

Projet de thèse – Dystonie de fonction du musicien et apprentissage moteur : perception, contrôle du geste et intéroception en lien à la performance musicale

Porteuse principale du projet : Cécile Galléa, ICM, Sorbonne Université (40%)

Co-directeur : Frédéric Bevilacqua, STMS Ircam-CNRS-Sorbonne Université (40%)

Co-directrice : Maya Gratier, Université de Paris Nanterre (20%)

1) Contexte

La dystonie de fonction du musicien et sa prévention constituent un enjeu majeur de santé chez les musiciens professionnels, encore insuffisamment documenté malgré leur impact fonctionnel, psychologique et socio-professionnel. Ce trouble neurologique est diagnostiqué trop tardivement, avec des conséquences sévères sur la carrière des musiciens. La dystonie de fonction s'inscrit dans un contexte où l'anxiété de performance, l'exigence élevée et la répétition intensive modulent fortement les réseaux sensorimoteurs et émotionnels.

En particulier, la dystonie focale de la main du musicien (DFMM) est un trouble neurologique spécifique qui affecte des gestes hautement spécialisés (trilles, alternances rapides, doigtés contraints)¹. Elle se manifeste par une perte de sélectivité digitale, des co-contractions musculaires et un débordement de la commande motrice centrale vers les muscles. Sa prévalence chez les musiciens professionnels et son impact fonctionnel majeur en font un enjeu central pour l'axe Musique-Santé du Collegium Musicae.

Les données actuelles sur la dystonie convergent vers une pathophysiologie en réseau. Nos travaux à l'ICM ont montré que la dystonie implique une désorganisation des circuits reliant cortex sensorimoteur, ganglions de la base, cervelet et régions pariétales.^{2,3} Les patients avec une dystonie focale de la main montrent des anomalies d'intégration des informations somatosensorielles pour contrôler la sortie motrice, ainsi qu'une altération des capacités d'inhibition,^{4,5} associée à une plasticité mal calibrée.⁶ Cependant, nous n'avons pas encore considéré spécifiquement le cas de la DFMM, qui n'a été que très partiellement étudié. Chez les musiciens souffrant de dystonie, il existe un chevauchement accru des représentations somatotopiques corticales des doigts et une vulnérabilité liée à l'entraînement intensif.⁷ Comme l'apprentissage des habiletés sensorimotrices dépend de facteurs psychologiques,⁸ le stress associé à la pratique intense pourraient participer aux mécanismes physiopathologiques de la DFMM.⁹ Ces résultats motivent une approche translationnelle, reliant biomarqueurs associant des propriétés de réseaux cérébraux, des facteurs psychologiques et de comportement moteur pour définir des stratégies de rééducation.

2) Objectif scientifique

L'objectif général du projet de thèse est d'étudier la DFMM avec une approche interdisciplinaire en neuroscience, sciences informatiques et psychologie. Nous proposons, dans un premier temps, de relier des mesures de l'état des réseaux cérébraux (EEG haute densité, IRM anatomique et fonctionnelle (Axe 1) et des mesures comportementales fines d'apprentissage moteur (Axe 2) afin d'identifier des profils neurofonctionnels distincts de la DFMM. Dans un deuxième temps, nous proposons de considérer également les aspects émotionnels et d'agentivité (Axe 3). Nous comparerons un groupe de patients experts avec dystonie et un groupe contrôle de musiciens experts sans dystonie. A priori, nous considérerons en premier lieu des pianistes et des guitaristes pour des raisons de recrutement, et une facilité d'opérer les expérimentations avec ces musiciens. Des mesures comportementales seront effectuées en utilisant divers systèmes interactifs permettant de moduler les relations entre gestes et retours sonores (en manipulant par exemple la dynamique et/ou des délais du son produit).¹⁰ Les résultats de cette thèse devraient ouvrir la voie à des stratégies personnalisées de rééducation.

Trois axes intégrés structurent le projet :

Axe 1 — Sélectivité sensorimotrice digitale.

Identifier, au sein des circuits associés à la dextérité fine, les caractéristiques spatio-temporelles du chevauchement des représentations digitales et d'intégration des informations somatosensorielles associées à des erreurs de prédiction¹¹.

Axe 2 — Réorganisation des réseaux pendant l'apprentissage.

Comparer deux formes d'apprentissage : adaptation basée sur la correction d'erreur (dominance cérébelleuse) et apprentissage séquentiel digital (dominance striatale)¹², en explorant la connectivité de ces deux systèmes avec l'hippocampe, pour la rétention.

Axe 3 — Intéroception et modulation affective des réseaux d'apprentissage.

Examiner comment la sensibilité intéroceptive (perception des états corporels internes mesurés par des questionnaires standardisés) et la réactivité émotionnelle (contrôlée par des scénarios

de différentes valences émotionnelles) influencent la dynamique des réseaux cérébello-corticaux et la perception de contrôle de l'action (sens d'agentivité) lors de mises en situation de performance musicale (concours, concerts)

3) Justification de l'approche

Le traitement des dystonies de fonction du musicien s'effectue actuellement soit par la rééducation fondée sur une expérience de terrain par quelques spécialistes, soit par le traitement de la toxine botulique qui altère les retours sensoriels. Afin de proposer des thérapies plus adaptées à la spécificité de chaque musicien, il est nécessaire d'étudier ce type de dystonie en lien avec les connaissances en neurosciences acquises ces dernières années, et de prendre en compte des facteurs psychologiques qui sont clairement identifiés comme importants sur le terrain. Pour cette raison, nous proposons une approche qui combine 1) la cartographie les représentations digitales par EEG haute densité puisque que des travaux montrent un élargissement des cartes digitales et une perception accrue des erreurs sur la base des informations sensorielles¹³ ; 2) l'étude de la dynamique de l'amélioration des performances lors de l'adaptation¹⁴ exploré par l'EEG et lors de répétitions de séquences digitales³ exploré par IRMf. Des données récentes suggèrent une implication de l'hippocampe dans l'optimisation sensorimotrice¹⁵ et la représentation de séquences complexes,¹⁶ ouvrant l'hypothèse d'un recrutement compensatoire lorsque les réseaux sensorimoteurs sont altérés. 3) l'étude des effets de scénarios standardisés induisant des émotions et des sensations liées aux actions motrices impliquées dans la performance musicale, qui sont des facteurs identifiés dans la prise en charge.

4) Adéquation Musique-Santé

Ce projet répond aux objectifs de l'initiative Musique-Santé du Collegium Musicae avec une problématique identifiée comme prioritaire : l'étude des troubles spécifiques liés à la pratique musicale. Il est clairement interdisciplinaire en articulant neurosciences, psychologie, et informatique musicale et pratique musicale. Trois laboratoires sont impliqués (dont 2 à Sorbonne Université), mobilisant des expertises complémentaires en neuroscience multimodale et neurologie (Cécile Galléa), systèmes interactifs interaction geste-son et analyse des mouvements des musiciens (Frédéric Bevilacqua), et cognition musicale (Maya Gratier). Plus généralement, ce projet devrait contribuer à la prévention des troubles liés à l'optimisation poussée de la performance motrice et proposer un cadre méthodologique transférable à d'autres populations exposées à des apprentissages moteurs intensifs.

5) References

1. Altenmüller E, Jabusch HC. Focal dystonia in musicians: phenomenology, pathophysiology and triggering factors. *Eur J Neurol*. 2010;17 Suppl 1:31-36. doi:10.1111/j.1468-1331.2010.03048.x
2. Gallea C, Horowitz SG, 'Ali Najee-Ullah M, Hallett M. Impairment of a parieto-premotor network specialized for handwriting in writer's cramp. *Hum Brain Mapp*. Published online July 28, 2016. doi:10.1002/hbm.23315
3. Gallea C, Balas M, Bertasi E, et al. Increased cortico-striatal connectivity during motor practice contributes to the consolidation of motor memory in writer's cramp patients. *NeuroImage Clin*. 2015;8:180-192. doi:10.1016/j.nicl.2015.04.013
4. Hallett M. Pathophysiology of writer's cramp. *Hum Mov Sci*. 2006;25(4-5):454-463. doi:10.1016/j.humov.2006.05.004
5. Gallea C, Herath P, Voon V, et al. Loss of inhibition in sensorimotor networks in focal hand dystonia. *NeuroImage Clin*. 2018;17:90-97. doi:10.1016/j.nicl.2017.10.011
6. Quartarone A, Siebner HR, Rothwell JC. Task-specific hand dystonia: can too much plasticity be bad for you? *Trends Neurosci*. 2006;29(4):192-199. doi:10.1016/j.tins.2006.02.007
7. Altenmüller E, Ioannou CI, Lee A. Apollo's curse: neurological causes of motor impairments in musicians. *Prog Brain Res*. 2015;217:89-106. doi:10.1016/bs.pbr.2014.11.022
8. Trevarthen C, Gratier M, Osborne N. The human nature of culture and education. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci*. 2014;5(2):173-192. doi:10.1002/wcs.1276
9. Altenmüller E, Jabusch HC. Focal hand dystonia in musicians: phenomenology, etiology, and psychological trigger factors. *J Hand Ther*. 2009;22(2):144-155. doi:10.1016/j.jht.2008.11.007
10. Peyre I, Roby-Brami A, Segalen M, et al. Effect of sonification types in upper-limb movement: a quantitative and qualitative study in hemiparetic and healthy participants. *J Neuroengineering Rehabil*. 2023;20(1):136. doi:10.1186/s12984-023-01248-y
11. Yu Y, Huber L, Yang J, et al. Layer-specific activation of sensory input and predictive feedback in the human primary somatosensory cortex. *Sci Adv*. 2019;5(5):eaav9053. doi:10.1126/sciadv.aav9053
12. Doyon J, Benali H. Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills. *Curr Opin Neurobiol*. 2005;15(2):161-167. doi:10.1016/j.conb.2005.03.004
13. Ruiz MH, Strübing F, Jabusch HC, Altenmüller E. EEG oscillatory patterns are associated with error prediction during music performance and are altered in musician's dystonia. *NeuroImage*. 2011;55(4):1791-1803. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.12.050
14. Bracco M, Vasudevan V, Rohira V, et al. Cerebellar-cortical beta oscillations emerge as a predictive signal facilitating the stability of behavioral performance. *Curr Biol CB*. Published online December 16, 2025:S0960-9822(25)01559-3. doi:10.1016/j.cub.2025.11.049
15. Griffa G, Solano A, Deleglise A, De Pino G, Jacobacci F, Della-Maggiore V. Uncovering the Role of the Human Hippocampus in Procedural Motor Learning: Insights from Implicit Sensorimotor Adaptation. *J Neurosci Off J Soc Neurosci*. 2025;45(36):e2119242025. doi:10.1523/JNEUROSCI.2119-24.2025
16. Pinsard B, Boutin A, Gabitov E, Lungu O, Benali H, Doyon J. Consolidation alters motor sequence-specific distributed representations. *eLife*. 2019;8:e39324. doi:10.7554/eLife.39324