

**TITRE DU PROJET : Apprentissage moteur par pratique physique et pratique mentale : des différences mécanistiques à la complémentarité fonctionnelle**

**1) Renseignements administratifs sur la direction de thèse<sup>1</sup> (1 page maximum) :**

**Directeur de thèse HDR :**

Nom : RUFFINO

Prénom : Célia

Section CNU : 74

Grade : MCF

HDR : Date de soutenance : 16/12/2025      Discipline : STAPS

Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) : 31 rue de l'Épitaphe, 25000 Besançon |  
celia.ruffino@umlp.fr | 06.36.87.17.08

Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) : Laboratoire EA 4660-C3S Culture, Sport, Santé, Société | Directeur : Pr VIVIER Christian

**2) Descriptif du projet de thèse (devra inclure les rubriques suivantes) :**

**Nom et label de l'unité de recherche** : Laboratoire EA 4660-C3S Culture, Sport, Santé, Société

**Localisation** : 31 rue de l'Épitaphe, 25000, Besançon

**Nom du directeur de thèse** : RUFFINO Célia

**Adresse courriel du contact scientifique** : celia.ruffino@umlp.fr

**Titre du projet** : Apprentissage moteur par pratique physique et pratique mentale : des différences mécanistiques à la complémentarité fonctionnelle

**Description du projet :**

L'apprentissage moteur est défini comme l'ensemble des processus associés à l'exercice ou à l'expérience conduisant à des modifications durables du comportement (Schmidt et al., 2018). Omniprésent tout au long de la vie, il permet d'acquérir, d'adapter et d'automatiser des gestes dans des contextes variés, qu'il s'agisse de la vie quotidienne, de la pratique sportive ou de la rééducation. Comprendre les processus sous-jacents à l'apprentissage est essentiel à l'optimisation des méthodes d'entraînement en favorisant à la fois l'acquisition, c'est-à-dire les gains immédiats observés lors de la pratique, et la consolidation, qui stabilise et renforce ces apprentissages dans le temps.

---

<sup>1</sup> **ATTENTION** : selon l'article 16 de l'arrêté du 25 mai 2016, le total d'encadrants ne peut pas dépasser 2, sauf si l'un des encadrants appartient au monde socio-économique, qui peut venir en sus, ou en cas de co-tutelle; Le décompte des co-encadrements se fera au prorata du nombre d'encadrants : 1 pour 1 encadrant, ½ pour deux encadrants.

Bien que la pratique physique (PP) demeure la méthode de référence pour améliorer durablement les performances motrices, d'autres approches ont émergé et présentent un potentiel prometteur. Celles-ci peuvent être envisagées soit comme un substitut à la PP lorsque le mouvement est impossible, par exemple lors d'une immobilisation, soit comme une méthode complémentaire permettant d'augmenter le volume de pratique sans accroître la fatigue physique. Parmi ces approches, la pratique mentale (PM), notamment à travers l'utilisation de l'imagerie motrice, définie comme la simulation mentale d'une action sans production concomitante de mouvement (Jeannerod, 2001), apparaît particulièrement intéressante.

De nombreuses études ont montré que la PM pouvait améliorer différentes dimensions de la performance, allant de la force (Grosprêtre et al., 2018) à la vitesse et à la précision des mouvements (Ruffino et al., 2022). Les bénéfices associés à la PM concernent également des performances sportives plus globales (Ladda et al., 2021), ainsi que le recouvrement de la fonction motrice dans un contexte de rééducation (Malouin et al., 2013). À l'instar de la PP, la PM induit également des modulations neurophysiologiques aux niveaux cortical, corticospinal et spinal (Ruffino et al., 2017), témoignant de l'engagement du système moteur lors de la simulation mentale. En effet, selon la théorie de la simulation motrice, l'exécution réelle d'un mouvement et l'imagerie de ce même mouvement reposent sur des représentations et des réseaux neuronaux en grande partie communs.

Pour autant, malgré des similitudes évidentes, nos récents travaux (Ruffino et al., 2021; Truong et al., 2022) réalisés à l'aide d'une tâche de tapotement séquentiel de doigts (*Finger Tapping Task, FTT*), ainsi que ceux de Debarnot et al. (2022) réalisés sur des tâches impliquant le corps entier, ont montré que la dynamique de l'apprentissage semble différer entre ces deux modalités de pratiques. En effet, si l'acquisition apparaît plus marquée après une PP, la consolidation serait quant à elle meilleure après une PM, conduisant in fine à des gains de performance comparables entre les deux modalités de pratique. Ces différences temporelles et fonctionnelles pourraient s'expliquer par une implication différente des systèmes déclaratifs et procéduraux au cours de ces apprentissages. Le système déclaratif permet de mémoriser explicitement l'ordre des éléments de la séquence, c'est-à-dire la connaissance consciente de la succession des mouvements à réaliser. Le système procédural correspond quant à lui à l'apprentissage progressif des habiletés motrices permettant d'exécuter la séquence de manière fluide, rapide et automatisée, avec une réduction du contrôle conscient. Dans les tâches de type *FTT*, où les participants doivent reproduire le plus rapidement et le plus précisément possible une séquence de mouvements des doigts sur un clavier d'ordinateur, ces deux systèmes sont simultanément engagés, ce qui est représentatif de nombreuses activités de la vie quotidienne nécessitant l'enchaînement coordonné de gestes.

Les différences observées entre PP et PM pourraient s'expliquer par une sollicitation différenciée des systèmes déclaratifs et procéduraux. Dans la PP, le système déclaratif tend à se désengager rapidement au profit du système procédural, plus automatique, favorisant une acquisition rapide mais parfois moins stable (Albouy et al., 2013). En revanche, la PM, notamment en raison de l'absence de mouvement effectif, reposerait davantage sur le système déclaratif, sollicitant principalement la représentation consciente de la séquence motrice. Cette dynamique pourrait se traduire par une acquisition initiale plus lente, mais par une consolidation plus efficace, potentiellement facilitée par le sommeil, comme cela a été montré pour des tâches à forte composante déclarative (Diekelmann and Born, 2010).

**Ainsi, l'objectif général de ce projet de thèse est de comprendre les différences mécanistiques entre PP et PM, afin de déterminer comment ces deux modalités peuvent être combinées de manière complémentaire pour optimiser l'apprentissage moteur.**

Sur cette base, le **premier objectif de ce travail de thèse** sera de déterminer si les systèmes sollicités diffèrent significativement entre PP et PM. La littérature utilise classiquement des tâches d'interférence pour perturber l'apprentissage sur une tâche de *FTT* (Albouy et al., 2016; Truong et al., 2024). Dans ce cadre, une *FTT* sera utilisée en comparant

un apprentissage physique et un apprentissage mental. La contribution des différents systèmes sera évaluée à l'aide de ces interférences, qui consistent soit à apprendre une nouvelle *FTT*, soit à réaliser un apprentissage purement déclaratif, par exemple la mémorisation d'une liste de mots. Ces manipulations permettront de déterminer quels systèmes, procédural ou déclaratif, sont réellement impliqués lors de chaque type de pratique.

Le **second objectif de cette thèse** sera d'étudier, au niveau neurophysiologique, les dynamiques de modulation des réseaux cortico-cérébraux entre les phases d'acquisition et de consolidation lors d'apprentissages physique et mental. Le cortex préfrontal dorsolatéral (CPFD), impliqué dans le maintien et le traitement des informations déclaratives, sera particulièrement étudié (Hawco et al., 2013). L'utilisation de techniques telles que l'électroencéphalographie ou la stimulation magnétique transcrânienne permettra de suivre le désengagement fonctionnel du CPFD sur le cortex moteur primaire (M1), reflétant la transition entre un contrôle déclaratif de la séquence et une exécution plus automatique des gestes.

Enfin, la compréhension fine des mécanismes propres à la PP et à la PM devrait, comme **objectif final de ce travail de thèse**, permettre de définir comment articuler ces deux modalités de manière complémentaire afin de favoriser au mieux l'acquisition et la consolidation des compétences motrices. Bien que des travaux récents suggèrent que la combinaison de ces deux pratiques puisse être plus efficace que lorsqu'elles sont utilisées séparément (Kraeutner et al., 2020), les conditions optimales de cette complémentarité, notamment l'ordre, la proportion et la durée des séances de PP et de PM, restent encore largement inconnues.

- Albouy G, King BR, Maquet P, Doyon J (2013) Hippocampus and striatum: Dynamics and interaction during acquisition and sleep-related motor sequence memory consolidation. *Hippocampus* 23:985–1004.
- Albouy G, King BR, Schmidt C, Desseilles M, Dang-Vu TT, Baletau E, Phillips C, Degueldre C, Orban P, Benali H, Peigneux P, Luxen A, Karni A, Doyon J, Maquet P, Korman M (2016) Cerebral Activity Associated with Transient Sleep-Facilitated Reduction in Motor Memory Vulnerability to Interference. *Sci Rep* 6:34948.
- Debarnot U, Metais A, Digonet G, Freitas E, Blache Y, Saimpont A (2022) Sleep dependent consolidation of gross motor sequence learning with motor imagery. *Psychology of Sport and Exercise* 61:102216.
- Diekelmann S, Born J (2010) The memory function of sleep. *Nat Rev Neurosci* 11:114–126.
- Grosprêtre S, Jacquet T, Lebon F, Papaxanthis C, Martin A (2018) Neural mechanisms of strength increase after one-week motor imagery training. *European Journal of Sport Science* 18:209–218.
- Hawco C, Berlím MT, Lepage M (2013) The dorsolateral prefrontal cortex plays a role in self-initiated elaborative cognitive processing during episodic memory encoding: rTMS evidence. *PLoS One* 8:e73789.
- Jeannerod M (2001) Neural Simulation of Action: A Unifying Mechanism for Motor Cognition. *NeuroImage* 14:S103–S109.
- Kraeutner SN, McArthur JL, Kraeutner PH, Westwood DA, Boe SG (2020) Leveraging the effector independent nature of motor imagery when it is paired with physical practice. *Sci Rep* 10:21335.
- Ladda AM, Lebon F, Lotze M (2021) Using motor imagery practice for improving motor performance – A review. *Brain and Cognition* 150:105705.
- Malouin F, Jackson PL, Richards CL (2013) Towards the integration of mental practice in rehabilitation programs. A critical review. *Front Hum Neurosci* 7 Available at: <https://www.frontiersin.org/journals/human-neuroscience/articles/10.3389/fnhum.2013.00576/full> [Accessed December 28, 2024].
- Ruffino C, Papaxanthis C, Lebon F (2017) Neural plasticity during motor learning with motor imagery practice: Review and perspectives. *Neuroscience* 341:61–78.
- Ruffino C, Rannaud Monany D, Papaxanthis C, Hilt PM, Gaveau J, Lebon F (2022) Smoothness Discriminates Physical from Motor Imagery Practice of Arm Reaching Movements. *Neuroscience* 483:24–31.
- Ruffino C, Truong C, Dupont W, Bouguila F, Michel C, Lebon F, Papaxanthis C (2021) Acquisition and consolidation processes following motor imagery practice. *Sci Rep* 11:2295.
- Schmidt RA, Lee TD, Winstein C, Wulf G, Zelaznik HN (2018) Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis. *Human Kinetics*.
- Truong C, Hilt PM, Bouguila F, Bove M, Lebon F, Papaxanthis C, Ruffino C (2022) Time-of-day effects on skill acquisition and consolidation after physical and mental practices. *Scientific Reports* 12.
- Truong C, Papaxanthis C, Ruffino C (2024) Unraveling the time-of-day influences on motor consolidation through the motor-declarative memory conflict. *Sci Rep* 14:22195.

### **Financement du projet – partie Recherche (montants acquis, type de contrat) :**

Aucun financement autre que le contrat doctoral n'est prévu pour la rémunération du doctorant. Le laboratoire d'accueil dispose de tout le matériel nécessaire à la réalisation du projet. Consommables, informatique, petit matériel, congrès : financements récurrents C3S.

### **Connaissances et compétences requises :**

Le candidat doit posséder des connaissances solides en apprentissage moteur, neurophysiologie et contrôle moteur, avec une formation en STAPS, neurosciences, psychologie ou disciplines proches. Une appétence pour la recherche fondamentale sur les mécanismes de l'apprentissage moteur est essentielle. Des compétences en conception expérimentale, analyse de données comportementales et interprétation scientifique sont attendues. Autonomie, rigueur et capacité à travailler en équipe multidisciplinaire seront des atouts importants.

**Résumé en français et anglais (limité chacun à 1800 caractères) :**

**Résumé en français**

L'apprentissage moteur, omniprésent tout au long de la vie, permet d'acquérir, d'adapter et d'automatiser des gestes dans des contextes variés, tels que la vie quotidienne, la pratique sportive ou la rééducation. Si la pratique physique (PP) reste la méthode de référence pour améliorer durablement les performances motrices, la pratique mentale (PM), notamment par l'imagerie motrice, peut également renforcer les performances en l'absence de mouvement réel. Elle constitue ainsi une approche prometteuse lorsque le geste est impossible, par exemple lors d'une immobilisation, ou pour augmenter le volume de pratique sans induire de fatigue physique supplémentaire. Malgré de nombreuses similitudes comportementales et neurophysiologiques entre PP et PM, des travaux récents suggèrent que leurs dynamiques d'apprentissage diffèrent : la PP favorise l'acquisition immédiate des performances, tandis que la PM optimiserait leur consolidation dans le temps. Ces différences pourraient refléter une implication distincte des systèmes déclaratifs (mémorisation consciente de l'ordre des gestes) et procéduraux (exécution fluide et automatisée des mouvements), deux systèmes impliqués dans de nombreuses activités motrices quotidiennes. L'objectif général de ce projet de thèse est de comprendre ces différences mécanistiques entre PP et PM afin de déterminer comment ces deux modalités de pratique peuvent être combinées de manière complémentaire pour maximiser l'apprentissage moteur. L'hypothèse d'une implication différenciée de ces systèmes sera explorée au niveau comportemental (*Objectif 1*) et neurophysiologique (*Objectif 2*), puis utilisée pour tester les conditions optimales de complémentarité entre PP et PM (*Objectif 3*).

**Résumé en anglais**

Motor learning enables individuals to acquire, adapt, and automate movements across a wide range of contexts, including everyday activities, sport practice, and rehabilitation. Although physical practice (PP) remains the gold standard for improving motor performance, mental practice (MP), such as motor imagery, can also enhance performance in the absence of overt movement. This approach is therefore particularly promising when movement execution is not possible, for example during immobilization, or as a way to increase practice volume without inducing additional physical fatigue. Despite numerous behavioral and neurophysiological similarities between PP and MP, recent studies suggest that their learning dynamics differ: PP tends to promote greater immediate performance improvements during acquisition, whereas MP may lead to stronger consolidation of performance over time. These differences may reflect the distinct involvement of declarative (which supports the conscious memorization of movement order) and procedural (which underlies the fluent and automated execution of movements) systems, both involved in many everyday motor activities. The overall objective of this project is to understand the mechanistic differences between PP and MP in order to determine how these two practice modalities can be combined in a complementary way to maximize motor learning. The hypothesis of a differential involvement of these systems across practice modalities will first

be investigated at the behavioral level (*Aim 1*) and at the neurophysiological level (*Aim 2*). The knowledge gained from these studies will then be used to identify the optimal conditions for combining PP and MP in order to enhance motor learning (*Aim 3*).

**Préciser le domaine de compétence dans la liste ci-dessous :**

2 choix possibles maximum –les intitulés sont ceux d’ABG),

Ex : vous ne pouvez pas sélectionner uniquement informatique lorsqu’il est indiqué informatique, électronique :

- **Psychologie, neurosciences**

**Indiquez quelques mots clés concernant votre sujet) :**

Apprentissage moteur, pratique physique, pratique mentale, mémoire déclarative et procédurale, neurophysiologie