

## Introduction à la neurocognition et dynamique corticale sensorimoteur du guitariste

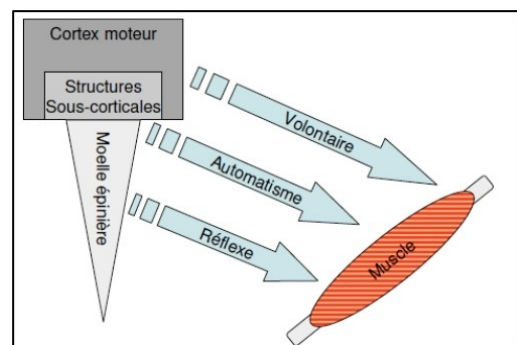
Il y a différentes approches pour aborder les mécanismes sous-jacent du musicien, ici la guitare, comme les processus de lecture de note, le traitement auditif du système tonal, la biomécanique, la perception du rythme ou encore le système sensorimoteur, qui sera traité dans ce sujet. Jouer de la guitare est une tâche motrice très complexe qui demande d'innombrables heures d'entraînement. Jouer un morceau de musique implique, en partie, une coordination de mouvements des mains et doigts en plus de la contrainte du tempo. Autrement dit, la précision des mouvements moteurs est dépendant du nombre d'heure de pratique sur le long terme. En effet, la production d'une séquence de mouvement dépend de deux paramètres, la vitesse et la précision. L'apprentissage de la guitare va engendrer des changements/organisations neuronales afin de pouvoir exécuter cette tâche cognitive de haut niveau.

### Les mouvements

Il existe plusieurs formes de mouvement dont les substrats anatomiques vont différer en fonction (Figure 1). Les réflexes sont des réponses musculaires involontaires, stéréotypées et rapides répondant à un stimulus dont la réponse ne nécessite pas une intervention du cerveau mais de la moelle épinière.

Les mouvements automatiques sont intégrés dans la mémoire procédurale après apprentissage et s'exécute avec peu d'effort attentionnel comme le vélo ou la conduite automobile.

Le dernier est le mouvement volontaire dont le but est la capacité de parvenir à un résultat final avec le maximum de certitudes et des dépenses d'énergie minimales. Par conséquent jouer de la guitare, à un certain niveau, est une action motrice complexe possédant un objectif final et qui demande un mouvement volontaire du corps ou d'une partie pour permettre une performance optimale. Dès lors, une action est une habilité motrice après apprentissage nécessitant une planification du mouvement impliquant de nombreuses aires corticales ce qui requiert du temps. D'autre part, la précision du mouvement n'est pas grossière (intervention d'un large



**Figure 1** Organisation des mouvements en fonction des niveaux hiérarchiques du Système nerveux central

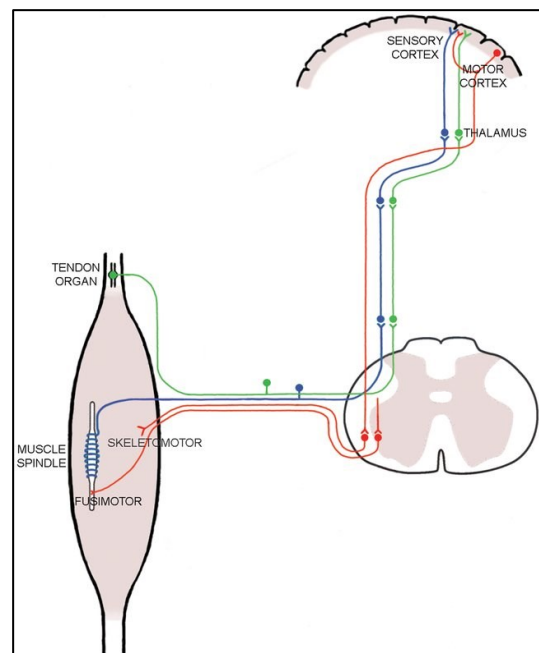
groupe musculaire) mais fine c'est-à-dire que le contrôle moteur se concentre sur un petit groupe musculaire avec une coordination œil-main pour une précision maximale.

La question se pose de comprendre comment la cognition et substrats corticaux vont s'organiser dans l'apprentissage de la guitare. Pour cela, il semble important d'appréhender les structures corticales et les modèles cognitifs du mouvement.

### Neurocognition du mouvement

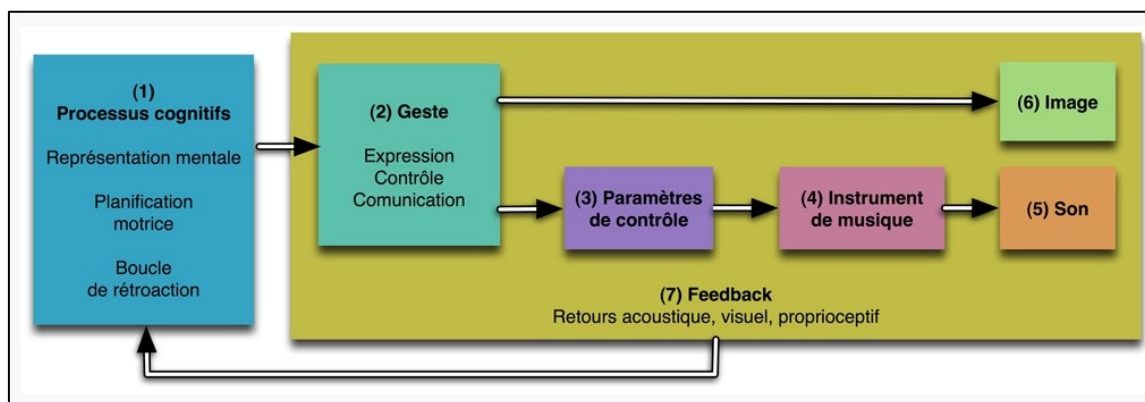
Le cerveau reçoit, traite et envoie de nombreuses informations pour corriger, maintenir un certain équilibre ou préparer à l'action. On parle d'afférence lorsqu'un message nerveux est envoyé d'un récepteur du corps vers le cerveau. Par exemple, lorsque l'on presse une corde pour faire une note, des récepteurs par exemple de Pacini, sensibles à la pression, vont envoyer au cerveau un message via le nerf pour dire que le doigt est en appui sur la guitare (plusieurs mécanismes sont en jeu comme la proprioception et d'autres mécanorécepteurs). A l'inverse, on parle d'efférence lorsque le cortex moteur envoie une commande au doigt pour presser la corde. L'afférence sensorielle, c'est-à-dire la sensation, va informer le cerveau. Si vous êtes habitués à un tirant de corde 9-42 et que vous jouez sur une guitare 12-54, sans le savoir, vous allez mettre une pression et développer une force automatique et vous rendre compte que le programme moteur envoyé doit être corrigé. La force et la pression exercées ne sont pas suffisante donc il faut corriger. Dans la

figure 2, en rouge, nous avons le faisceau pyramidal (efférent) qui va venir se connecter à un motoneurone dans la moelle épinière (voie ventrale) qui va envoyer un nerf stimulé le muscle squelettique (type de muscle dépendant de notre volonté) par exemple celui de la main. La conséquence est que le muscle sera contracté et allongera le tendon. Des récepteurs spécifiques (Golgi et fuseau neuromusculaire) vont se connecter à un interneurone de la voie dorsale (sensitif) en bleu et vert pour remonter au cortex sensoriel contre latérale en passant par des noyaux spécifiques du pont (tronc cérébrale) et du thalamus. Cette boucle permet de réguler les mouvements.



**Figure 2** Circuit afférent et efférent du contrôle moteur des muscles squelettiques

La notion de boucle de contrôle (Schmidt, 1992) rentre en jeu pour mieux comprendre le lien sensori-moteur entre cerveau et muscles. Il existe un programme moteur qui va ordonner au muscle de se contracter et déterminer l'ordre et la durée de la contraction. Il existe deux boucles, une fermée et une ouverte. Pour la boucle ouverte tout est prévu à l'avance, le programme moteur est envoyé à un effecteur sans possibilité de changement. Dans cette boucle il n'y a pas de feedback. Un guitariste peut donc jouer une séquence de note qu'il connaît bien en étant certain du résultat. Mais avant d'en arriver à ce stade il passe par un apprentissage lent en boucle fermée. Dans cette boucle il y a une copie d'efférence (un fichier contenant l'ensemble du programme moteur) permettant de comparer le programme moteur envoyé et le résultat. Cette boucle permet des ajustements pour atteindre l'objectif de précision obtenu. Le musicien va avoir tendance à utiliser cette boucle fermée dans un environnement exigeant comme dans une répétition, un enregistrement, un live ou sur l'entraînement technique pour optimiser la propreté de son jeu. L'utilisation de ces boucles va être déterminée par l'environnement, s'il est stable ou instable. Dans un contexte stable, par exemple chez soi, la boucle ouverte va être privilégiée si le morceau est bien maîtrisé. A l'inverse, sur scène ou dans un contexte de performance, la boucle fermée sera privilégiée. En effet, en live il est important de pouvoir avoir un retour (son guitare et partenaire) afin d'ajuster son jeu pour une performance optimale. Le feedback est aussi multimodal, un ensemble d'informations remonte vers le cortex comme le visuel, l'auditif et la coordination des membres dans l'espace (proprioception).



**Figure 3** Processus de traitement sensorimoteur de la pratique musicale

Dans cette figure 3, nous avons en (1) le processus cognitif, je veux jouer une série de notes que je viens d'apprendre et entendre (représentation mentale), je planifie le mouvement, l'agencement de la séquence motrice avec l'idée de l'expression (2), du doigté et coup de médiator (3), j'exécute la commande sur l'instrument via les muscles effecteurs (4) (doigts

mains) et j'obtiens un son (5). Le résultat final est comparé avec la boucle de rétroaction (7) (copie d'efférence) si le résultat obtenu n'est pas en phase avec la représentation mentale, il y a une reprogrammation motrice pour atteindre l'objectif voulu. La tâche est complexe et nécessite de nombreuses régulations motrices dynamiques en fonction de la difficulté de la séquence apprise. Pour rappel, d'autres mécanismes entrent en jeu dans cette phase d'apprentissage et de régulation, ici n'est juste illustré qu'un modèle de théories motrices pour comprendre la dynamique sensorimotrice. En effet, l'expertise des fondamentaux techniques et théoriques, les stratégies d'apprentissage mises en place, le contrôle attentionnel, la biomécanique, la rigueur de l'entraînement sont aussi à prendre en considération. Il est à noter qu'il doit exister aussi une différence interindividuelle (entre les individus) quant à la facilité à parvenir à un résultat plus rapidement.

### Substrats Neuroanatomiques du contrôle moteur

Chez les guitaristes, le contrôle moteur se focalise préférentiellement sur les muscles qui contrôlent la main. Ce sont des mouvements discrets pilotant la durée, le timing et la force déployé des muscles dans le temps. De nombreuses études se sont intéressées à la performance musicale sur l'activité corticale. Pour cela, une brève illustration de l'organisation corticale va aider à comprendre les modifications conséquentes à la pratique intensive de la guitare.

Le cerveau est organisé de manière hiérarchique et dynamique avec des échanges bidirectionnels du plus bas niveau (tronc cérébrale), intermédiaire (système limbique) et de haut niveau le cortex cérébral. Le cortex moteur, situé dans la partie postérieure du lobe frontal, peut être divisé en plusieurs aires fonctionnelles en interaction constante avec d'autres structures nerveuses impliquées dans le mouvement volontaire. Le cortex moteur primaire (M1) comporte une topographie des groupes musculaires. La surface des régions, homonculus moteur (Figure 4), est proportionnelle à la finesse du contrôle moteur, la représentation de la main est bien plus importante que celles des muscles du tronc (pas de besoin d'une extrême précision). Le cortex moteur (figure 6)

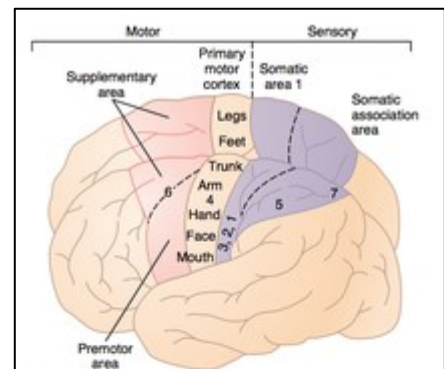


Figure 55-1

Motor and somatosensory functional areas of the cerebral cortex. The numbers 4, 5, 6, and 7 are Brodmann's cortical areas, as explained in Chapter 47.

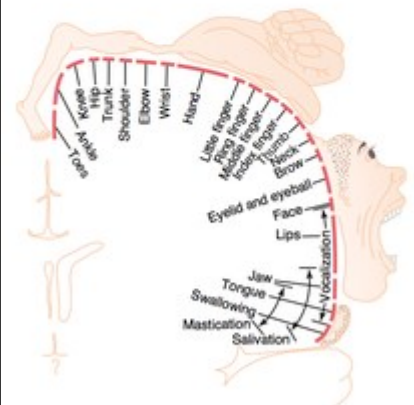
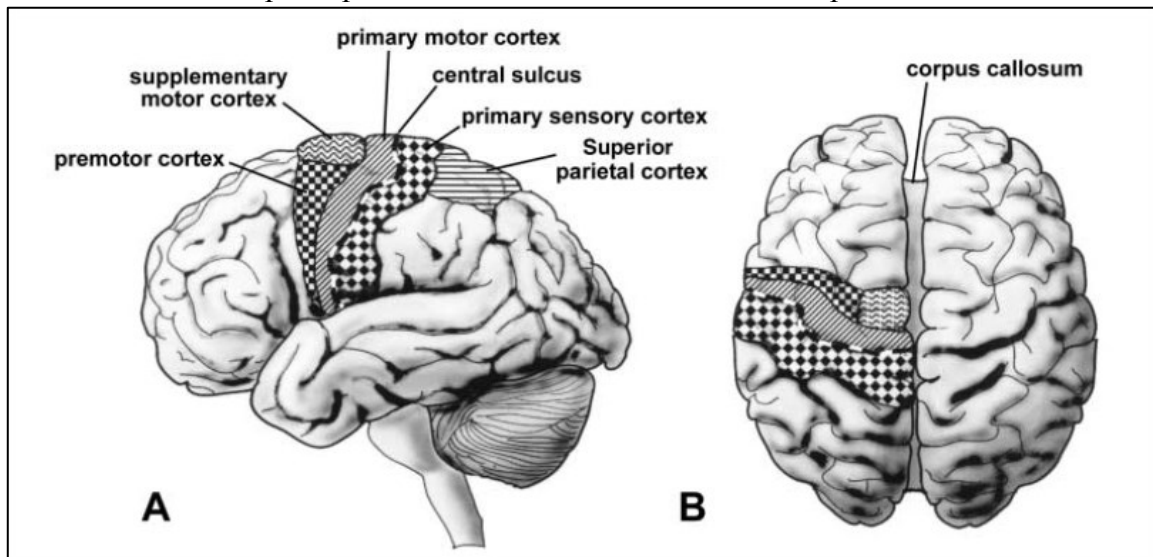


Figure 55-2

Degree of representation of the different muscles of the body in the motor cortex. (Redrawn from Penfield W, Rasmussen T: The Cerebral Cortex of Man: A Clinical Study of Localization of Function. New York: Hafner, 1968.)

**Figure 4** Organisation corticale du cortex moteur et sensorielle (haut) et mapping cortical de la représentation des parties du corps Homonculus (bas)

intervient dans l'exécution du mouvement en recevant des informations de l'aire prémotrice (M2). L'aire prémotrice (aire 6) est située en avant du cortex M1. Cette aire intervient dans la planification et la programmation de mouvement. Elle déclenche des schémas de mouvements complexes. De plus, elle intègre de nombreuses informations sensorielles envoyées par le cortex pariétale postérieur. La planification du mouvement va s'étayer sur les informations visuospatiales traitées par les parties postérieures du cortex (voie dorsale). Par exemple, lorsqu'un guitariste regarde un autre guitariste jouer, celui-ci va s'appuyer sur la vision et la spatialité de la main pour planifier un mouvement afin de reproduire les notes. Les



**Figure 5** A Illustration des différentes aires motrices du lobe frontal B Le corps calleux site de liaison des fibres inter-hémisphériques

informations sensorielles de différents sites vont être reçues par le cortex moteur primaire et seront utilisées par l'aire prémotrice (M2) et l'aire motrice supplémentaire (AMS). Chacune de ces aires sont activées lorsque l'on exécute mentalement un geste et organise en amont les programmes moteurs nécessaires à l'exécution finale de la séquence motrice. Le rôle de ces aires agit différemment dans le contrôle moteur. Le M2 est impliqué dans la programmation des mouvements exécutés en réponse à une information visuelle (l'observation d'un guitariste exécutant une séquence motrice) et dans l'adaptation de la posture (positionnement des membres par rapport au manche). L'AMS est impliquée dans la coordination des mouvements nécessitant les deux mains.

Lorsqu'une nouvelle séquence de jeu est apprise, l'aire pré-supplémentaire connectée à l'AMS est plus active que celle-ci ainsi que le M2. Une fois que la séquence est pleinement apprise et automatique, l'activité de l'aire M2 diminue alors que l'AMS reste activée. Ces activations sont à mettre en relation avec les modèles cognitifs du mouvement. Ici ne sont illustrées que les grandes lignes du fonctionnement cortical, d'autres structures sont impliqués

comme le cervelet (copie d'efférence, coordination mouvement complexe, apprentissage) ou structures plus profondes comme les noyaux gris centraux (initiation du mouvement, motivation, maintien de l'action...). En d'autres termes, la vision localiste permet d'appréhender l'organisation motrice du système nerveux centrale mais celle-ci implique des réseaux neuronaux dynamiques complexes d'interactions pour lesquelles des études en imagerie (EEG, IRMf, MEG) permettent de mettre en lumière cette dynamique motrice.

### **L'effet de la pratique musicale sur l'activation corticale**

L'activité cérébrale diffère selon le niveau musical associé aux heures de pratiques. Une étude de Lotze et al (2003) montrait une activité plus intense et focal du cortex M1 droit (main gauche étudiée) des violonistes professionnels (30 heures de pratique par semaine, moyennant 30 ans d'expérience), alors que le groupe amateur (pratiquant 1h par semaine) montrait une activité plus diffuse et sur les deux hémisphères. Ce résultat peut être interprété en partie par une augmentation de la représentation corticale de la main (cf. figure 3 homonculus moteur) tout comme l'automatisation des mouvements.

Les deux hémisphères contrôlent chacune une partie du corps, l'hémisphère droit la partie gauche et inversement. Ces deux hémisphères communiquent via un grand nombre de fibres qui passe dans le corps calleux (figure 5). La pratique d'un instrument demande une habilité à contrôler les deux mains avec une haute dextérité. Par exemple, chez les pianistes la dextérité doit être symétrique pour les deux mains. L'épaisseur du sillon central (Figure 5) va représenter la dominance d'une main, droitier ou gaucher. Cette asymétrie de la profondeur du sillon centrale est moins importante chez les pianistes puisque la dextérité des deux mains est pratiquement équivalente (Amunts et al., 1997).

De la même manière, la question se pose sur un hypothétique changement structural du corps calleux chez les musiciens. Une étude a été menée pour comparer le corps calleux antérieur chez des musiciens et non musiciens entre 18-25 ans. Les résultats montrent que chez les musiciens la partie antérieure du corps calleux est plus importante (Lee et al., 2003; Schlaug et al., 1995) supposant une meilleure connectivité entre les aires motrices pouvant impliquer une meilleure coordination. Cet effet ne concerne que la population masculine par rapport à l'échantillon servant à l'étude.

Ces différentes études supposent une modification structurale des régions corticales imputée à la pratique d'un instrument. En effet, d'autres régions que le système moteur vont être modifiées par l'entraînement.

Cet article permet d'appréhender le fonctionnement du système moteur au travers de modèles cognitifs et des substrats anatomiques dédiés. Il ne s'agit que d'une petite partie pour mieux comprendre l'organisation corticale sensorimotrice du cerveau dans sa relation à la pratique d'un instrument. Le niveau développé de son instrument va dépendre du nombre d'heures que le musicien va accorder à la pratique. D'autres variables peuvent être prises en compte concernant la rapidité de la technicité. Il existe de nombreuses différences interindividuelles quant à la facilité d'apprentissage. De la même manière qu'il y a de nombreuses différences dans les stratégies mises en place par le musicien pour atteindre un certain niveau. A travers les modèles cognitifs de boucle, la vitesse à la guitare va dépendre non seulement de la mémorisation d'une séquence motrice mais aussi à la formation d'un cluster de mouvement permettant une rapidité d'exécution sans feedback durant le mouvement de par la vitesse d'exécution. Il existe une dépendance entre temps d'entraînement et objectif désiré. L'optimisation temporelle va dépendre de plusieurs facteurs qui ne sont pas mentionnés dans cet article, tels que les stratégies de mémorisation, la biomécanique, l'âge d'exposition à la musique, l'expertise rythmique et tonale etc... Il existe un large champ scientifique concernant ces facteurs sur lequel il serait intéressant de s'attarder pour mieux comprendre les mécanismes d'apprentissages et compétences développées induites par la pratique d'un instrument.

Clément AMIRI, Psychologue.

#### Bibliographie :

Amunts, K., Schlaug, G., Jäncke, L., Steinmetz, H., Schleicher, A., Dabringhaus, A., & Zilles, K.

(1997). Motor cortex and hand motor skills : Structural compliance in the human brain.

*Human Brain Mapping*, 5(3), 206-215. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0193\(1997\)5:3<206::AID-HBM5>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0193(1997)5:3<206::AID-HBM5>3.0.CO;2-7)

Lee, D. J., Chen, Y., & Schlaug, G. (2003). Corpus callosum : Musician and gender effects.

*NeuroReport: For Rapid Communication of Neuroscience Research*, 14(2), 205-209.

<https://doi.org/10.1097/00001756-200302100-00009>

Lotze, M., Scheler, G., Tan, H.-R. M., Braun, C., & Birbaumer, N. (2003). The musician's brain :  
Functional imaging of amateurs and professionals during performance and imagery.

*NeuroImage*, 20(3), 1817-1829. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.07.018>

Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., & Steinmetz, H. (1995). In vivo evidence of structural brain  
asymmetry in musicians. *Science (New York, N.Y.)*, 267(5198), 699-701.

<https://doi.org/10.1126/science.7839149>

Watson, A. H. D. (2006). What can studying musicians tell us about motor control of the hand?

*Journal of Anatomy*, 208(4), 527-542. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2006.00545.x>