
- Anvari et al., J Exp Child Psychol, 2002
- Schellenberg Psychol Sci, 2002
- Ho et al., Neuropsychology, 2003
- Brandler & Pannmsayer Psychol Music 2003
- Jakobsen et al., Music Percept 2003
- Magne et al., Ann NY Acad Sci 2003
- Rouscher Neurol Res 2003
- Schan et al., Psychophysiology, 2003
- Gaab et al., Ann NY Acad Sci 2005
- Magne et al., J Cogn Neurosci 2006
- Schellenberg J. Educ Psychol 2006
- Tallal & Gaab, TINS 2006
- Moreno & Besson, Ann NY Acad Sci, 2005
- Moreno et al., Cer Cortex 2009
- Forgeard et al., PlosONE, 2008

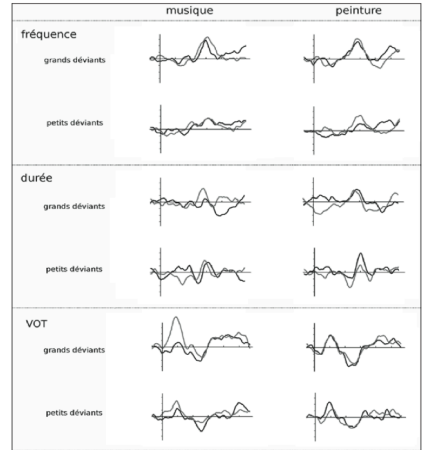
## Déficit du traitement préattentif de la durée de la syllabe et du VOT chez le dyslexique

Neuropsychologia  
journal homepage: www.elsevier.com/locate/ynpscn

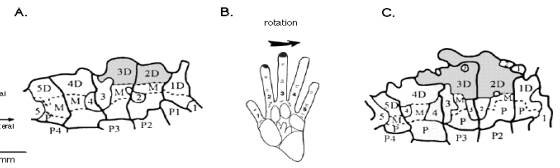
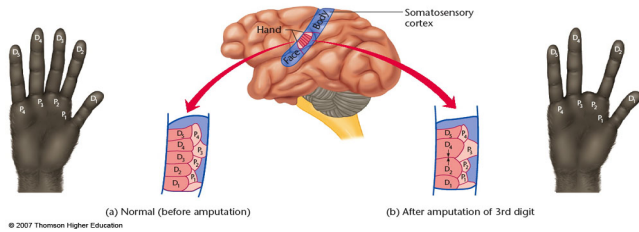
Déficit in the preattentive processing of syllabic duration and VOT in children with dyslexia  
Julie Chabert<sup>a,\*</sup>, Clément Frenoux<sup>a</sup>, Michel Habib<sup>a,b</sup>, Mirella Besson<sup>a,b</sup>



Effet de 6 mois d'imprégnation musicale (comparée à une même période de pratique d'arts plastiques) chez des enfants dyslexiques. Entre avant (en noir) et après (en gris), le groupe musique améliore significativement les indices pré-attentifs de perception de la durée et du temps de voisement (VOT) des syllabes (et non la perception de la hauteur)



## Neuroplasticité liée à l'entraînement

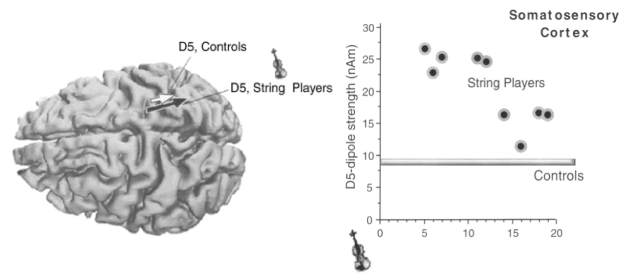
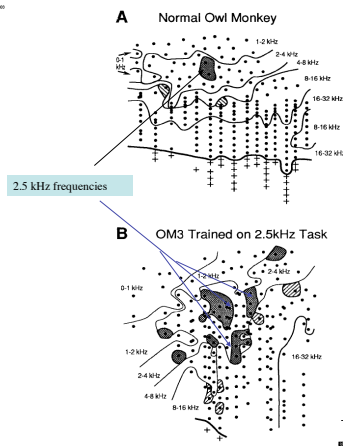
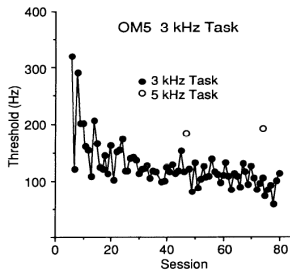


- Daily intensive training with sensory-motor task in monkey modifies brain functional maps (Jenkins et al., 1990)
- A few minutes/day practice is enough to significantly modify cortical surface (Xerri et al., 1999)

Fig. 5-17, p. 142

**Plasticity in the Frequency Representation of Primary Auditory Cortex following Discrimination Training in Adult Owl Monkeys**  
 D. H. Recanzone, C. E. Schweinler, and M. M. Merzenich  
 Center for Neurobiology, Department of Neurobiology and Max Planck Center for Integrative Neuroscience, University of California at San Francisco, San Francisco, California 94142-0722

Tonotopic maps in the auditory cortex can also be modified by training specific frequencies



Left hand fifth finger in string instrument players (MEG study, Elbert et al., 1998). Larger dipole in right somatosensory area. Effect of learning age.

### Effects of Music Training on the Child's Brain and Cognitive Development

GOTTFRIED SCHLAUG<sup>1</sup>, ANDREA NORTON<sup>2</sup>, KATHI OVERY<sup>3</sup> AND ELLEN WINNER<sup>4</sup>  
<sup>1</sup>Department of Neurology, Music and Neuroimaging Laboratory, Beth Israel Deaconess Medical Center/Harvard Medical School, Boston, Massachusetts 02215, USA  
<sup>2</sup>Department of Psychology, Boston College, Boston, Massachusetts 02215, USA

professional keyboard players, who reported approximately twice as much weekly practice time as the amateur musicians, have significantly more gray matter in several brain regions, including the primary sensorimotor cortex, the adjacent superior premotor and anterior superior parietal cortex bilaterally, mesial Heschl's gyrus (primary auditory cortex), the cerebellum, the inferior frontal gyrus, and part of the lateral inferior temporal lobe, than either the amateur musicians or the nonmusicians.

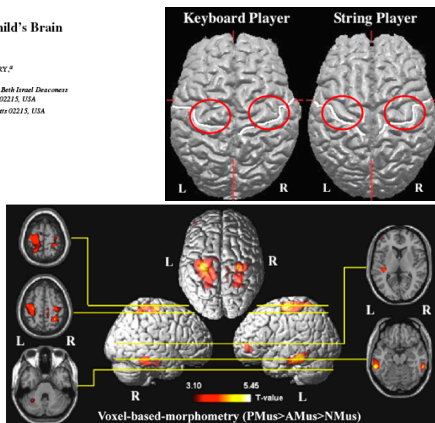
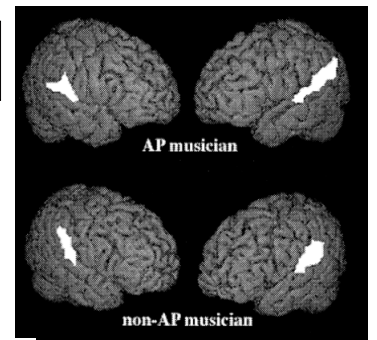


FIGURE 1. A voxel-based morphometric analysis of nonmusicians compared with amateur and professional musicians.

Planum asymmetry is larger in musicians with absolute pitch (AP)



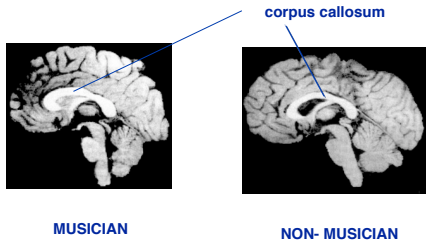
Subject	SP <sup>a</sup>	PT size (mm <sup>3</sup> )	
		Left	Right
AP musicians (n = 27)	-6.50 (0.27) <sup>*</sup>	1381 (149)	822 (236)
Non-AP musicians (n = 24)	-6.24 (0.14)	1350 (140)	1062 (267)
Nonmusicians (n = 27)	-6.28 (0.24)	1341 (396)	008 (285)

<sup>a</sup>Significant differences between AP musicians and non-AP musicians as well as between AP musicians and nonmusicians.

GOTTFRIED SCHLAUG  
 The Brain of Musicians: A Model for Functional and Structural Adaptation  
 Ann NY Acad Sci 2001 930: 281-299.



## Anterior part of the corpus callosum is larger in early-trained musicians



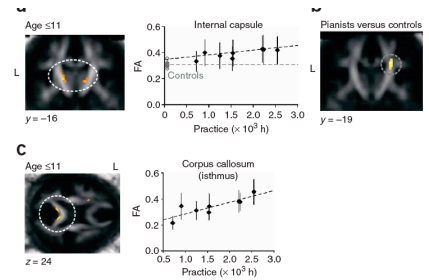
(Schlaug et al., 1995)

## Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development

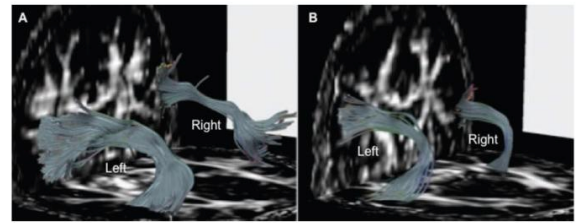
Sara L Bengtsson<sup>1</sup>, Zoltán Nagy<sup>1,2</sup>, Stefan Skare<sup>2</sup>, Lea Forsman<sup>1</sup>, Hans Forsberg<sup>1</sup> & Fredrik Ullén<sup>1</sup>

Using diffusion tensor imaging, we investigated effects of piano practicing in childhood, adolescence and adulthood on white matter, and found positive correlations between practicing and fiber tract organization in different regions for each age period. For childhood, practicing correlations were extensive and included the pyramidal tract, which was more structured in pianists than in non-musicians. Long-term training within critical developmental periods may thus induce regionally specific plasticity in myelinating tracts.

VOLUME 8 | NUMBER 9 | SEPTEMBER 2005 NATURE NEUROSCIENCE



(A) The arcuate fasciculus of a healthy 65-year-old instrumental musician



(B) the arcuate fasciculus of a healthy 63-year-old nonmusician, otherwise matched with regard to their handedness, gender, and overall IQ

### THE NEUROSCIENCES AND MUSIC III: DISORDERS AND PLASTICITY

## The Effects of Musical Training on Structural Brain Development

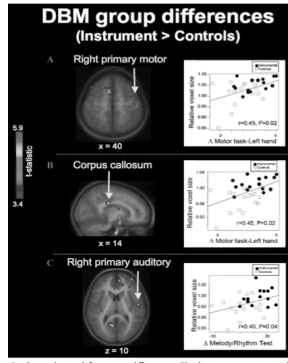
### A Longitudinal Study

Krista L. Hyde,<sup>a</sup> Jason Lerch,<sup>b</sup> Andrea Norton,<sup>c</sup> Marie Forgaard,<sup>d</sup> Ellen Winner,<sup>e</sup> Alan C. Evans,<sup>a</sup> and Gottfried Schlaug<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Montreal Neurological Institute, McGill University, Montreal, Quebec, Canada  
<sup>b</sup>Mouse Imaging Centre, Hospital for Sick Children, Toronto, Ontario, Canada  
<sup>c</sup>Department of Neurology, Music and Neuroimaging Laboratory, Beth Israel Deaconess Medical Center and Harvard Medical School, Boston, Massachusetts, USA  
<sup>d</sup>Department of Psychology, Boston College, Chestnut Hill, Massachusetts, USA

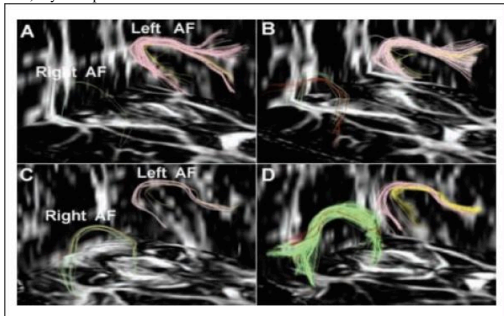
As predicted, instrumental children showed greater behavioral improvements over the 15 months on the finger motor task and the melodic/rhythmic tasks, but not on the non-musical tasks. In addition, instrumental children showed areas of greater relative voxel size change over the 15 months as compared to Controls in motor brain areas, such as the **right precentral gyrus** (motor hand area, Fig. 1A), and the **corpus callosum** (4th and 5th segment/midbody, Fig. 1B), as well as in a **right primary auditory region** (Heschl's gyrus, Fig. 1C). These brain deformation differences are consistent with structural brain differences found between adult musicians and nonmusicians in the precentral gyri, the corpus callosum, and auditory cortex.

We investigated structural brain changes in relation to behavioral changes in young children (15 mean age at start of study; 8.32 years old) who received 15 months of keyboard training relative to 16 children who did not receive any instrumental music training during this 15-month period. We did not participate in a weekly group music class in school (i.e., singing and drums). We used deformation-based morphometry (DBM), an unbiased and automated approach to brain morphology, to search throughout the whole brain on a voxel-wise basis for local brain size (voxel expansions or contractions) differences between groups over the 15 months.



1. Group brain deformation differences. The brain images in panels A, B, and C show the locations of the areas of greater relative voxel size change over the 15 months.

8-year-old child without instrumental music training scanned twice (A and B) 2 years apart



8-year-old child before (C) and 2 years after (D) instrumental music training involving a string instrument.

## Changes in the arcuate fasciculus after instrumental music training

MEG - The Journal of Neuroscience, September 24, 2008 • 28(39):9527–9533

### Behavioral/Systems/Cognitive

## Cortical Plasticity Induced by Short-Term Unimodal and Multimodal Musical Training

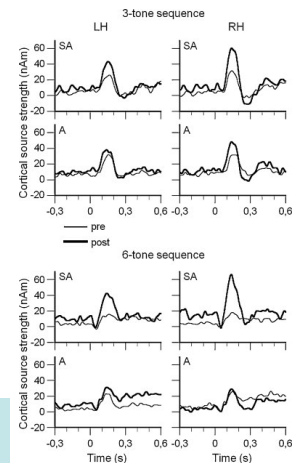
Giulia Lappe,<sup>1</sup> Sibylle C. Herholz,<sup>1</sup> Laurel J. Trainor,<sup>1,2</sup> and Christo Pantev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute for Neuroimaging and Biogeriatrics, University of Toronto, 4800 Keele Street, Toronto, Ontario, Canada, and <sup>2</sup>Department of Psychology, Neuroscience, and Behaviour and the McMaster Institute for Music and the Mind, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada L8S 4L7



Enregistrement MEG avant et après 2 semaines d'entraînement chez deux groupes de non-musiciens : SA sensori-moteur + auditif (clavier) & A auditif seul.

multimodal sensorimotor-auditory training in non-musicians results in greater plastic changes in auditory cortex than auditory-only training.



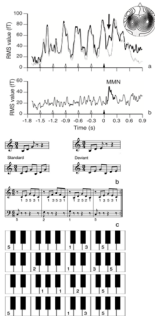
**Cortical Plasticity Induced by Short-Term Unimodal and Multimodal Musical Training**

Claudia Lappe,<sup>1</sup> Sibylle C. Herholz,<sup>1</sup> Laurel J. Trainor,<sup>2</sup> and Christo Pantev<sup>1,3</sup>

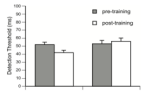
<sup>1</sup>Institute for Experimental and Biological Psychology, University of Münster, Münster, Germany, <sup>2</sup>Department of Psychology, Neuroscience & Behavior and the Melissa Institute for Music and the Arts, Wilfrid Laurier University, Waterloo, Ontario, N2L 2C6, Canada, <sup>3</sup>Department of Psychology, Neuroscience and Behavior and the Melissa Institute for Music and the Arts, Wilfrid Laurier University, Waterloo, Ontario, Canada, N2L 2C6

DOI: 10.1523/JNEUROSCI.4631-08.2008

Copyright © 2008 Society for Neuroscience 0270-6474/08/289520-09\$15.00/0



Études en MEG de sujets non musiciens entraînés durant 8 sessions de 25 mn sur 2 semaines à jouer une mélodie des deux mains, guidés par un schéma du clavier marqué des doigts, comparés à un groupe témoin ne jouant rien mais écoutant l'autre groupe apprendre à jouer!

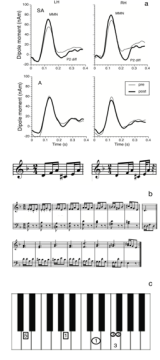


L'entraînement sensori-moteur et auditif (SA) améliore la discrimination de manière plus nette et provoque une MMN plus ample que l'entraînement auditif seul (A), tant pour la discrimination de mélodies que de rythmes

**Cortical Plasticity Induced by Short-Term Multimodal Musical Rhythm Training**

Claudia Lappe,<sup>1</sup> Laurel J. Trainor,<sup>2</sup> Sibylle C. Herholz,<sup>1,3</sup> Christo Pantev<sup>1,3</sup>

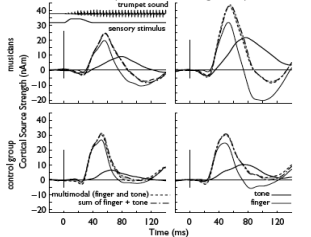
<sup>1</sup>Institute for Experimental and Biological Psychology, University of Münster, Münster, Germany, <sup>2</sup>Department of Psychology, Neuroscience & Behavior and the Melissa Institute for Music and the Arts, Wilfrid Laurier University, Waterloo, Ontario, N2L 2C6, Canada, <sup>3</sup>Department of Psychology, Neuroscience and Behavior and the Melissa Institute for Music and the Arts, Wilfrid Laurier University, Waterloo, Ontario, Canada, N2L 2C6



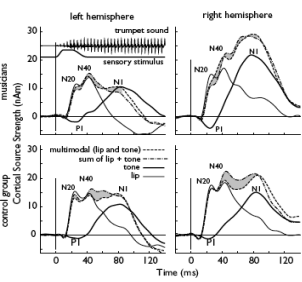
**Evidence for training-induced crossmodal reorganization of cortical functions in trumpet players**

Matthias Schulz,<sup>1,2</sup> Bernhard Ross<sup>1,2</sup> and Christo Pantev<sup>1,3,4</sup>

<sup>1</sup>Institute for Experimental and Biological Psychology, University of Münster, Münster, Germany, <sup>2</sup>Department of Psychology, Neuroscience & Behavior and the Melissa Institute for Music and the Arts, Wilfrid Laurier University, Waterloo, Ontario, N2L 2C6, Canada, <sup>3</sup>Department of Psychology, Neuroscience and Behavior and the Melissa Institute for Music and the Arts, Wilfrid Laurier University, Waterloo, Ontario, Canada, N2L 2C6, <sup>4</sup>Department of Psychology, Neuroscience and Behavior and the Melissa Institute for Music and the Arts, Wilfrid Laurier University, Waterloo, Ontario, Canada, N2L 2C6



In both musicians and the control group, the source waveforms obtained from the **somatosensory finger area** showed no significant differences between the combined condition and the sum of responses to the tone and the finger stimuli. Additionally, source waveforms did not show clear differences between the groups.

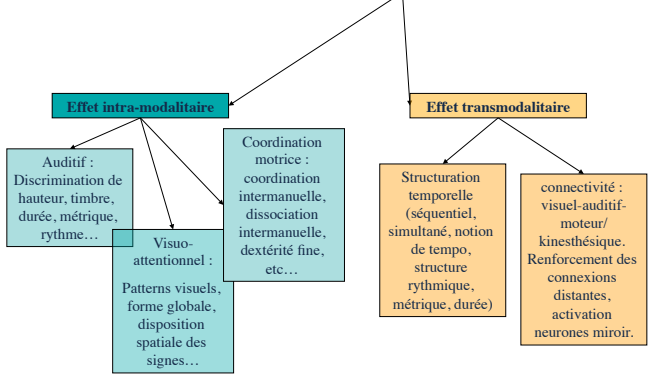


In contrast, source waveforms obtained from the **somatosensory lip area** showed distinctive differences between the responses to the **combined lip and tone stimulation** and the responses obtained by summing responses from the unimodal lip and tone stimulation.

**En résumé**

- Il existe un ensemble croissant et convergent d'arguments montrant que les troubles d'apprentissage sont associés du point de vue anatomique à des anomalies de connectivité entre des zones fonctionnelles de modalités différentes (en particulier hémisphériques gauches)
- ...et que l'entraînement rééducatif (en particulier phonologique) s'accompagne de remise en place des circuits anormalement connectés
- Par ailleurs, l'entraînement musical, et tout particulièrement l'apprentissage d'un instrument de musique, s'accompagne d'une modification de ces mêmes circuits, également surtout dans l'hémisphère gauche, un effet qui semble plus net lorsque les composantes motrice et sensorielle sont activées simultanément

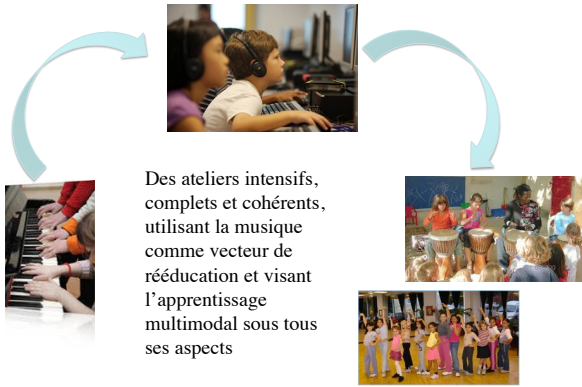
**Effets possibles d'un entraînement musical sur les troubles du langage oral et écrit**



**cerveau, musique, dyslexie :**  
des ateliers pour rééduquer en apprenant un instrument

**Etude préliminaire d'un entraînement musical intensif**

- 12 enfants dyslexie sévère (multi-dys)
- 3 jours, 6 heures/jour 3 ateliers tournants (de 4)
  - Pédagogique : initiation au piano
  - Orthophonique : exercices auditifs (hauteur, durée, timbres, rythme)
  - Psychomoteur : percussions (rythme, tempo, motricité); danse folklorique de groupe



## Volet rééducatif: généralités (aspects auditifs)

- exercices ciblés sur les différents paramètres du son (hauteur, durée, rythme, pulsation) en particulier sur les éléments relevés comme particulièrement difficiles à traiter pour les enfants dys
- progression au sein de la tâche
  - Matériel utilisé (intervalles plus faibles, écart de durées réduite, nombre d'items)
  - augmentation progressive de la charge cognitive en stimulant FE (dble tâche, mémoire de travail d'avantage sollicitée, attention soutenue/sélective),
- introduction de
  - supports visuels très simplifiés, le but n'étant pas de multiplier les codes déjà lourds à intégrer (portée, notation musicale)
  - tâches motrices

**La hauteur: exemple d'exercice**

**Associer une hauteur à une représentation visuelle graphique/ motrice**

Marche dans l'espace en écoutant les sons. Si le son est aigu, mets toi sur la pointe des pieds, s'il est grave, accroupis toi!

Écoute et dessine la position des sons. Si le son est aigu, colorie un trait du haut de la feuille, s'il est grave, colorie un trait du bas!

**La hauteur: exemple d'exercice**

**Associer une séquence entendue et une représentation visuelle**

Parmi ces cartons, lequel correspond à ce que tu viens d'entendre?

**La durée: exemple d'exercice**

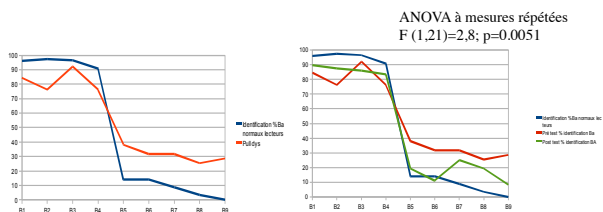
**Associer une séquence entendue et une représentation visuelle**

Parmi ces cartons, lequel correspond à ce que tu viens d'entendre?

**Evaluation de l'efficacité :**

- Pour tester l'efficacité des ateliers. Nous avons mis en place 4 tests :
- ... **Test d'identification de perception catégorielle** : En lien avec les aspects temporels, ce test permet d'observer la formation de catégories de phonème. Les normaux-lecteurs déclarent entendre un seul et même phonème pour les premières stimulations puis brusquement déclarent entendre l'autre phonème. Nous disposons d'un continuum de 9 stimulations de type Ba-Pa avec des délais de voisement allant de -52 à +20 millisecondes. On mesure le taux d'identification de Ba (celui de Pa étant la courbe inverse).
  - ... **Test de discrimination de perception catégorielle** : Cette épreuve permet d'évaluer la finesse de la perception catégorielle et utilisant des paires de stimuli. Chez les normaux-lecteurs on observe normalement un pic de discrimination au niveau de la frontière entre les deux catégories de phonèmes. Avec les 9 stimuli du continuum, 8 paires ont été formées (de Ba1-Ba2, à Ba8-Ba9). On mesure ici le taux de discrimination.
  - ... **Test des mots allongés** : Dans ce test, on présente on enfants des mots de 3 syllabes. Soit prononcés de façon normale soit dans leur version « allongée » où la deuxième syllabe est étirée. Cela permet de nous renseigner sur le traitement des aspects temporels dans des stimuli verbaux. On mesure le pourcentage de réponses correctes.
  - ... **Test des comptines** : Dans cette tâche, on fait écouter aux enfants des comptines jouées au piano. Elles sont présentées dans quatre versions différentes : la normale et trois type de déviantes où une note est modifiée en contour, en harmonie ou en dissonance. Dans cette épreuve ce ne sont pas les aspects temporels qui sont mis en oeuvre. Nous n'attendons pas de différence entre normaux-lecteurs et dyslexiques sur le taux de bonnes réponses.

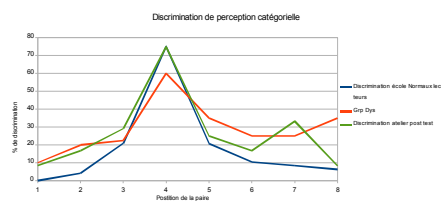
## Résultats préliminaires : effet sur une épreuve de perception catégorielle ba/pa



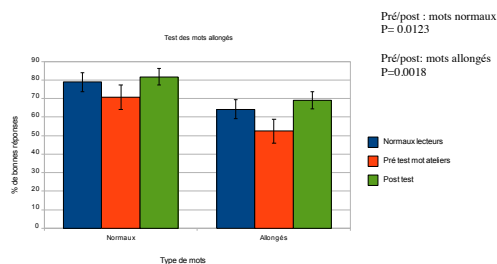
Comparaison avant/après atelier rééducatif :

- amélioration perception intra-catégorielle (moins de perception allophonique)
- amélioration perception inter-catégorielle (restitution de la pente de la frontière inter-catégorielle)

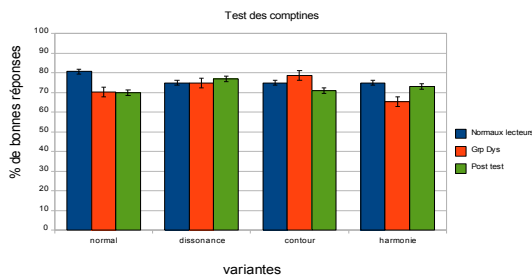
## Perception catégorielle : discrimination



## Test de repérage de syllabes allongées



## Comptines



Conformément à nos prédictions, nous ne retrouvons pas de différences entre les différents groupes dans les résultats de ce test. Il n'y a pas non plus de différences avant et après les ateliers de musique.

## Conclusion

- Cette étude préliminaire a démontré qu'un entraînement musical de trois jours seulement, pourvu qu'il soit intensif et basé sur des exercices à visée de renforcement des connexions inter-modalitaires, est capable de modifier de façon significative des variables linguistiques non spécifiquement entraînées
- Ce sont spécifiquement les variables ayant une composante temporelle qui ont été altérées, ce qui peut être rapproché de l'hypothèse de Hebb sur le renforcement de la connectivité entre deux systèmes distants lorsqu'ils sont stimulés de façon synchrone

## Conclusion (2)

- L'effet à plus long terme reste à prouver, mais est très probable en regard de l'effet connu sur le cerveau de l'apprentissage d'un instrument de musique.
- Incitent en tout cas à développer des ateliers similaires sous une forme adaptable à la pratique rééducative ordinaire
- Pourrait déboucher sur l'usage d'ateliers similaires pour d'autres troubles dys ou au delà (spectre autistique?)