



Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et Réadaptation
Pays de la Loire.

54, rue de la Baugerie - 44230 SAINT- SÉBASTIEN SUR LOIRE

**Évaluation de l'évolution de la sensorimotricité chez les
étudiants et les diplômés en masso-kinésithérapie grâce à un
test de reconnaissance de latéralité :
une étude transversale**

Lise THOMAS

Mémoire UE28

Semestre 10

Année scolaire : 2023-2024

RÉGION DES PAYS DE LA LOIRE



AVERTISSEMENT

Les mémoires des étudiants de l'Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et de la Réadaptation sont réalisés au cours de la dernière année de formation MK.

Ils réclament une lecture critique. Les opinions exprimées n'engagent que les auteurs. Ces travaux ne peuvent faire l'objet d'une publication, en tout ou partie, sans l'accord des auteurs et de l'IFM3R.

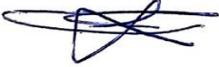
Engagement de Non Plagiat

Je, soussigné (e)

THOMAS Lise, déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Fait à Nantes

Le 23/04/2024

Signature :	
-------------	--

Remerciements

Je souhaite remercier toutes les personnes qui m'ont soutenue au cours de ces dernières années.

Tout d'abord, j'aimerais remercier spécifiquement mon directeur de mémoire qui m'a suivie, aidée, guidée et conseillée tout au long de la mise en place de ce projet. Je souhaiterais aussi m'adresser au kinésithérapeute qui a participé à la collecte des données lors de la réalisation des tests au cours de ce mémoire et le remercier pour cette contribution.

Je remercie la direction de l'institut de formation pour la diffusion des informations concernant le recrutement des participants.

Ces remerciements sont aussi destinés à tous les volontaires, étudiants et diplômés qui ont accepté de participer à l'étude et de passer les tests.

J'aimerais exprimer ma grande reconnaissance envers mes parents qui m'ont poussée et qui m'ont permis d'en arriver là. Je les remercie pour leur patience et pour leurs encouragements depuis le commencement de mes études.

Enfin, j'adresse spécialement ces remerciements aux membres de ma famille et à mes amis sur lesquels je peux compter, qui ont toujours répondu présents. Je les remercie pour tous ces moments partagés et réconfortants qui ont concourus à l'élargissement de mon épanouissement tout au long de mes années d'études.

Résumé

Le système sensorimoteur évolue en fonction des activités sportives ou professionnelles pratiquées (1–3). Des données manquent sur l'évolution estudiantine et professionnelle des kinésithérapeutes à ce sujet. Un mémoire précédent s'y est intéressé grâce à l'évolution des capacités d'imagerie motrice (IM) explicite (4). Nous avons souhaité poursuivre ces investigations avec l'IM implicite. Un travail décrivant la méthode avait fait l'objet d'un mémoire en 2023 (5).

L'objectif de l'étude est d'évaluer l'évolution de la sensorimotricité chez les étudiants et les diplômés en masso-kinésithérapie.

Méthode : Après l'obtention des obligations réglementaires, nous avons mené une étude transversale. Les sujets devaient résoudre une tâche de rotation mentale (RM) de segments corporels. Nous avons comparé les temps de réponse (TR) entre les groupes d'étudiants en première année d'école de masso-kinésithérapie (K2), en dernière année (K5) et les diplômés (DE). Des tests de régression linéaire et de comparaison Post Hoc ont été réalisés pour les images de pieds et de mains.

Les résultats n'ont montré aucune différence significative entre les K2 et les DE. Les K5 ont été significativement plus rapides que les K2.

Conclusion : Ces résultats suggèrent qu'il y a une amélioration de la sensorimotricité seulement au cours de la formation. Pourtant, l'étude de Gallimard et al. sur le même sujet mais avec l'utilisation de l'IM explicite a montré une évolution entre les étudiants et les diplômés (4). En comparant ces deux études, nous suggérons qu'il y a une évolution de la sensorimotricité différente pendant les études et après l'obtention du diplôme (4).

Mots clés :

- Apprentissage
- Imagerie motrice
- Masso-kinésithérapie
- Rotation mentale
- Sensorimotricité

Abstract

Sensorimotor system progress throughout the whole life according to sports or professional activities practiced (1–3). There is a lack of data on the student and professional evolution of the physiotherapist's sensorimotricity. A previous study investigated this through the evolution of explicit motor imagery abilities (4). We wanted to continue these investigations using implicit motor imagery. A study describing the method was published in 2023 (5).

The aim of this study is to assess the sensorimotricity progress among physiotherapy students and graduates.

Method : We got regulatory obligation and we conducted a cross-sectional study. Subjects had to solve a mental rotation task of body segments. We compared the response time to a mental rotation test between first-year students (K2), final-year students (K5) and graduates in physiotherapy (DE). Linear regression and Post Hoc comparison tests were performed for images of feet and hands.

The results showed no significant difference between K2 and DE. The K5 were significantly faster than the K2.

Conclusion : This results suggest that there is an improvement of sensorimotricity during studies but not after graduation. However, in her study about the assessment of sensorimotricity evolution among physiotherapy students and graduates through explicit motor imagery, Gallimard showed there is an improvement of sensorimotricity between students and graduates (4). By combining these two studies, we suggest that there is an improvement of sensorimotricity that is different during study and after graduation (4).

Keywords :

- Sensorimotricity
- Motor imagery
- Physiotherapy
- Mental rotation
- Learning

Liste des abréviations

AVC : Accident Vasculaire Cérébral

CM : Cours Magistraux

DE : Diplômé d'Etat en masso-kinésithérapie

IFMK : Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie

IFM3R : Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et de la Réadaptation

IM : Imagerie Motrice

K2 : Etudiant en première année d'école de masso-kinésithérapie

K5 : Etudiant en dernière année d'étude de masso-kinésithérapie

LAS : Licence avec option Accès Santé

MK : Masseur-Kinésithérapeute / Masso-Kinésithérapie

PACES : Première Année Commune aux Etudes de Santé

PASS : Parcours d'Accès Spécifique Santé

RM : Rotation Mentale

STAPS : Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives

UE : Unité d'Enseignement

TD : Travaux Dirigés

TR : Temps de Réponse

Sommaire

1. Introduction	1
2. Cadre conceptuel.....	2
2.1. Les études en masso-kinésithérapie.....	2
2.1.1. L'accès aux écoles de masso-kinésithérapie	2
2.1.2. Les compétences requises	2
2.1.3. Le programme de formation	3
2.2. La sensorimotricité	4
2.2.1. Définition.....	4
2.2.2. Apprentissage moteur et évolution de la sensorimotricité	5
2.2.3. Evaluation de la sensorimotricité et Proprioception	8
2.3. Imagerie motrice	9
2.3.1. Définition.....	9
2.3.2. Imagerie motrice explicite	10
2.3.3. Imagerie motrice implicite	13
2.3.4. Différences entre imagerie motrice implicite et explicite	19
3. Problématisation et hypothèses.....	20
4. Méthode.....	21
4.1. Recrutement et population.....	21
4.2. Description et déroulement des tests	22
4.3. Critères d'évaluation	24
4.4. Plan d'analyse statistique	24
5. Résultats.....	25
5.1. Description de la population	25
5.2. La rotation mentale des images de mains	26
5.3. La rotation mentale des images de pieds	27
6. Discussion.....	28
6.1. Interprétation des résultats	28
6.1.1. Confrontation de nos résultats à des études chez les chiropracticiens.....	29
6.1.2. Confrontation de nos résultats à une étude qui utilise l'imagerie motrice explicite	30
6.2. Limites, biais et difficultés de l'étude	33
6.3. Axe d'amélioration et perspectives de l'étude	34
6.4. Perspectives personnelles.....	36
7. Conclusion	37

Références bibliographiques et autres sources

Annexes 1 à 2	I à III
----------------------------	----------------

1. Introduction

L'imagerie motrice (IM) est connue pour ses effets bénéfiques dans la rééducation. Par exemple, dans leur revue de la littérature, Villa-Berges et al. ont montré que l'imagerie motrice associée à la thérapie conventionnelle pourrait être efficace pour la récupération de la fonction motrice du membre supérieur chez les patients ayant subi un accident vasculaire cérébral (AVC) (6). En revanche, utiliser l'IM pour évaluer le système sensorimoteur est une notion moins répandue et assez récente. Ainsi, il nous semblait intéressant de développer nos connaissances à ce sujet.

Le terme d'action « *sensori-motrice* » est utilisé dans la psychologie du développement de Jean Piaget (7). L'auteur explique que ces actions, réalisées par l'enfant provoquent une « *interaction* » entre lui-même et les objets qui l'entourent. Cela lui permet de différencier sa propre personne du monde et de son environnement (7). Au fur et à mesure de son apprentissage, l'enfant enregistrera ces actions « *sensori-motrices* » et sera capable de les réguler (7). Le système sensorimoteur évolue ainsi tout au long de la vie en fonction des activités pratiquées. Par exemple, Martínez-Amat et al. ont évalué l'effet d'un programme d'entraînement proprioceptif sur la stabilité posturale, la démarche et l'équilibre chez les adultes de plus de 65 ans (1). Les résultats ont montré que cet entraînement chez les personnes âgées permettrait une amélioration de la démarche et de l'équilibre (1). La pratique de la kinésithérapie est aussi une activité spécifique. Ainsi, ce mémoire porte sur l'évolution de la sensorimotricité chez les étudiants et les diplômés en masso-kinésithérapie.

La première étape sera de définir toutes les notions nécessaires à l'élaboration d'une problématique constructive. Nous décrirons les études en masso-kinésithérapie, la sensorimotricité et nous détaillerons les différents types d'imagerie motrice. Suite à la description du protocole guidé par celui écrit par Maxence Brodu sur le même sujet, nous exposerons les résultats (5). Ensuite, une interprétation de ces derniers seront exposés et nous les comparerons notamment à une étude proche, l'étude de Gallimard et al. qui a utilisé un questionnaire pour évaluer les capacités d'imagerie motrice explicite (4,8). Enfin, les limites et les biais de l'étude seront identifiés.

2. Cadre conceptuel

2.1. Les études en masso-kinésithérapie

2.1.1. L'accès aux écoles de masso-kinésithérapie

Les voies d'entrée dans les écoles de masso-kinésithérapie ont beaucoup évolué et sont très variées. Ces filières demandent plus ou moins de pratiquer une activité sportive. A partir de 1968, un concours d'entrée était nécessaire pour y être accepté (9). Depuis la réforme relative aux études de santé de 2020, l'accès aux écoles de masso-kinésithérapie a changé (10). En effet, le concours de la première année commune aux études de santé (PACES) présent depuis 2010 a laissé place à d'autres voies : la Licence avec option accès santé (LAS) ou un Parcours d'accès spécifique santé (PASS) (10–12). Ces PASS ou LAS sont composés de deux disciplines : la santé et un autre domaine (10,12). Il existe aussi depuis l'arrêté du 2 septembre 2015 des conditions particulières d'entrée dans une école de masso-kinésithérapie (13,14). Elles sont nommées « passerelles ». Les personnes dans cette situation doivent détenir des diplômes précis dans le domaine de la santé (par exemple le diplôme d'infirmier, d'ergothérapeute, de psychomotricien), ou avoir une licence dans le domaine des sciences, technologies et santé. Les titulaires de licences « sciences et techniques des activités physiques et sportives » (STAPS) sont particulièrement présents (13,14). De plus, il existe aussi des conditions d'accès particulières pour les sportifs de haut niveau (14,15). Toutes ces filières sont donc très différentes. Les étudiants qui viennent de STAPS, LASS/PASS STAPS ou ceux qui sont sportifs de haut niveau ont pratiqué beaucoup d'activité physique avant d'entrer en masso-kinésithérapie.

2.1.2. Les compétences requises

Le masseur-kinésithérapeute est un professionnel de santé qui utilise des techniques variées et adaptées pour contribuer à la rééducation des patients ayant des troubles de la motricité ou des limitations de leurs capacités fonctionnelles (16). D'après le Décret n°2015-1110 du 2 septembre 2015 relatif au diplôme d'Etat de masseur-kinésithérapeute, onze compétences sont à acquérir (17).

« 1. Analyser et évaluer sur le plan kinésithérapique une personne, sa situation et élaborer un diagnostic kinésithérapique

2. Concevoir et conduire un projet thérapeutique en masso-kinésithérapie, adapté au patient et à sa situation

3. *Concevoir et conduire une démarche de promotion de la santé, d'éducation thérapeutique, de prévention et de dépistage*
4. *Concevoir, mettre en œuvre et évaluer une séance de masso-kinésithérapie*
5. *Établir et entretenir une relation et une communication dans un contexte d'intervention en masso-kinésithérapie*
6. *Concevoir et mettre en œuvre une prestation de conseil et d'expertise dans le champ de la masso-kinésithérapie*
7. *Analyser, évaluer et faire évoluer sa pratique professionnelle*
8. *Rechercher, traiter et analyser des données professionnelles et scientifiques*
9. *Gérer ou organiser une structure individuelle ou collective en optimisant les ressources*
10. *Organiser les activités et coopérer avec les différents acteurs*
11. *Informers et former les professionnels et les personnes en formation ».*

Aujourd'hui, cinq années d'enseignement supérieur sont nécessaires pour acquérir ces compétences et exercer ce métier (18). En effet, depuis la réforme de 2020, il faut faire au moins un an d'université (LAS ou PASS) avant de pouvoir entrer dans un Institut de Formation en masso-kinésithérapie (IFMK) (10,12). Ensuite, la formation dure quatre ans au sein de l'IFMK (18).

2.1.3. Le programme de formation

Ces quatre années sont réparties sur deux cycles de deux ans au cours desquelles nous retrouvons à la fois des cours théoriques et des stages pratiques (19). Tout au long de ce parcours, les étudiants doivent valider des Unités d'enseignements (UE) qui leur permettent d'obtenir des crédits ECTS nécessaires à l'obtention du diplôme. Ainsi, chaque semestre vaut 60 crédits ECTS, il en faut donc 300 en totalité (60 la première année et 240 à l'IFMK) (20).

Les UE du premier cycle correspondent notamment à l'apprentissage de la partie théorique de la profession ainsi que de ses gestes et techniques fondamentales (21,22). Des notions telles que l'anatomie, la physiologie, les sciences biomédicales et les sciences humaines y sont fortement abordées et seront nécessaires aux développements du raisonnement clinique (21,22). Le second cycle se rapporte alors à l'approfondissement des

connaissances pour que l'étudiant soit en mesure de proposer une prise en soins réfléchie et adaptée aux patients. Le développement de l'analyse et de l'amélioration de la pratique professionnelle est très important et est associé à des démarches de recherches (21,22). Les UE spécifiques de chaque année sont précisées dans l'Annexe III de l'arrêté du 2 septembre 2015 relatif au diplôme d'État de masseur-kinésithérapeute (*Annexe 1*) (21).

La formation de masso-kinésithérapie accorde une place très importante à la pratique (21,22). En effet, en parallèle des cours magistraux (CM), les travaux pratiques, les travaux dirigés (TD) et les stages sont nécessaires à l'apprentissage de la kinésithérapie (21). Les travaux pratiques sont primordiaux pour s'entraîner et pour assimiler les différentes techniques d'évaluation et de prise en charge en rééducation. Les stages permettent ensuite aux étudiants de mettre en pratique, dans des situations réelles, les techniques et les notions apprises. Ainsi, sept stages sont répartis au cours des quatre années de formations au sein de l'IFMK (21) :

- 1ère année : un stage de 2 ou 3 semaines puis un stage de 3 ou 4 semaines
- 2ème année : 2 stages de 6 semaines chacun
- 3ème année : 2 stages de 6 semaines chacun
- 4ème année : Clinicat de 12 semaines

D'après l'Arrêté du 2 septembre 2015 relatif au diplôme d'État de masseur-kinésithérapeute, durant les deux cycles, nous retrouvons donc 1 470 heures de stage et 1 085 heures de TD (*Annexe 1*) (21). D'autre part, les élèves ont aussi 3 220 heures de Temps personnels où ils doivent revoir la théorie et s'entraîner à pratiquer. En revanche, seulement 895 heures sont accordées au CM (*Annexe 1*) (17).

2.2. La sensorimotricité

2.2.1. Définition

Selon Asan et al., pour produire un mouvement approprié, il faudrait que l'activité des neurones des systèmes sensoriels et moteurs soit liée (23). Ainsi, ils se sont aidés des études de Wolpert et al. pour définir l'intégration sensorimotrice comme étant « *le processus d'incorporation des sensations relatives au corps et à l'environnement externe pour façonner le mouvement* » (23,24).

Dès lors, trois grands processus sont établis pour réaliser un mouvement : la réception des informations grâce aux entrées sensorielles permises par les récepteurs ; l'intégration de ces informations grâce à des mécanismes de traitement cérébraux ; la réponse/le mouvement grâce aux effecteurs musculaires (25). Selon Vercher et Bourdin, les récepteurs périphériques peuvent capter des informations sensorielles qui peuvent être otolithiques, vestibulaires, proprioceptives, tactiles, auditives et visuelles (26).

2.2.2. Apprentissage moteur et évolution de la sensorimotricité

Selon Jeannerod, l'apprentissage d'une action commencerait avant même de réaliser un mouvement. Il y aurait d'abord une étape d'activation inconsciente du système moteur qui correspondrait à des phases cognitives d'observation, d'imagination et d'intention de l'action en question (27). Cela permettrait de s'adapter à l'environnement et d'apporter des informations sur les répercussions que pourrait avoir ce mouvement sur le corps et sur le monde (27).

Paillard a décrit des mécanismes de contrôle proactif et rétroactif permettant le développement moteur grâce à des répétitions de mouvement (28). Ainsi, Jover et Assiante interprètent les mécanismes de contrôle proactif décrit par Paillard comme correspondant à des anticipations à partir d'expériences gardées en mémoire (28,29). C'est-à-dire qu'au cours de son apprentissage, pour chaque tentative d'action, l'individu aura identifié et mémorisé les erreurs qu'il a commises lors de ces précédents mouvements. Cela lui aura permis de se forger des représentations sensorimotrices. Ces représentations, ainsi construites, de son corps en mouvement et de son environnement lui permettront de mieux anticiper et planifier les essais suivants (28,29).

Les mécanismes de contrôle rétroactif de Paillard correspondraient à une réception d'informations sensorielles captée directement au cours de l'action (28,30). Ces données recueillies permettraient d'envisager les répercussions du mouvement et de l'ajuster spontanément en s'adaptant aux contraintes et en corrigeant les erreurs (28,30). Ce processus favoriserait aussi l'évolution des capacités motrices. Ainsi, les liens entre les systèmes sensoriels et moteurs seraient primordiaux pour obtenir des gestes précis et

adaptés et pour apprendre de nouveaux mouvements. D'autres modèles décrits par Lebon et al., comme les modèles internes inverses et directs/prédictifs expliquent aussi l'importance de cette relation pour construire un mouvement approprié (fig. 1) (31).

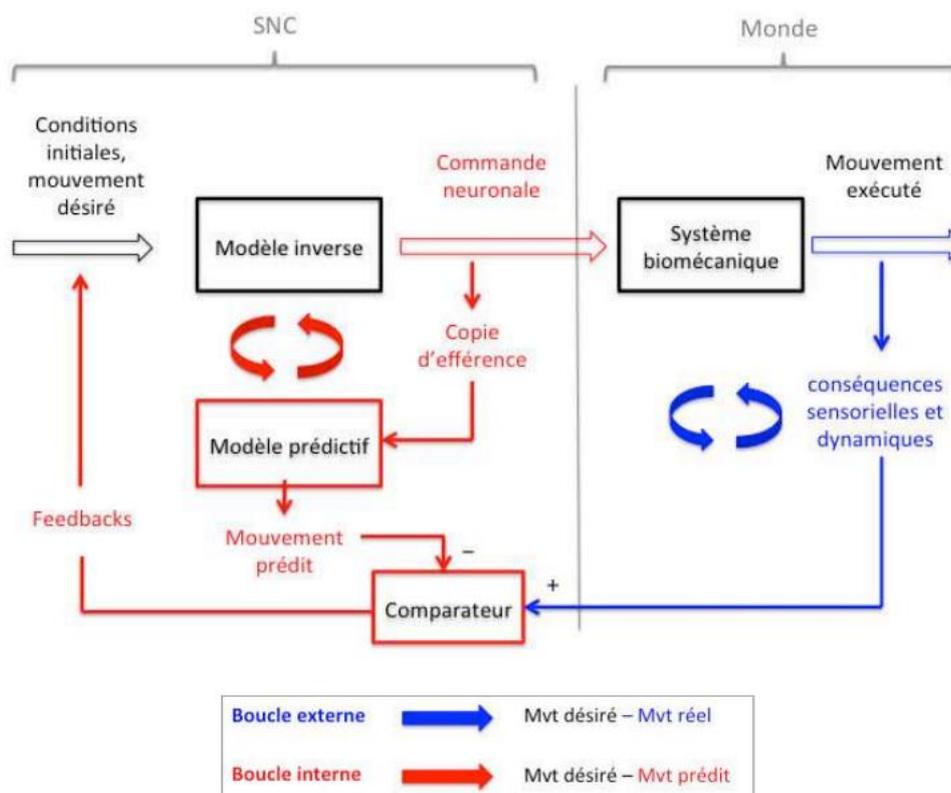


Figure 1 : Illustration schématique du fonctionnement des modèles internes au cours d'un mouvement - *Extrait de Lebon et al (2013)*

Le modèle interne inverse va établir une commande motrice à partir de l'action souhaitée ainsi que de la situation corporelle et environnementale présente (comme la position et la vitesse du corps par rapport à ce qui l'entoure) (31). C'est-à-dire que ce sont les entrées correspondant aux caractéristiques physiques et environnementales en lien avec l'intention du mouvement qui se traduisent par une approximation de la commande motrice (25,31,32). Par exemple, pour attraper un objet, le modèle interne va assimiler en entrée la position ainsi que la vitesse présente à un instant donné et la trajectoire de la main prévue pour pouvoir construire une commande motrice adaptée et produire le mouvement du bras désiré (31,32). Dans leur étude, Shadmehr et al. ont observé la trajectoire des bras de participants pour atteindre une cible (33). Durant cette étude, les sujets étaient soumis à un champs de force perturbateur (33). Les auteurs ont observé que les trajectoires n'étaient pas

bien définies dans les premiers essais et des erreurs ont été mises en évidence (33). Après plusieurs répétitions, les trajectoires sont redevenues de plus en plus précises et normales (33). Cet effet pourrait être expliqué par le modèle inverse qui s'adapterait aux nouvelles conditions pour estimer la commande motrice appropriée (31–33). Cependant, plusieurs répétitions seraient nécessaires pour que ce modèle puisse assimiler le nouvel environnement et ajuster la commande motrice (31–33).

Ensuite, le modèle interne prédictif défini par Lebon permet au système nerveux de deviner et d'anticiper les répercussions sensorielles et motrices d'un mouvement (31,32). Il est divisé en deux parties : dynamique et sensoriel. Le modèle direct dynamique devine les événements futurs (postures, vitesses) grâce à une copie de la commande motrice prévue par le modèle inverse (31,32). Ensuite, en recevant les données du modèle dynamique, le modèle direct sensoriel devine les répercussions sensorielles futures (31,32).

Pouvoir prédire et anticiper les répercussions d'un mouvement grâce au modèle prédictif permettrait une construction d'une commande motrice plus appropriée. Dans leur étude, Flanagan et al. ont montré que les personnes peuvent apprendre grâce aux modèles internes à deviner les répercussions de leurs actions avant de pouvoir établir la commande motrice idéale (34). Ainsi, les modèles internes auraient un rôle important dans l'apprentissage d'un geste nouveau ainsi que dans l'adaptation et la planification du mouvement en fonction de la situation et de l'environnement. Les répétitions de mouvements seraient primordiales pour obtenir une commande motrice et des actions liées aux conditions du milieu. Les activités pratiquées et les entraînements spécifiques pourraient donc influencer l'évolution des performances motrices et de la sensorimotricité.

En effet, Tseng et al. ont étudié l'effet de l'entraînement au piano sur les fonctions sensorielles et motrices (2). Les résultats ont montré que les enfants qui jouent régulièrement du piano auraient de meilleures capacités proprioceptives ainsi que des capacités de motricités fines plus élevées que ceux qui n'en jouaient pas (2). En outre, Blanchet et Prince ont étudié le contrôle postural des adolescents pratiquant ou non des sports de combats (comme le karaté ou le taekwondo) dans différentes conditions sensorielles (yeux ouverts, yeux fermés, yeux fermés sur un plan instable) (3). Les résultats

suggèrent que l'entraînement au sport de combat améliore le « *contrôle de l'équilibre latéral et l'intégration proprioceptive* » (3). Dans leur étude, Vuillerme et al. ont comparé la capacité des professionnels en gymnastiques et des professionnels en d'autres sports à tenir debout dans la condition de vision ou de non-vision (35). Contrairement aux autres, les gymnastes avaient la capacité d'utiliser rapidement les informations proprioceptives pour diminuer leurs déplacements (35). Cela a montré qu'un entraînement régulier et spécifique permet d'augmenter l'efficacité des mécanismes d'intégration des informations sensorielles (35). De plus, Dane et al. ont évalué l'acuité tactile des étudiants en chiropractie grâce au test de discrimination à deux points au niveau de l'index (36). Ils ont montré que les étudiants d'années supérieures avaient de meilleurs résultats que les étudiants de première année (36). Les auteurs ont donc supposé que la répétition des techniques manuelles de chiropractie a permis l'amélioration de la sensibilité des étudiants dans ce domaine (36).

Au contraire, Ikeda et al. ont étudié les répercussions de l'inactivité physique des membres inférieurs et de la réduction des mouvements sur le contrôle postural statique après le retrait du plâtre chez les jeunes en bonne santé (37). Leurs résultats ont montré que dix heures de restriction unilatérale des mouvements des membres inférieurs induit une instabilité et une asymétrie du contrôle postural (37).

L'évolution des performances motrices et de la sensorimotricité en fonction de l'activité ou de l'inactivité physique est aussi liée à la notion de plasticité cérébrale. Ce concept est donc nécessaire pour l'apprentissage moteur. Par exemple, Tyc et al. montrent l'effet de la plasticité cérébrale suite à l'entraînement (38). Ainsi, ils ont étudié l'effet d'une activité sportive comme le volley sur la représentation du cortex moteur de certains muscles (deltoïde et extenseur radial) (38). Leurs résultats ont montré qu'un entraînement spécifique à un domaine pouvait induire un élargissement et une réorganisation de la représentation de certains muscles dans le cortex moteur primaire (38).

2.2.3. Evaluation de la sensorimotricité et Proprioception

Dans une revue systématique de la littérature, Horváth et al. cherchent à identifier les méthodes pour évaluer ce qu'ils appellent « *la précision proprioceptive* » (39). La proprioception serait la faculté de discerner les informations concernant l'état de l'appareil

locomoteur notamment grâce à différents types de mécanorécepteurs (comme les corpuscules de Pacinian, Ruffini, Merkel, Meissner) (39). Par exemple, les fuseaux musculaires renseignent sur la longueur ou la vitesse d'étirement musculaire, les organes tendineux de Golgi informent sur la tension et sur la force de contraction. D'autres types de récepteurs retrouvés dans la peau, dans les ligaments et dans les capsules articulaires participent aussi à percevoir l'état dans lequel se trouve l'appareil locomoteur (39).

Dans une étude, Han et al. ont montré qu'une bonne capacité proprioceptive était liée à la performance des sportifs de hauts niveaux et que l'amélioration de la proprioception était en accord avec l'entraînement spécifique (40). Puisque les performances motrices sont liées à une bonne perception de l'état de l'appareil locomoteur, la proprioception semble être un moyen d'évaluer le fonctionnement sensorimoteur (39,40).

Ressentir la position « *statique* » dans lequel le membre se trouve correspond à la statesthésie (41). La kinesthésie se rapporte à la perception du « *déplacement* » des segments de membres (41). Ces notions sont utilisées pour évaluer la proprioception. Outre la proprioception, certains types d'imagerie motrice permettent d'évaluer la sensorimotricité.

2.3. Imagerie motrice

2.3.1. Définition

Une image mentale correspond à une représentation de quelque chose grâce à des informations sensorielles (auditives, visuelles, olfactives, proprioceptives) gardées en mémoire mais sans stimuli en temps réel de l'environnement (42,43).

L'imagerie motrice (IM) est incluse dans l'imagerie mentale. Elle peut être définie comme le fait de « *s'imaginer une action sans l'exécuter physiquement* » (44,45). Lorsqu'un sujet décide consciemment de s'imaginer cette action, c'est de l'imagerie motrice explicite (46). En revanche, c'est de l'imagerie motrice implicite lorsque le sujet n'a pas conscience qu'il s'imagine bouger, c'est un processus inconscient (46).

2.3.2. Imagerie motrice explicite

2.3.2.1. Généralités

Selon Jeannerod, il y aurait une « *phase cachée* » de l'action qui correspond à l'intention, l'imagination de celle-ci avant qu'elle soit réalisée (27). Il décrit alors la « *théorie de la simulation* » selon laquelle « les actions cachées » et les actions exécutées auraient des similitudes/des ressemblances avec comme principale différence l'exécution physique de cette action (27,44). Ce processus de simulation permettrait donc d'affiner le système moteur interne pour lui permettre de s'entraîner à estimer l'action et à l'adapter au mieux à l'environnement (27,44).

Ainsi, des études ont mis en avant des similarités fonctionnelles et structurelles entre action imaginée et action exécutée. La « *similarité fonctionnelle* » peut être mise en évidence par des tests de chronométrie mentale, c'est-à-dire qu'il y aurait une concordance entre le temps de réalisation d'une pratique physique et d'une pratique mentale (47). Par exemple, Decety et Michel ont comparé les temps nécessaires pour réaliser des mouvements graphiques exécutés réellement ou mentalement (48). Ils ont trouvé que les temps de mouvements mentaux et réels étaient très proches (48).

Par ailleurs, la similarité fonctionnelle est démontrée par l'activation du système nerveux autonome (cardio-respiratoire) lors d'une pratique physique ou d'une pratique mentale (47). Decety et al. ont étudié l'activité cardiaque et respiratoire au cours d'un déplacement imaginé et réel (49). Les résultats ont montré que la fréquence cardiaque et la ventilation pulmonaire augmentent pendant l'imagerie mentale du déplacement, proportionnellement à la vitesse de marche imaginée (49). Ainsi, les auteurs suggèrent qu'il y aurait des similarités entre l'IM et la pratique physique au niveau des mécanismes cérébraux qui permettent « *la programmation du mouvement* » (49). Ces structures centrales anticiperaient les besoins énergétiques nécessaires au mouvement planifié, comme si les activités mentales allaient réellement être exécutées. Cela permettrait à l'organisme de se préparer à l'action (47,49).

D'autre part, la mesure de l'activité cérébrale montre qu'il existe une activation de structures neuronales commune entre l'imagerie motrice et la pratique physique, cela

correspond à la « *similarité structurale* » (47). Stippich et al. ont comparé l'organisation du cortex sensorimoteur pendant l'imagerie motrice et l'exécution motrice (50). Les résultats ont suggéré que le cortex sensorimoteur primaire était actif pendant l'imagerie et l'exécution motrice (notamment le gyrus précentral). De même, Gerardin et al. se sont intéressés à l'implication de réseaux cérébraux lors de l'imagerie motrice et de l'exécution motrice de mouvements de la main (51). Ils ont montré que certains réseaux sont activés dans les deux situations comme les zones pariétales bilatérales, les noyaux gris centraux et le cervelet (51).

Ces similitudes structurales et fonctionnelles entre l'imagerie motrice explicite et le mouvement réalisé physiquement pourraient expliquer l'amélioration de la performance motrice suite à l'utilisation d'imagerie motrice (47). De même, selon Lebon et al, les modèles internes inverses et prédictifs décrits lors d'un mouvement réel seraient actifs lors de l'imagerie motrice mais avec une inhibition de la commande motrice générée (fig. 2) (31).

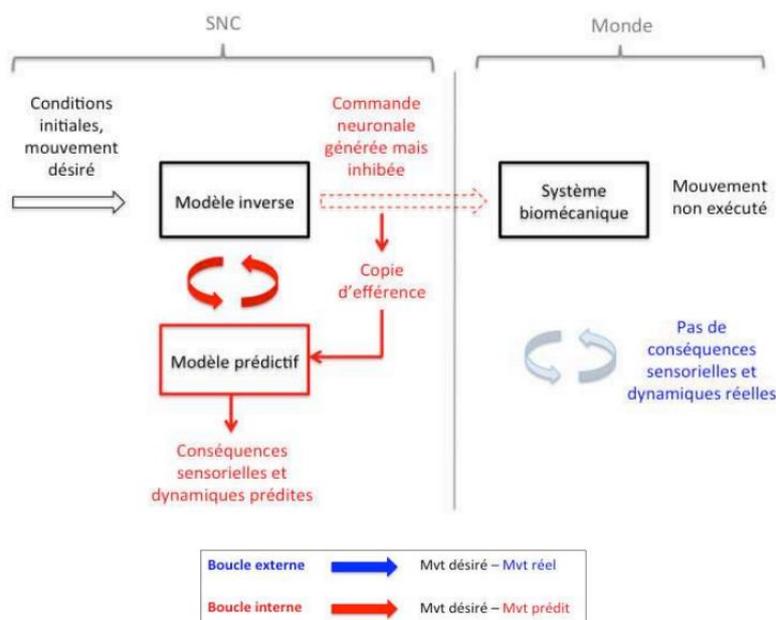


Figure 2 : Illustration schématique du fonctionnement des modèles internes au cours de l'imagerie motrice - *Extrait de Lebon et al (2013)*

Guillot et al. ont étudié les effets de l'imagerie motrice (IM) pendant des séances d'entraînement de tennis sur la performance des joueurs (52). La précision de la frappe et la vitesse de la balle ont été évaluées (52). L'une des séances comprenait des exercices

d'imagerie motrice pendant les phases de récupération, tandis que la condition contrôle comprenait des encouragements verbaux (52). Les résultats ont montré que l'intégration de l'IM aux séances d'entraînement a permis de développer la condition physique et de préserver la performance des coups (52). De plus, Allami et al. ont mesuré le temps de mouvements mis par les participants pour attraper un objet et l'insérer dans une fente avant et après entraînement (53). Ils ont comparé les temps utilisés par le groupe de personnes qui se sont entraînés uniquement en réalisant le mouvement physiquement et par les autres groupes qui se sont entraînés à la fois à imaginer le mouvement et à l'exécuter physiquement dans différentes proportions (53). Les résultats ont montré que la performance était meilleure lorsque la pratique physique était associée avec la pratique mentale avec un taux de pratique mentale élevée par rapport à la pratique physique seule (53). Ainsi, les auteurs suggèrent que la répétition mentale pourrait être bénéfique pour l'apprentissage moteur (53).

Différentes modalités peuvent influencer l'efficacité des pratiques de l'imagerie (54). On parle d'imagerie visuelle lorsqu'une personne s'imagine « voir un objet, une action ou une scène » (54). L'imagerie proprioceptive/kinesthésique correspond à une imagerie au cours de laquelle l'individu se représente les sensations dues à une action imaginée (54). Stinear et al., ont étudié les modifications de l'excitabilité du cortex moteur entre ces deux types de stratégies d'imagerie motrice lors de l'imagination de mouvement du pouce (55). Les résultats ont montré que l'utilisation d'une stratégie kinesthésique aurait plus d'impact sur l'excitabilité du cortex moteur que la stratégie visuelle (55).

Il existe aussi des perspectives différentes notamment pour la modalité visuelle. La perspective externe signifie que la personne s'observe ou observe quelqu'un faire quelque chose, c'est à la troisième personne (54). En revanche, la perspective interne signifie que la personne voit les modifications que provoquent ses propres mouvements imaginés (54).

Bien que l'imagerie mentale semble améliorer les performances motrices, il est nécessaire que les personnes qui l'utilisent aient de bonnes capacités d'imageries motrices. En effet, Ryan et Simon ont montré qu'avoir « des images mentales vives » permettaient d'obtenir de meilleures performances après une pratique d'imagerie motrice (56).

2.3.2.2. Capacité d'imagerie motrice explicite et évaluation sensorimotrice

Bien que l'imagerie motrice soit utilisée pour améliorer des performances, certains auteurs l'ont utilisée comme moyen d'évaluer la sensorimotricité. En effet, les similarités fonctionnelles et structurelles entre actions imaginées et actions exécutées permettraient de dire que le système sensorimoteur est impliqué (57). Ainsi, Gallimard et al. ont étudié l'évolution de la sensorimotricité chez les étudiants et les diplômés en masso-kinésithérapie en évaluant les capacités d'imagerie motrice explicite grâce au questionnaire MIQ-3Sf (Movement Imagery Questionnaire-3 Second French version) (4). Selon Robin et al., le MIQ-3Sf serait valide et fiable pour l'examen des capacités d'imagerie motrice notamment dans le contexte de réadaptation (8). C'est un questionnaire d'autoévaluation qui interroge les participants sur leur facilité à se représenter mentalement des mouvements selon trois modalités : visuelle interne, visuelle externe ou kinesthésique (4,58). Pour évaluer la sensorimotricité, la modalité kinesthésique serait la plus importante à prendre en compte (4). Leurs résultats n'ont montré aucune différence entre les étudiants et les diplômés pour les modalités d'imagerie visuelle à la première et à la troisième personne (4). En revanche, il y avait une différence pour la modalité d'imagerie kinesthésique entre ces deux groupes pour le membre supérieur, le tronc et l'association du membre supérieur et du tronc mais pas pour le membre inférieur (4). La comparaison entre les étudiants de premier et de second cycle n'a montré aucune différence quelle que soit la modalité d'imagerie (4). Les auteurs suggèrent qu'il y a une évolution de la sensorimotricité entre les étudiants et les diplômés en kinésithérapie (4). Ces résultats pourraient être expliqués par la pratique et l'entraînement quotidien de gestes et de techniques manuelles et positionnelles du kinésithérapeute lors de ses prises en soins (4).

2.3.3. Imagerie motrice implicite

La rotation mentale (RM) est une forme d'imagerie motrice implicite : selon Hoyek et al., c'est la faculté de « *faire tourner mentalement une image en deux ou trois dimensions* » (59). Pour cela, il faut être capable de se représenter cette image de façon précise et de pouvoir la manipuler ou la modifier mentalement (59). Hiew et al. l'énoncent comme étant une capacité de la vie de tous les jours qui permettrait de choisir nos mouvements pour prendre les objets dans la bonne orientation (60).

2.3.3.1. Rotation mentale de stimuli non corporel

Shepard et Metzler ont décrit une tâche de rotation mentale (RM) dans laquelle le but est de définir le plus rapidement possible si deux objets tridimensionnels orientés différemment sont identiques ou non (fig. 3) (61). Ils ont montré que le temps de réaction du sujet dépendait de la différence angulaire des objets (61). En effet, plus la différence angulaire est grande plus le temps de réponse (TR) est long (61). Dans une autre étude, Cooper et Shepard ont utilisé des lettres pour une tâche de RM (fig. 4) (62). Ils ont montré que cette relation entre le TR et l'angle de rotation serait linéaire et qu'elle signifierait l'utilisation d'une stratégie en imagerie visuelle (44,62). C'est à dire que le sujet tournerait mentalement les figures pour les comparer (32,62).

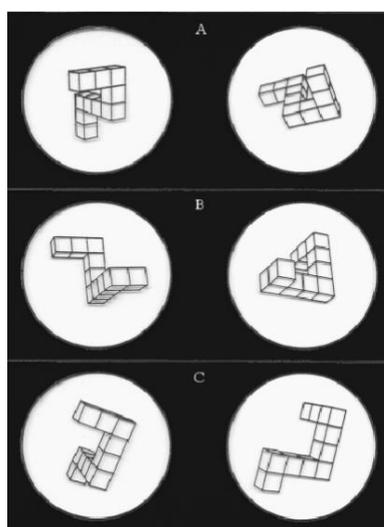


Figure 3 : Illustration de Stimuli de rotation mentale – Extrait de Shepard & Metzler (1971)

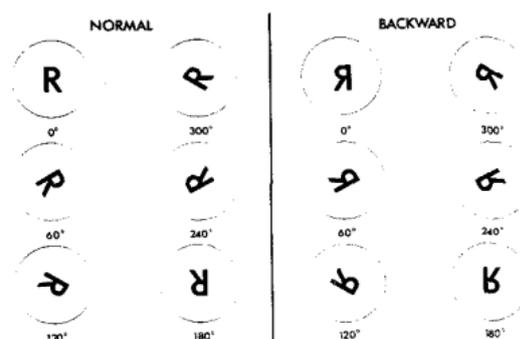


Figure 4 : Illustration de Stimuli de rotation mentale – Extrait de Cooper & Shepard (1973)

2.3.3.2. Rotation mentale de stimuli corporel/Test de reconnaissance de latéralité

Lors d'un test de rotation mentale (RM) de segments corporels/ test de reconnaissance de latéralité, le sujet doit distinguer si l'image tournée selon différents angles est un segment corporel (main ou un pied) droit ou gauche (46). Il doit déterminer la latéralité (46). Dans une étude, Parson a mesuré le temps de réponse (TR) des sujets à un test de RM de segments corporels (63). Il a noté que ce temps était plus long lorsque l'orientation du membre sur l'image était dans une position difficile à mettre en place en situation réelle (59,63). En revanche, des temps de réactions plus courts ont été identifiés lorsque les images avaient une orientation simple avec une trajectoire de mouvement

possible et facile à effectuer dans la réalité (59,63). Selon Parson et Fox, une augmentation, non pas linéaire, mais exponentielle, des temps de réactions quand les images sont orientées dans des positions anatomiquement et biomécaniquement contraignantes, serait un signe que le sujet utilise une stratégie d'imagerie motrice (44,64). C'est-à-dire que les sujets se représenteraient leur propre partie du corps se déplacer dans une autre position pour pouvoir la comparer à l'image (63). Ainsi, le recours à une stratégie motrice impliquerait le système sensorimoteur (46,63,64).

De la même manière, Petit et al. ont remarqué que les TR lors de la tâche RM de marteaux étaient plus courts que les TR des tests de RM de mains (59,65). La prise en compte des contraintes articulaires et anatomiques lors des mouvements pour mettre nos mains dans certaines positions justifierait cette différence (59,65). En revanche, des temps longs ont aussi été retrouvés pour effectuer la RM du marteau dans les conditions dites « *impossibles* » (59,65). La prise en compte implicite du rôle de la main lors de l'utilisation du marteau pourrait expliquer ce temps de réponse (59,65).

De plus, Ter Horst et al. ont appuyé l'hypothèse de l'usage d'une stratégie motrice et de l'implication du système sensorimoteur lors d'une autre étude incluant une tâche de rotation mentale (RM) de stimulus corporelle (66). Ils ont étudié l'effet que pouvaient avoir des rotations médiales ou latérales des stimuli sur les temps de réponse (TR) (66). Les TR pour les rotations latérales étaient plus longs que pour les rotations médiales (44,66). Ainsi, ces données soulignent encore l'impact des contraintes biomécaniques des stimuli sur le temps de réponse à une tâche de RM (44,66). Cet indicateur nommé « *l'effet medial over lateral* » (MOLA) représente donc une des preuves de l'utilisation d'une stratégie motrice (44).

Volkman et al. ont déterminé les représentations du cortex moteur primaire de certains mouvements de la main droite et gauche (67). Ils ont observé une asymétrie avec une plus grande surface dans le cortex moteur opposé à la main dominante. Cette place plus importante du cortex moteur de la main dans l'hémisphère dominant permettrait de contenir un registre plus important d'habiletés motrices pour cette main dominante (67). De même, Civardi et al. ont évalué les asymétries fonctionnelles du cortex moteur sur

l'hémisphère dominant par rapport à l'hémisphère non dominant chez des droitiers et des gauchers (68). Pour les droitiers, les auteurs ont repéré une asymétrie au niveau du cortex moteur entre la main dominante et la main non dominante alors que chez les gauchers ils n'ont pas retrouvé cette latéralisation (68). Ce phénomène serait expliqué par une utilisation et une capacité sensorimotrice plus développée pour la main dominante notamment chez les droitiers (44). Dans leurs méta-analyses concernant la tâche de RM, Jones et al. ont trouvé des résultats concordants aux études précédentes (69). C'est-à-dire que les droitiers reconnaissent plus rapidement des images de mains droites que de mains gauches (69). En revanche, cette différence de TR entre la main dominante et non dominante n'a pas été retrouvée chez les gauchers (69). Ainsi, ce phénomène appelé « *effet de latéralité* » montrerait aussi le recours à une stratégie motrice (44).

De surcroît, l'implication d'un système sensorimoteur a aussi été montrée grâce à « *l'effet de complexité motrice* » (44). Il est illustré notamment grâce à l'étude réalisée par Gentilucci et al. où les participants devaient déterminer la latéralité de membres supérieurs tenant une balle de trois tailles différentes (70). Ils ont trouvé des TR plus long lorsque les images représentaient l'implication d'un mouvement exigeant plus de précision. Ces résultats concordent avec les gestes de préhension de ces mêmes balles vraiment réalisées dans la réalité (70).

Enfin, les données en neuroimagerie qui ont montré l'activation de certaines zones cérébrales ont confirmé les hypothèses d'utilisations de stratégies motrices. En effet, Kosslyn et al. ont mis en évidence l'activation de certaines aires motrices cérébrales lors d'une tâche de rotation mentale de mains (comme le cortex moteur primaire, le cortex prémoteur et le lobe pariétal postérieur) (71). En revanche, la rotation mentale d'objets/de cubes a montré une activation dans le lobe pariétal mais pas dans les régions motrices frontales (71). Ainsi, ces résultats suggèrent que la RM de segments corporels mobilise des processus qui organisent les mouvements moteurs alors que la RM d'objets ne le ferait pas (71). Plus récemment, Hamada et al. ont trouvé des résultats qui renforcent l'hypothèse d'implication de processus moteur lors d'une tâche de RM de mains. En effet, ils ont comparé l'activation cérébrale lors d'une tâche de RM de mains et d'une tâche d'imagerie motrice explicite (72). Les données ont montré une activation commune dans les aires prémotrices bilatérales,

l'aire motrice supplémentaire, l'aire d'association pariétale gauche et les aires visuelles des deux côtés (72).

2.3.3.2.1. Rotation mentale et évaluation de la sensorimotricité

La tâche de rotation mentale de segments corporels est utilisée dans la littérature pour évaluer les répercussions d'une maladie sur le système sensorimoteur. Par exemple, dans leur étude Haslam et al. ont étudié l'altération du schéma corporel suite à un Accident Vasculaire Cérébral (AVC) grâce à une tâche de RM de membres supérieurs (73). Les personnes ayant subi un AVC avaient un TR plus long que les personnes n'ayant pas subi d'AVC et les réponses ont été moins précises dans la reconnaissance de la latéralité des images (73). Ainsi, la modification du jugement gauche/droite montrerait une altération du schéma corporel.

D'autre part, Meugnot a étudié l'impact de l'immobilisation de courte durée d'un membre sur le fonctionnement du système sensorimoteur grâce à un test de latéralité (32). Elle a montré que l'immobilisation d'un membre supérieur provoquait le passage pour ce membre d'une stratégie motrice à l'utilisation d'une stratégie visuelle (32). Cela montrerait une modification du fonctionnement sensorimoteur après une immobilisation. De plus, elle a évalué l'amélioration des temps de réponse (TR) entre le test réalisé juste avant l'immobilisation et le test réalisé juste après avoir retiré l'immobilisation (32). Il n'y a pas eu d'amélioration des TR avant et après l'immobilisation chez les personnes qui étaient immobilisées du côté de la main dominante. En revanche, il y a eu une amélioration entre les deux tests chez les personnes ayant été immobilisées de la main non dominante (qui reste une amélioration moins importante que dans le groupe contrôle) (32). Ces résultats suggèrent que l'absence de mouvement aurait plus d'impact sur la main dominante (32). Les processus sensorimoteurs qui contrôlent la main dominante seraient donc plus affectés par une restriction de mouvements et d'afférence sensoriels (32).

En outre, des données de la littérature suggèrent que l'imagerie motrice implicite peut apporter des informations sur des expériences sensorielles comme la douleur. En effet, Coslett et al. ont étudié l'impact des douleurs de jambes sur les résultats de RM de pieds

(74). Les sujets ayant des douleurs aux membres inférieurs avaient des résultats plus lents et moins précis que les sujets qui n'avaient pas de douleurs (74).

2.3.3.2.2. Facteurs influençant les performances aux tests de rotation mentale

Certains facteurs peuvent influencer les résultats d'une tâche de rotation mentale (RM) de segments corporels. Par exemple, Karádi et al. ont retrouvé des différences significatives entre les hommes et les femmes (âgés de 20 à 23 ans) dans les performances de RM de mains (75). Plus récemment, Mochizuki et al. ou encore Conson et al. ont aussi retrouvé une différence dans le temps de réponse lors d'une tâche de RM de main entre les hommes et les femmes (76,77).

D'autre part, certains auteurs ont montré que l'âge avait un impact sur les performances d'imagerie motrice implicite. Ainsi, Muto et al. ont comparé les résultats de RM de lettres, de mains et de pieds de jeunes adultes (20 à 25 ans) par rapport aux personnes âgées (60 à 87 ans) (78). Les adultes plus âgés avaient une performance de RM plus faible pour tous les stimuli (78). De même, Saimpont et al. ont montré que les sujets âgés étaient affectés lors de tâche de RM de membres supérieurs encore plus du côté du bras non-dominant (79).

De plus, un entraînement ou une formation à l'imagerie motrice implicite aurait une influence sur les capacités à réaliser un test de RM de segments corporels. En effet, Berneiser et al. ont étudié l'effet de l'entraînement de la RM des mains (80). Leurs résultats ont montré, qu'après l'apprentissage, il y avait une augmentation de l'activation des cortex moteurs (80).

Enfin, la position du sujet aurait aussi un impact sur ses compétences lors d'une tâche de reconnaissance de latéralité de mains. Ainsi, De Lange a montré que la position des bras du sujet avait une influence sur la tâche de RM des mains (81). De même, Ionta et al. ont étudié l'influence de la posture des mains sur les performances de RM des mains et des pieds (82). Ils ont comparé les résultats de RM de mains et de pieds dans deux conditions posturales différentes (l'une en position anatomique avec les mains sur les genoux, l'autre avec leurs mains positionnées dans une posture inhabituelle avec des doigts emmêlés derrière le dos)

(82). Leurs résultats ont montré que la rotation mentale des mains, mais pas celle des pieds, est influencée par les changements de position des mains (82).

2.3.4. Différences entre imagerie motrice implicite et explicite

Bien que le système sensorimoteur semble être impliqué à la fois lors de l'imagerie motrice implicite et explicite, certains auteurs rapportent des différences entre ces deux pratiques. Brusa et al. ont comparé les représentations mentales des mains et des pieds dans des tâches d'imagerie motrice implicite et explicite (83). Ces représentations étaient différentes entre les mains et les pieds lors de l'IM implicite alors qu'il n'y avait pas de différence lors de l'IM explicite (83). Les résultats suggèrent qu'il y aurait une différence dans cette représentation mentale qui dépendrait du degré de contrôle de l'action requis (c'est-à-dire de la conscience ou non de vouloir imaginer le mouvement) (83).

De Vries et al. ont étudié la relation entre l'imagerie motrice implicite et l'imagerie motrice explicite chez des patients ayant subi un AVC et chez des témoins sains grâce à un questionnaire d'imagerie motrice et à une tâche de rotation mentale de la main (84). Ils ont montré qu'il n'y avait pas de corrélation entre la tâche de RM et l'imagerie motrice explicite que ce soit chez les témoins ou chez les patients (84).

De plus, dans la littérature l'IM explicite et implicite sont utilisées différemment. L'imagerie motrice explicite est souvent pratiquée pour l'amélioration des performances motrices. Ces progrès, suite à la pratique de l'IM explicite, seraient expliqués par le fait que cette méthode mettrait en jeu la planification des actes moteurs. Ainsi, Hanakawa et al. ont observé l'activité cérébrale lors d'un tapotement physique ou mentale des doigts (85). Leurs résultats étaient en accord avec le concept selon lequel l'imagerie motrice participerait aux processus de planification et de préparation de l'action (85).

En revanche, l'imagerie motrice implicite serait plutôt utilisée dans la littérature pour évaluer la représentation du corps en mouvement/ du schéma corporel. Par exemple, Kim et al. se sont servis notamment de l'imagerie motrice implicite pour évaluer la représentation du schéma corporel des patientes après une mastectomie (86).

3. Problématisation et hypothèses

Comme expliqué précédemment, grâce à la plasticité cérébrale, toutes les activités pratiquées (comme les répétitions d'actions et les entraînements spécifiques) influencent l'évolution de la sensorimotricité et permettent l'apprentissage ainsi que l'amélioration des performances motrices.

La kinésithérapie est une profession manuelle qui nécessite aussi un apprentissage et un entraînement spécifique des gestes et des techniques. C'est pourquoi, dans la formation, une grande place est accordée à la pratique. Des tests diagnostiques, des mobilisations avec prises manuelles ainsi que certaines techniques de massage doivent être appris et peuvent être utilisés lors de la prise en soins de patients. De plus, tout au long de leur cursus, les étudiants doivent développer leur sensibilité palpatoire pour acquérir un toucher thérapeutique qu'ils utiliseront dans leur carrière professionnelle (87).

Notre question de recherche est donc de savoir **comment évolue la sensorimotricité chez les étudiants et les diplômés en masso-kinésithérapie.**

En effet, des données manquent sur l'évolution estudiantine et professionnelle des kinésithérapeutes à ce sujet puisque seule l'imagerie motrice explicite a été utilisée dans la littérature pour évaluer l'évolution de la sensorimotricité chez les étudiants et les diplômés en masso-kinésithérapie (4). Sachant que l'imagerie motrice implicite et explicite présentent des caractéristiques différentes, nous utiliserons dans cette étude l'imagerie motrice implicite avec une tâche de reconnaissance de latéralité (83–86).

L'objectif principal est d'évaluer l'évolution de la sensorimotricité chez les étudiants et les diplômés en kinésithérapie. Le second est d'évaluer la rapidité de cette évolution. C'est-à-dire de savoir s'il y a une évolution au cours de la formation entre les étudiants de première année et de dernière année, ou si le système sensorimoteur évolue seulement après le diplôme. Indirectement, nous cherchons à savoir si les techniques de kinésithérapie apprises pendant les études sont suffisamment pratiquées pour permettre un apprentissage moteur et une modification de la sensorimotricité ou si ces dernières nécessitent d'être

utilisées plus fréquemment après le diplôme pour avoir un impact sur la sensorimotricité (selon l'hypothèse d'une évolution).

Nous émettons les hypothèses que les diplômés (DE) auront de meilleurs résultats que les étudiants en première année (K2) et que les étudiants en dernière année de masso-kinésithérapie (K5). Nous supposons aussi que les K5 auront de meilleurs scores que les K2. Ainsi, nous pensons que la sensorimotricité évolue positivement en fonction des années de pratique de la kinésithérapie, que ce soit pendant les études ou après l'obtention du diplôme.

4. Méthode

Les différentes étapes mises en place au cours de cette étude sont basées sur le protocole décrit par Maxence Brodu pour son mémoire de juin 2023 suite à un appel à projet de notre directeur de mémoire commun (5). C'est une étude transversale, observationnelle et exploratoire. Nous évaluons l'évolution de la sensorimotricité chez les étudiants et diplômés en masso-kinésithérapie grâce à un test de reconnaissance de latéralité. Nous comparons les résultats des diplômés, des étudiants en dernière année de masso-kinésithérapie et des étudiants en première année de masso-kinésithérapie.

Cette étude n'entre pas dans le cadre de la loi Jardé. En effet, elle ne s'intéresse pas à une amélioration « *des connaissances biologiques et médicales* » et cible des évaluations psycho-cognitives (88). Cette recherche a été approuvée en ce sens par le comité éthique du CHU de Nantes, Groupe Nantais d'Ethique dans le Domaine de la Santé (GNEDS). La « *Note d'informations pour la participation à la recherche* » détaille le traitement et les droits des données des participants (Annexe 2).

4.1. Recrutement et population

La population cible est divisée en trois groupes :

1. les étudiants en première année de masso-kinésithérapie (K2) ;
2. les étudiants en dernière année de masso-kinésithérapie (K5) ;
3. les diplômés d'état en masso-kinésithérapie (DE).

Les critères d'inclusion sont soit d'être étudiant en K2 ou en K5, soit d'être diplômé en masso-kinésithérapie. Les critères d'exclusion sont soit d'avoir 80 % ou plus de réponses fausses pour une des images, soit d'être décrit comme outlier (c'est-à-dire ceux qui ont un TR moyen qui est supérieur ou inférieur à 2.5 d'écart type par rapport à la moyenne générale). Sélectionner seulement les étudiants de K2 au sein du premier cycle est justifié par la volonté d'inclure des étudiants débutants qui n'ont pas beaucoup de pratique en kinésithérapie. En revanche, n'inclure que les étudiants de K5 au sein du second cycle permet d'avoir plusieurs années d'apprentissage de différence entre les groupes, avec des étudiants qui ont plus d'expérience.

Le recrutement des étudiants a été réalisé au sein de l'Institut Régional de Formation aux Métiers de Rééducation et de Réadaptation Pays de la Loire (IFM3R) de Saint Sébastien sur Loire grâce aux réseaux sociaux, aux connaissances, à une diffusion pendant les cours magistraux, à des affiches exposées au sein de l'institut de formation et par la direction de l'institut. Le recrutement des kinésithérapeutes diplômés a été fait de la même manière en visant les cabinets, centre de rééducation et hôpitaux. Ainsi, 42 étudiants en K5, 37 étudiants en K2 et 51 DE ont passé un test d'imagerie motrice implicite. Au cours de l'étude, 3 étudiants en K2 et 3 étudiants en K5 ont été exclus. Au final, 39 résultats de K5, 34 résultats de K2 et 51 résultats de DE ont été pris en compte dans l'analyse des données.

4.2. Description et déroulement des tests

Les tests ont été réalisés en présentiel, avec un ordinateur sur le logiciel PsychoPy. Pour les étudiants en K2 et K5, ils se sont tous déroulés dans une salle de l'IFM3R entre le 23 octobre 2023 et le 17 novembre 2023. Ceux pour les diplômés ont été réalisés du 9 novembre 2023 au 7 février 2024 dans des salles de certains cabinets et d'hôpitaux de Nantes, de Vendée et de Caen. Selon Rulleau et al., il n'y aurait pas de variation du processus d'imagerie motrice implicite en fonction du moment de la journée (44). C'est pourquoi nous n'avons pas ciblé une heure précise pour tous les participants.

La première partie du test consistait à recueillir des informations sur les participants. Tout d'abord, le nombre d'années de pratique de la kinésithérapie après le diplôme a été enregistré pour avoir une idée de l'expérience des DE. De plus, leur genre, leur âge, leur

latéralité et leur filière pour accéder aux études de kinésithérapie ont été enregistrés. Ensuite, des notions concernant les sports pratiqués ont été recueillis. Nous avons noté les sports associés aux années pratique et au nombre de minutes par semaine d'entraînement. Leurs niveaux concernant les différentes activités sportives ont aussi été enregistrés. Ensuite, nous leur avons demandé s'ils ont déjà fait ou non une formation sur l'imagerie motrice.

La seconde partie du test correspondait à la tâche de rotation mentale de segment corporel. C'est-à-dire que des images de pieds droits et gauches avec un angle de rotation horaire ou anti-horaire de 120°, 80°, 40° et 0° leur ont été présentées sur l'écran de l'ordinateur. De plus, des images de mains droites et gauches représentées en tenant une balle d'un diamètre plus ou moins important, avec une rotation médiale ou latérale, ont aussi été affichées (fig. 5 et 6). Les participants devaient alors définir le plus justement et le plus rapidement possible si ces images étaient des pieds ou des mains droites ou gauches. Si c'était une image droite, ils devaient appuyer sur la touche « p » avec un doigt de leur main droite. Si c'était une image gauche, ils devaient appuyer sur la touche « z » avec un doigt de leur main gauche. Toutes ces consignes étaient écrites sur l'écran de l'ordinateur.

Des consignes sur la position des participants durant le test ont été données pour qu'ils soient tous dans les mêmes conditions : « *pieds au sol posés l'un à côté de l'autre* » et leurs mains devaient forcément être sur la table, proches du clavier pour répondre. Cela était nécessaire puisque la position des participants influencerait les résultats du test de RM (81,82).

Durant le test, il y avait une première phase d'essai non prise en compte pour que les participants comprennent bien ce qu'ils devaient faire. Cette étape comportait 5 images défilant aléatoirement. C'est le seul moment où la personne pouvait prendre son temps pour répondre. Ensuite, la phase expérimentale réelle commençait au cours de laquelle 110 images réparties en 5 séries de 22 leurs étaient présentées. Les 22 images ont été affichées aléatoirement et correspondaient à chaque angle de rotation de pieds et/ou de positions des mains. Ces dernières sont toutes représentées sur les Figures 5 et 6. Entre chaque série, les participants pouvaient faire une pause dont le temps n'était pas pris en compte.

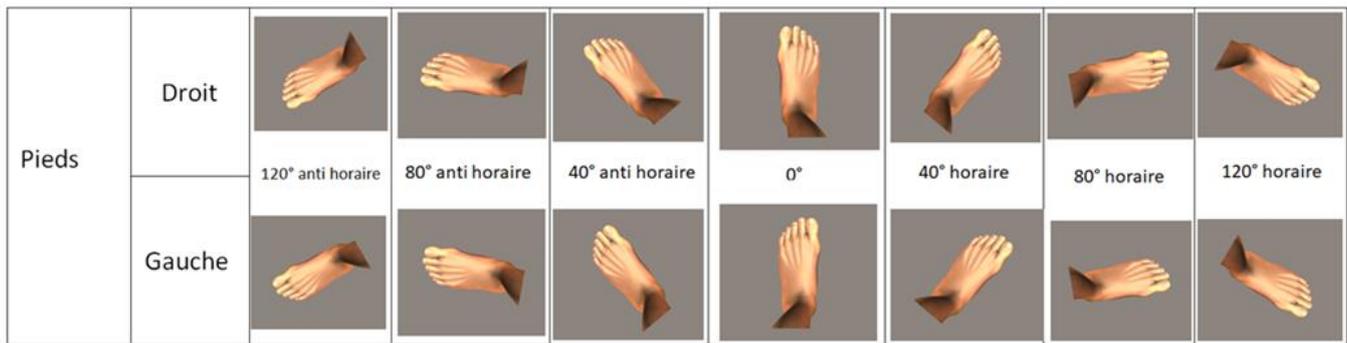


Figure 5 : Illustration des images utilisées lors du test de rotation mentale de pieds associées à leurs orientations – *Extrait des images présentent dans la thèse de Thomas Rulleau 2017*

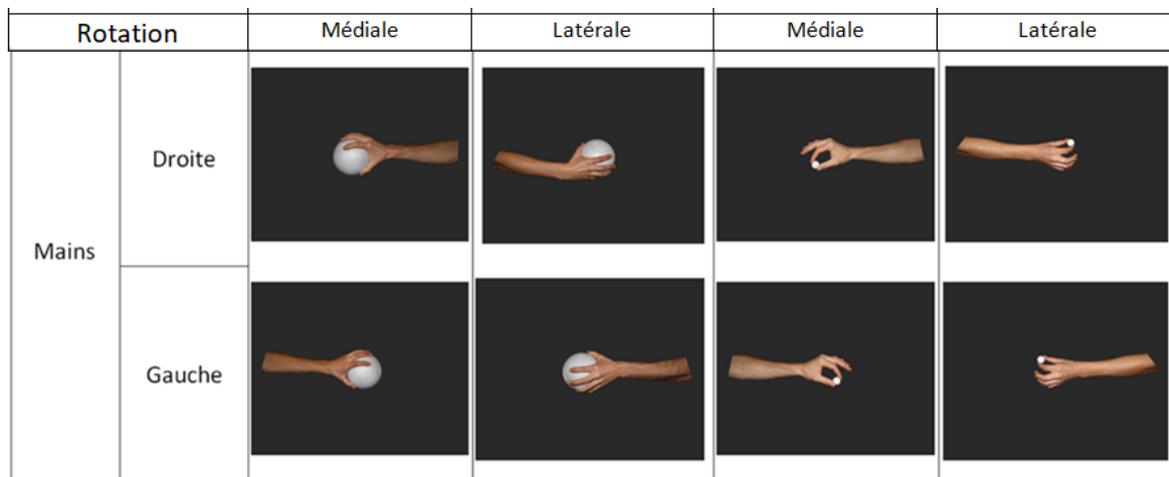


Figure 6 : Illustration des images utilisées lors du test de rotation mentale de mains associées à leurs rotations médiales ou latérales – *Extrait des images présentent dans la thèse de Thomas Rulleau 2017*

4.3. Critères d'évaluation

Le paramètre mesuré est le temps de réponse (TR) de chaque image.

4.4. Plan d'analyse statistique

Seules les réponses justes ont été prises en compte pour l'analyse du TR. Ainsi, le pourcentage de bonnes réponses a aussi été enregistré. En effet, pour chaque participant, les TR, les réponses justes et les réponses fausses ont été enregistrés sur un fichier Excel grâce au logiciel Psychopy. Pour chaque fichier Excel, le pourcentage de réponses justes a

été calculé et les TR des réponses fausses¹ ont été supprimés pour calculer la moyenne des TR. Un fichier Excel regroupant toutes les moyennes des TR a ensuite été créé et utilisé pour l'analyse des données. Le logiciel JASP a été utilisé pour calculer les ANOVA des trois groupes (K2, K5 et DE) dans deux conditions : pour les moyennes des mains et pour les moyennes des pieds. Ensuite, des tests Post Hoc de comparaison de moyennes entre chaque groupe ont été réalisés pour ces deux conditions.

5. Résultats

5.1. Description de la population

A propos du genre, 62 % de K2 sont des participants féminins, 38 % sont masculins. Pour les K5, 74 % sont féminins et 26 % masculins. Il y a 73 % de DE féminins et 27 % de DE masculins qui ont participé à l'étude. Les K2 ont entre 18 et 27 ans, avec une moyenne d'âge de 19,64 ans et une médiane de 19 ans. Les K5 ont entre 22 et 37 ans, la moyenne d'âge est de 23,2 ans et la médiane est de 22 ans. Les DE ont entre 23 et 58 ans, la moyenne d'âge est de 33,3 ans et la médiane de 32 ans. Pour ce qui est de la latéralité, on retrouve chez les K2, 76 % de droitiers, 12 % de gauchers et 12 % d'ambidextres. Chez les K5, 85 % sont droitiers, 8% sont gauchers et 8 % sont ambidextres. Chez les DE, 84 % sont droitiers et 16 % sont gauchers.

Les filières pour accéder aux études de kinésithérapie pour les participants K2 se sont avérées très variées. 47 % des participants K2 viennent de PASS/LAS STAPS ; 9 % de passerelles (licence APA, licence STAPS, professeur d'EPS) ; 15 % de PASS/LAS science de la vie ; 9 % PASS/LAS physique ; 6 % PASS/LAS chimie, 3 % de PASS/LAS éco-gestion ; 3 % de PASS/LAS humanité ; 3 % de PASS/LAS psychologie ; 3 % de PASS/LAS science de l'ingénieur ; 3 % de PASS/LAS mathématiques. Celles pour les K5 sont moins nombreuses et l'on retrouve 59 % de participants K5 venant de PACES, 36 % de STAPS, 5 % de passerelles (licence de biologie et industrie). Pour les participants DE, 24 % de données sur les filières d'entrée dans une école de kinésithérapie n'ont pas pu être récupérées. Pour les autres participants DE, 49% ont fait des préparations aux concours, 4 % de STAPS, 16 % de PACES, 6 % de

¹ Les critères d'exclusions étaient soit d'avoir 80% ou plus de réponses fausses pour une des images, soit d'être décrit comme outlier (c'est-à-dire ceux qui ont un TR moyen qui est supérieur ou inférieur à 2.5 d'écart type par rapport à la moyenne générale).

passerelles (biostatistiques et épidémiologie, DUT génie thermique et énergie, ingénieur en mécanique), 2 % ont directement intégré une école en Espagne.

Les participants font beaucoup de sports. Chez les K2 seulement 4 participants n'en pratiquent pas (11,8 %) ; pour les K5, une seule personne n'en fait pas (2,6 %) et chez les DE 4 participants n'en font pas (7,8 %). Les minutes par semaine consacrées au sport dans chaque groupe sont plutôt élevées. Chez les K2, la moyenne est de 235,3 min et la médiane de 245 min. Chez les K5 la moyenne est de 259,1 min et la médiane est de 240 min. Pour les DE, la moyenne est de 194,21 min et la médiane de 180. Ils pratiquent leur(s) sport(s) depuis plus ou moins longtemps, c'est à dire entre 1 mois et 50 ans. Les niveaux de pratique sont variés. Pour les participants qui pratiquent au moins un sport, chez les K2 nous retrouvons 66,7 % de participants qui pratiquent pour le loisir, 13,3 % ont un niveau régional et 20 % un niveau national. Chez les K5, 68,4 % d'entre eux pratiquent pour le loisir, 23,7 % ont un niveau régional, 5,3 % un niveau national et 2,6 % un niveau international. Pour les DE pratiquant au moins un sport, 83 % font du loisir, 6,4 % sont de niveau régional et 10,6 % sont de niveau national.

Pour les DE, ils ont entre 0,375 et 35 ans de pratique depuis leur diplôme. Les participants DE ont une moyenne de pratique de 9,6 ans et une médiane de 6,5 ans d'expérience. Aucun K2 n'a eu de formation à l'imagerie mentale mais tous les K5 en ont eu une. La majorité des DE n'ont pas eu de formation à l'imagerie mentale (73 %).

5.2. La rotation mentale des images de mains

L'ANOVA sur le temps de réponse montre un effet significatif pour les images de mains regroupées ($F = 4,365$; $p = 0,015$). La comparaison Post Hoc montre une différence moyenne significative sur les temps de réponse entre les K5 et les K2 avec un temps moins long pour les K5 (Mean Difference = 0,242s ; $p = 0,018$). En revanche, les résultats ne montrent pas de différences significatives entre les K2 et les DE ($p = 0,776$) ni entre les K5 et les DE ($p = 0,055$). Les données sont illustrées sur la Figure 7 et le Tableau I.

Tableau I : Résultats des Tests de Comparaison Post Hoc pour les images de mains obtenus grâce au logiciel Jasp

		Mean Difference	SE	t	P _{Tukey}
DE	K2	-0.056	0.083	-0.680	0.776
	K5	0.186	0.080	2.331	0.055
K2	K5	0.242	0.088	2.755	0.018

Note. P-value adjusted for comparing a family of 3

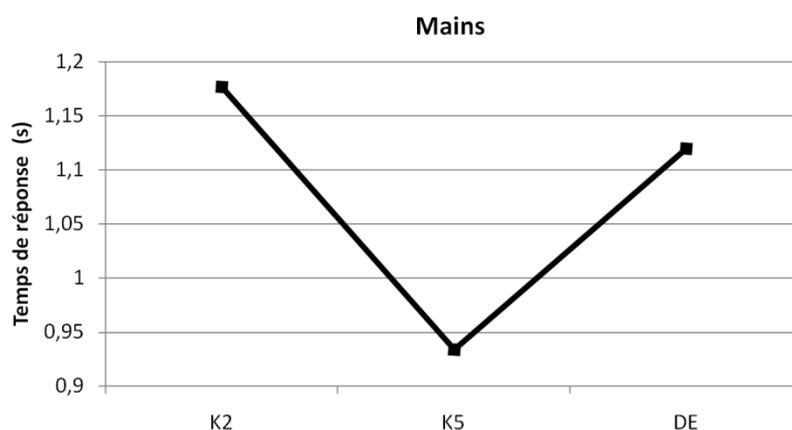


Figure 7 : Représentation graphique de la moyenne du temps de réponse obtenue pour chaque groupe pour les images de mains

5.3. La rotation mentale des images de pieds

L'ANOVA sur le temps de réponse montre un effet significatif pour les images de pieds regroupées ($F = 4,560$; $p = 0,012$). La comparaison Post Hoc montre une différence significative sur les temps de réponse entre les K5 et les K2 (Mean Difference = 0,143s ; $p = 0,017$) et entre les DE et les K5 (Mean Difference = 0,113s ; $p = 0,044$) avec un temps moins long pour les K5 dans les deux situations. En revanche, les résultats ne montrent pas de différences significatives entre les K2 et les DE ($p = 0,809$). Les résultats obtenus sont illustrées sur la Figure 8 et le Tableau II.

Tableau II: Résultats des Tests de Comparaison Post Hoc pour les images de pieds obtenus grâce au logiciel Jasp

		Mean Difference	SE	t	P _{Tukey}
DE	K2	-0.030	0.048	-0.620	0.809
	K5	0.113	0.047	2.429	0.044
K2	K5	0.143	0.051	2.787	0.017

Note. P-value adjusted for comparing a family of 3

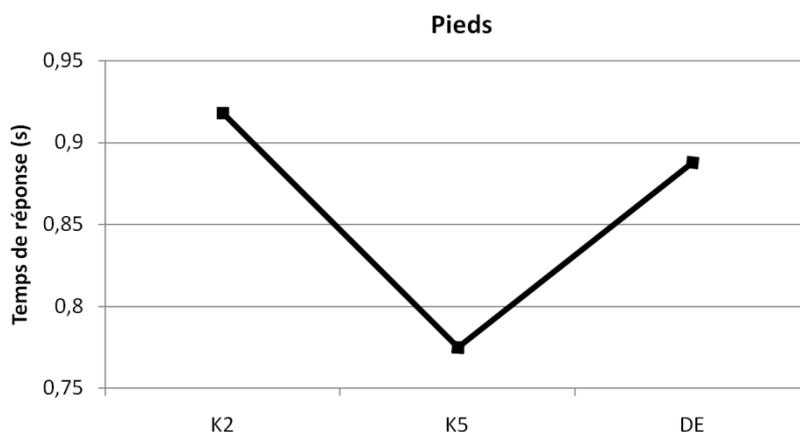


Figure 8 : Représentation graphique de la moyenne du temps de réponse obtenue pour chaque groupe pour les images de pieds

6. Discussion

6.1. Interprétation des résultats

Cette étude cherchait à évaluer l'évolution de la sensorimotricité chez les étudiants et les diplômés en masso-kinésithérapie grâce à un test de reconnaissance de latéralité. Nous pensions qu'il y aurait une amélioration de la sensorimotricité en fonction des années de pratique de la kinésithérapie, que ce soit pendant les études ou après l'obtention du diplôme. Les résultats ne confirment pas nos hypothèses de départ. En effet, nous avons remarqué une différence des scores entre les deux groupes d'étudiants (K2 et K5) avec des temps de réaction (TR) plus rapides pour les K5 que pour les K2. En revanche, cette progression n'a pas été retrouvée après l'obtention du diplôme.

Plus précisément, lors de la comparaison des TR pour les images de mains, les K5 ont obtenus de meilleurs résultats que les K2. En revanche, pour la comparaison entre K5/DE et entre K2/DE aucune différence significative n'a été observée. Ainsi, selon nos résultats, il y aurait une évolution positive du système sensorimoteur entre les étudiants de premier et de second cycle puisque les K5 ont répondu significativement plus rapidement que les K2. La différence K5/DE n'est pas statistiquement significative mais elle est tendancielle ($p = 0,055$). Ainsi, l'évolution semble avoir tendance à s'inverser entre les K5 et les DE avec une augmentation du TR pour les DE (fig. 7). Les données obtenues pour les images des pieds montrent une diminution significative du temps de réaction de la K2 à la K5 mais une augmentation significative de cette durée entre les K5 et les DE (fig. 8). Suite à ces

informations, nous pourrions suggérer qu'il y a une amélioration de la sensorimotricité des mains et des pieds au cours de la formation mais une diminution des capacités sensorimotrices après l'obtention du diplôme. Cette réduction des performances de rotation mentale chez les DE peut paraître surprenante, c'est pourquoi nous allons comparer nos résultats à des études qui se rapprochent de notre sujet.

6.1.1. Confrontation de nos résultats à des études chez les chiropraticiens

Les chiropraticiens, comme les masseurs-kinésithérapeutes, utilisent de nombreuses techniques manuelles lors de leurs activités professionnelles. Ainsi, il nous semble pertinent de confronter notre étude à celle de Dane et al. sur l'évaluation de la discrimination tactile des étudiants en chiropractie (36). Ils ont montré, avec l'utilisation du test de discrimination à deux points au niveau de l'index, que les étudiants d'années supérieures avaient de meilleurs résultats que les étudiants de première année (36). Les auteurs ont supposé que la formation à la chiropractie améliorerait la sensibilité tactile et donc la sensorimotricité des étudiants dans ce domaine. Ils proposent, pour expliquer ces résultats, que cette évolution serait liée à l'apprentissage des techniques de manipulation et de palpation (36).

Cette évolution de la discrimination tactile entre les étudiants de première et de dernière année de chiropractie a également été mise en évidence par Foster et Bagust (89). En revanche, grâce au test de discrimination à deux points au niveau de l'index, Foster et Bagust ont aussi montré que cette amélioration de la discrimination tactile n'était pas maintenue après l'obtention du diplôme (89). Bien que la discrimination tactile et la rotation mentale évaluent des composantes sensorimotrices différentes, nos résultats semblent être en accord avec leurs études puisqu'ils mettent aussi en évidence une amélioration de la sensorimotricité uniquement au cours des études mais pas après l'obtention du diplôme.

En plus de la sensibilité tactile, Foster et Bagust ont mesuré la sensibilité palpatoire. Dans cet objectif, ils ont demandé aux participants de localiser un monofilament de nylon placé sous un nombre variable de feuilles de papier (89). Les données sur la sensibilité palpatoire n'étaient pas corrélées à celles de la sensibilité tactile (89). En effet, la sensibilité palpatoire des chiropraticiens diplômés était meilleure que celle des étudiants (89). Ainsi, Foster et Bagust suggèrent que les chiropraticiens continuent d'apprendre grâce aux

expériences qu'ils vivent après l'obtention de leur diplôme. Ces années de pratique, en tant que professionnels, leur permettraient de continuer à développer leur sensibilité palpatoire et de « *compenser* » la diminution de la sensibilité tactile (89). Selon Foster et Bagust, il y aurait une amélioration de la discrimination tactile seulement au cours de la formation et une évolution de la sensibilité palpatoire après l'obtention du diplôme de chiropractie (36,89). Ainsi, la sensorimotricité des chiropracticiens diplômés évoluerait aussi, mais pas de la même manière que chez les étudiants (89). Nous pourrions penser que ces résultats différents avant et après le diplôme sont dus à des modifications et des perfectionnements de certaines pratiques spécifiques grâce à l'expérience.

Dans cette optique d'évolution grâce à l'expérience, nous pourrions supposer qu'après l'obtention du diplôme, et grâce à leurs pratiques professionnelles, les kinésithérapeutes développent aussi des compétences différentes de celles mobilisées pendant leurs études. Nous suggérons ainsi que les kinésithérapeutes diplômés, étant habitués à pratiquer des gestes de kinésithérapie, seraient moins focalisés sur les manipulations, la palpation et les techniques spécifiques, mais qu'ils se concentreraient davantage à développer leur raisonnement clinique. Ainsi, cette évolution de pratique pourrait être une hypothèse qui expliquerait que les DE n'aient pas de meilleurs résultats que les étudiants au test de rotation mentale de segments corporels.

6.1.2. Confrontation de nos résultats à une étude qui utilise l'imagerie motrice explicite

Nos résultats s'opposent à ceux obtenus par Gallimard et al. lors de l'évaluation de la sensorimotricité chez les étudiants et diplômés en masso-kinésithérapie à partir de l'imagerie motrice explicite (4). En effet, l'utilisation du questionnaire MIQ visant à évaluer la facilité des participants à se représenter mentalement des mouvements a mis en évidence de meilleurs résultats pour les DE que pour les étudiants concernant la modalité d'imagerie kinesthésique pour le membre supérieur, le tronc et l'association du membre supérieur et du tronc mais pas pour le membre inférieur (4). Selon Gallimard et al., ces résultats pourraient s'expliquer par la pratique de gestes et de techniques positionnelles du kinésithérapeute lors de ses prises en soins principalement avec le placement de ses mains et de son tronc mais moins de ses pieds/jambes (4). De plus, contrairement à nos résultats,

Gallimard et al. n'ont retrouvé aucune différence entre les étudiants de premier et de second cycle (4).

Cette contradiction pourrait s'expliquer par des mécanismes différents lors de l'imagerie motrice explicite et implicite. Le système sensorimoteur est impliqué à la fois lors de ces deux types d'imagerie motrice, mais Brusa et al. ont montré que la représentation mentale des mains et des pieds était différente lors de l'IM implicite alors qu'il n'y avait pas de différence lors de l'IM explicite (83). Cela dépendrait du degré de contrôle de l'action requis, c'est-à-dire de la conscience ou non de vouloir imaginer un mouvement. Cela se réfère à l'imagerie motrice explicite ou implicite (83). De Vries et al. ont étudié la relation entre l'IM implicite et l'IM explicite chez des patients (84). Ils ont montré qu'il n'y avait pas de corrélation entre la tâche de RM et l'imagerie motrice explicite (84). De plus, dans la littérature l'IM explicite et implicite sont souvent impliquées dans des types d'études différentes.

En effet, l'imagerie motrice explicite est fréquemment utilisée pour améliorer des performances motrices. Cette amélioration des performances motrices pourraient être expliquées par la « *théorie de la simulation* » décrit par Jeannerod avec cette « *phase cachée de l'action* » qui représenterait l'intention de réaliser le mouvement (27). De plus, les modèles internes décrits par Lebon et al., actifs lors de l'imagerie motrice explicite permettraient une construction et une planification d'une commande motrice adaptée (31). Certains auteurs comme Gerardin et al. ainsi que Guillot et al. ont aussi montré, grâce à la neuroimagerie, qu'il y avait une activation de réseaux cérébraux similaires lors de l'imagination et l'exécution d'un mouvement comme les aires pré motrices et pariétales bilatérales, les ganglions de la base et le cervelet dont certains sont impliqués dans la planification et la programmation de la commande motrice (51,90). Grâce à l'observation de l'activité cérébrale lors d'un mouvement physique ou mental des doigts, Hanakawa et al. ont suggéré que l'imagerie motrice participerait aux processus de planification et de préparation de l'action (85). Bien que les deux soient liés, ils proposent que l'imagerie motrice serait plutôt liée aux « *processus préexécutifs* » d'un mouvement que de son exécution elle-même (85). Dans une étude, Monany a montré une augmentation de « *l'inhibition intra corticale* » pendant la pratique de l'imagerie motrice explicite (91). Ces résultats vont dans le sens de

son hypothèse selon laquelle l'imagerie motrice provoquerait « *la génération d'une commande motrice inhibée* » (91). L'imagerie motrice explicite permettrait donc d'insister sur la planification interne des actes moteurs.

En revanche, l'imagerie motrice implicite serait plutôt utilisée dans la littérature pour évaluer la sensorimotricité dans le sens de la représentation du corps en mouvement/ du schéma corporel. Par exemple, Shenton et al. se sont servis de la tâche de RM de mains pour suggérer que la proprioception représenterait l'entrée sensorielle dominante dans la représentation du corps dans l'espace (92). De la même façon, Kim et al. ont évalué la représentation interne du schéma corporel après une mastectomie grâce à l'imagerie motrice implicite pour (86). Ferri et al. ont étudié « *la reconnaissance du soi corporel* », la « *représentation visuo-motrice* » de soi en utilisant notamment l'imagerie motrice implicite (93). En effet, une tâche de RM d'images de mains droites ou gauches appartenant au participant lui-même ou des images de mains d'une autre personne a été utilisée dans leur étude (93). Leurs résultats ont montré des TR moins longs dans la tâche de RM quand le participant voyait sa propre main par rapport à celle des autres (93). Puisque l'imagerie motrice implicite provoquerait une « *stimulation motrice* », les auteurs ont suggéré qu'il y aurait une « *nature motrice* » la représentation du soi corporelle (93).

Suite à ces différences entre IM explicite et IM implicite, nous pourrions dire que l'étude de Gallimard et al. et la nôtre ne sont finalement pas contradictoires mais complémentaires. C'est-à-dire que notre étude suggère qu'il y a une amélioration de la sensorimotricité dans le sens de la représentation corporelle pour les pieds et les mains au cours de la formation (entre les K2 et les K5). Gallimard et al. ont montré, quant à eux, une amélioration de la sensorimotricité dans le sens de la planification motrice interne seulement une fois le diplôme obtenu (4). Grâce à ces différents résultats, nous suggérons qu'il y a deux étapes distinctes dans l'apprentissage de la kinésithérapie : une première au cours de la formation et une seconde après l'obtention du diplôme. Cela s'exprime, ainsi, au travers de la sensorimotricité avec d'abord une évolution des représentations du corps au cours de l'avancée des années d'études puis avec une amélioration de la planification interne des actes moteurs une fois le diplôme obtenu.

6.2. Limites, biais et difficultés de l'étude

Plusieurs biais de confusion doivent être pris en compte. Tout d'abord, selon Berneiser et al., il y aurait un effet de l'entraînement de la RM sur le cortex moteur (80). Sachant que les groupes n'ont pas été homogènes concernant la formation à l'imagerie motrice avant l'étude (aucun K2 n'a eu de formation à l'imagerie mentale alors que tous les K5 en ont une et seulement une partie des DE), nous supposons que cette hétérogénéité a pu influencer les résultats.

Les conditions différentes entre les participants lors de la réalisation des tests est un autre biais qui doit être pris en considération. En effet, tous les étudiants ont passé leurs tests dans une salle calme de l'IFM3R alors que la plupart des diplômés les ont passés, soit dans leurs salles de pauses, soit dans leurs salles de travail avec plus ou moins de bruit et d'agitation. De plus, les DE étaient davantage contraints par le temps lors de la passation avec des rendez vous de patients futurs. Cela a pu influencer sur les capacités de concentration des diplômés au moment des tests et perturber les données obtenues.

Obtenir des groupes homogènes a été une difficulté importante au cours de cette étude. En effet, les différentes réformes de formation de masso-kinésithérapie ont amené les participants à entrer dans l'école par des filières variées et inégales quant au temps passé à la pratique d'une activité sportive (STPAPS par rapport à une autre licence ou aux concours). En effet, pour les K2, 47 % sont entrés par LASS/PASS STAPS et 9 % par des passerelles fortement liées à l'activité physique (licence STPAPS, licence d'Activité Physique Adapté, et professeur d'EPS), 36 % des K5 ont fait STAPS et seulement 4 % des DE ont fait cette filière. De la même façon, la plupart des participants pratiquent une ou plusieurs activités physiques depuis plus ou moins longtemps (entre 1 mois et 50 ans), pour un niveau et une durée d'entraînement différents. Selon plusieurs études, l'entraînement à une activité physique aurait un impact sur le système sensorimoteur (2,3,94,95). Par exemple, Hormigo et al. ont mis en évidence des corrélations entre la sensorimotricité et le conditionnement physique (94). Hortnoll et al. ont, quant à eux, identifié de meilleures performances lors d'une tâche de RM de main chez des personnes pratiquant le yoga (95). Tseng et al. ont aussi montré que les enfants qui s'entraînent à jouer du piano ont de meilleures capacités proprioceptives et motrices que ceux qui n'en jouent pas (2). Blanchet et al. ont mis en

évidence que les adolescents qui pratiquent des sports de combats ont un meilleur contrôle de l'équilibre latéral et une meilleure intégration proprioceptive (3). D'autre part, Martín-Mohr et al. ont comparé les différences de contrôle sensorimoteur du genou en fonction notamment du niveau d'activité physique du participant (96). Les résultats ont suggéré qu'un niveau d'activité physique plus élevé pourrait déterminer un meilleur contrôle sensorimoteur (96). Cette hétérogénéité entre les groupes a donc pu influencer les résultats et constituer un autre biais.

D'autre part, Muto et al. ou encore Saimpont et al. ont souligné le fait que les sujets âgés ont de moins bonnes capacités en imagerie motrice implicite lors d'une tâche de RM (78,79). Bien que la moyenne d'âge semble différente entre les 3 groupes, tous les participants ont moins de 60 ans et n'entrent pas dans les âges définis comme personnes âgées dans les études. Ainsi, nous pouvons supposer que l'âge des participants n'a pas été un critère qui a beaucoup influencé les résultats.

6.3. Axe d'amélioration et perspectives de l'étude

Même si ne pas définir de critère de non inclusion reflète mieux la population réelle des diplômés et des étudiants, en instaurer aurait pu permettre d'éviter certains biais de confusion. Coslett et al. ont montré que des sujets souffrant de douleurs au niveau des jambes étaient plus lents et moins précis lors de la tâche de RM de pieds que les sujets qui n'ont pas mal aux jambes (74). De plus, Fioero et al. ont montré que les patients souffrant de dystonie de la main sont plus lents que les sujets témoins lors de la RM de mains (97). Bek et al. quant à eux, ont repéré que les personnes atteintes de la maladie de Parkinson étaient plus lents que les jeunes personnes en bonne santé pour certaines images lors la tâche de RM de mains (98). Lee et al. ont mesuré la performance de patients présentant un Syndrome douloureux régional complexe (SDRC) du membre supérieur ou inférieur lors d'un test de reconnaissance de latéralité de pieds et de mains (99). Les résultats ont montré une altération à ce test de RM chez ces patients (99). Ainsi, la douleur, le SDRC, la dystonie et la maladie de Parkinson auraient pu être des critères de non inclusion pour éviter des disparités entre les groupes. De plus, comme cité dans le protocole de Maxence Brodu et pour évaluer une population similaire à celle de Gallimard et al., les mêmes critères de non inclusion auraient pu être utilisés (4,5). C'est-à-dire les personnes ayant des antécédents de

troubles neurologiques ou des antécédents de troubles moteurs au niveau des membres supérieurs (4,5).

Un autre critère d'inclusion de DE aurait pu être ajouté afin d'obtenir un écart plus grand d'expérience et de pratique entre les étudiants en K5 et les DE. En effet, bien que la moyenne d'années d'expérience après le diplôme dans le groupe DE soit de 9,6 ans, plusieurs d'entre eux ont moins d'un an de pratique (9,8 %). Ainsi, définir un nombre minimum d'années de pratique après le diplôme aurait été pertinent. Par exemple, décider de n'inclure uniquement les DE ayant plus de 3 ans d'expérience aurait permis d'avoir une évolution de 3 ans minimum comme les années qui séparent les K2 des K5. Gallimard et al. ont choisi des étudiants en K3 et K4 pour différencier les groupes du cycle 1 et du cycle 2, peut être qu'une seule année de différence entre ces deux groupes est insuffisante pour observer une modification (4). Sachant que la formation à l'imagerie mentale peut avoir une influence sur les résultats, ajouter cette formation aux critères de non inclusion aurait été une bonne solution (80). En revanche, il aurait fallu inclure les K4 et non les K5 puisque les enseignements sur l'imagerie mentale se déroulent en fin de K4. Enfin, connaissant les différences de représentation de la main dominante entre les droitiers et gauchers, ainsi que « *l'effet de latéralité* », il aurait été intéressant de définir un critère de non inclusion pour inclure uniquement des droitiers ou uniquement des gauchers dans l'étude (44,67–69). Cela aurait pu éviter des différences entre les groupes à ce propos.

Selon l'INSEE, en 2020, 2/3 des Français de plus de 15 ans pratiquaient une activité physique régulière (100). Dans notre étude, les participants semblent être plus actifs que la population générale puisque 88,2 % des K2 font du sport toutes les semaines ; 97,4 % des K5 en pratiquent et c'est le cas de 92,2 % des DE. Il n'y a pas eu de groupe contrôle dans cette étude. Pourtant, au vu de leur activité, cela aurait été pertinent pour savoir si les étudiants en kinésithérapie ont déjà une sensorimotricité différente de la population générale. Il aurait aussi été pertinent de comparer le groupe d'étudiants et/ou de diplômés en kinésithérapie avec un groupe de personnes sportives qui pratiquent des activités variées pour savoir si ce sont bien les études et/ou l'expérience de la kinésithérapie et non le sport qui jouent sur les résultats.

Nos résultats comparés à ceux de Gallimard et al., ont apporté des données intéressantes. En revanche, les écarts entre ces deux études chez les étudiants aux cours de la formation pourraient aussi être expliquées par une population différentes (K2 et K5 VS K3 et K4) (4). Ainsi, il serait pertinent d'approfondir ces recherches. Une étude complémentaire qui ferait passer à la fois des tests d'imagerie motrice explicite et implicite aux mêmes participants pourrait confirmer ou non les résultats obtenus en diminuant les risques de confusion. De plus, d'autres particularités pourraient être améliorées pour diminuer certains biais cités précédemment.

6.4. Perspectives personnelles

Ce travail d'initiation à la recherche nous a permis d'identifier la complexité de mettre en œuvre un protocole déjà conçu. Cela nous a permis de comprendre à quel point les démarches pouvaient être longues et compliquées à chaque étape. Tout d'abord, nous l'avons remarqué lors du recrutement des participants. En effet, il a été difficile de trouver le bon nombre de volontaires dans les temps établis. Nous avons dû relancer plusieurs fois les sollicitations auprès des réseaux d'étudiants et de diplômés.

De plus, nous avons pris conscience de la nécessité mais aussi de la part que prenait les démarches éthiques concernant le droit des données dans une étude comme celle-ci en envoyant à chaque participant le document « *Note d'informations pour les participants à la recherche* ». Une fois toutes les données obtenues, nous avons remarqué à quel point calculer les moyennes de chaque participant et construire un tableau Excel pour les répertorier était répétitif, long, et facilement source d'erreur. Cela nous a aussi permis de mieux comprendre l'utilisation de certains tests statistiques.

Grâce à la lecture de littérature sur la sensorimotricité et l'imagerie motrice pour expliquer nos propos, nous avons développé de nombreuses connaissances théoriques à ce sujet. L'interprétation des résultats a mis en évidence la nécessité absolue d'une grande neutralité et de la rigueur de la part des expérimentateurs pour identifier objectivement les limites et les biais présents dans une étude. Nous avons aussi réalisé que même si des résultats étaient différents des hypothèses initiales, ils apportaient une source de réponse intéressante.

Pour conclure, ce mémoire de fin d'études nous a aidé à comprendre les démarches de recherches et à les rendre plus concrètes. Cela nous permettra par la suite de mieux appréhender la lecture d'articles scientifiques dans le domaine de la santé, ce qui sera nécessaire pour se tenir à jour des évolutions tout au long de notre carrière professionnelle et d'exercer notre profession avec un recul réflexif suffisant pour ajuster notre pratique.

7. Conclusion

Les données sur la discrimination tactile et la sensibilité palpatoire des chiropraticiens nous ont montré qu'il existait une évolution de différents aspects de la sensorimotricité des thérapeutes manuels (36,89).

De plus, notre étude, associée à celle de Gallimard et al., nous ont apporté des résultats intéressants à propos de l'évolution de la sensorimotricité chez les étudiants et les diplômés en masso-kinésithérapie (4). Notre étude portant sur l'évolution de la sensorimotricité grâce à un test de reconnaissance de latéralité a mis en évidence des différences significatives entre les deux groupes d'étudiants (K2 et K5) avec des temps de réponse (TR) plus rapides pour les K5 pour les images de mains et pour les images de pieds. Des TR plus longs chez les DE que chez les K5 ont été observés pour les images de pieds. La comparaison K2/DE n'a montré aucune différence significative. Cette étude suggère qu'il y a une évolution positive de la sensorimotricité entre les K2 et les K5.

L'étude de Gallimard et al. évaluant la sensorimotricité à l'aide de l'imagerie motrice (IM) explicite a montré de meilleurs résultats pour les DE que pour les étudiants pour la modalité d'imagerie kinesthésique pour le membre supérieur, le tronc et l'association du membre supérieur et du tronc mais pas pour le membre inférieur (4).

Ainsi, notre hypothèse de départ selon laquelle nous pensions trouver une amélioration de la sensorimotricité en fonction des années de pratique de la kinésithérapie, que ce soit pendant les études ou après l'obtention du diplôme, n'a pas été mis en évidence avec notre seule étude mais plutôt avec les deux combinées. Au vu des différences entre IM explicite et IM implicite, nous suggérons qu'il y aurait d'abord une évolution de la sensorimotricité dans le sens des représentations du corps au cours de l'avancée des années

d'études, puis, une amélioration au niveau de la planification interne des actes moteurs une fois le diplôme obtenu (4,31,51,83,86,90,92).

Certaines limites de ces études sont cependant importantes à prendre en compte. C'est pourquoi il serait nécessaire de poursuivre des recherches pour pouvoir confirmer ou infirmer ces résultats.

Bibliographie

1. Martínez-Amat A, Hita-Contreras F, Lomas-Vega R, Caballero-Martínez I, Alvarez PJ, Martínez-López E. Effects of 12-week proprioception training program on postural stability, gait, and balance in older adults: a controlled clinical trial. *J Strength Cond Res.* août 2013;27(8):2180-8.
2. Tseng YT, Chen FC, Tsai CL, Konczak J. Upper limb proprioception and fine motor function in young pianists. *Hum Mov Sci.* févr 2021;75:102748.
3. Blanchet M, Prince F. Mediolateral Postural Control Mechanisms and Proprioception Improve With Kicking Sports Training During Adolescence. *Pediatric exercise science.* 30 juin 2023;35:1-9.
4. Gallimard M, Robin N, Rulleau T. Évolution de la sensorimotricité chez les étudiants en masso-kinésithérapie et chez les professionnels diplômés. *Kinésithérapie, la Revue.* 1 mars 2023;23(255):26-7.
5. BRODU M. Evaluation de l'évolution sensorimotrice chez les étudiants et diplômés en masso-kinésithérapie par une tâche de rotation mentale. *Elaboration d'un protocole.* 2023.
6. Villa-Berges E, Laborda Soriano AA, Lucha-López O, Tricas-Moreno JM, Hernández-Secorún M, Gómez-Martínez M, et al. Motor Imagery and Mental Practice in the Subacute and Chronic Phases in Upper Limb Rehabilitation after Stroke: A Systematic Review. *Occup Ther Int.* 2023;2023:3752889.
7. Piaget J. Le Point De Vue De Piaget. *International Journal of Psychology.* janv 1968;3(4):281-99.
8. Robin N, Coudeville GR, Dominique L, Rulleau T, Champagne R, Guillot A, et al. Translation and validation of the movement imagery questionnaire-3 second French version. *J Bodyw Mov Ther.* oct 2021;28:540-6.
9. Historique de la formation de masseur-kiné de notre centre, à Paris [Internet]. IFMK. [cité 3 mars 2024]. Disponible sur: <https://www.ifmk.fr/historique/>
10. Décret n° 2019-1125 du 4 novembre 2019 relatif à l'accès aux formations de médecine, de pharmacie, d'odontologie et de maïeutique. 2019-1125 nov 4, 2019.
11. Arrêté du 28 octobre 2009 relatif à la première année commune aux études de santé.
12. enseignementsup-recherche.gouv.fr [Internet]. [cité 13 mars 2024]. Le parcours d'accès spécifique santé (PASS) et la licence « accès santé » (LAS). Disponible sur: <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/le-parcours-d-acces-specifique-sante-pass-et-la-licence-acces-sante-las-50951>
13. Article 25 - Arrêté du 2 septembre 2015 relatif au diplôme d'Etat de masseur-kinésithérapeute - Légifrance [Internet]. [cité 13 mars 2024]. Disponible sur: https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article_lc/LEGIARTI000036834862/2020-11-03
14. Devenir kinésithérapeute [Internet]. Ordre des masseurs-kinésithérapeutes. [cité 3 mars 2024]. Disponible sur: <https://www.ordremk.fr/je-suis-etudiant/etudes/devenir-kinesitherapeute/>
15. Arrêté du 17 janvier 2020 relatif à l'admission dans les instituts préparant au diplôme d'Etat de masseur-kinésithérapeute.

16. Découvrir le métier [Internet]. Ordre des masseurs-kinésithérapeutes. [cité 2 févr 2024]. Disponible sur: <https://www.ordremk.fr/je-suis-etudiant/decouvrir-le-metier/>
17. Décret n° 2015-1110 du 2 septembre 2015 relatif au diplôme d'Etat de masseur-kinésithérapeute. 2015-1110 sept 2, 2015.
18. Trouver un institut de formation en France [Internet]. Ordre des masseurs-kinésithérapeutes. [cité 2 févr 2024]. Disponible sur: <https://www.ordremk.fr/je-suis-etudiant/formation/trouver-un-institut-de-formation-en-france/>
19. Formation MK IFM3R (Masso-kinésithérapie) - Pays de la Loire [Internet]. [cité 3 févr 2024]. Disponible sur: <https://www.ifm3r.fr/la-formation-masso-kine.html>
20. Les ECTS : qu'est-ce que c'est? – FNEK [Internet]. [cité 3 févr 2024]. Disponible sur: <https://www.fnek.fr/services-a-letudiant/mes-droits/les-ects-quest-ce-que-cest/>
21. Arrêté du 2 septembre 2015 relatif au diplôme d'Etat de masseur-kinésithérapeute.
22. La formation en masso-kinésithérapie – FNEK [Internet]. [cité 3 févr 2024]. Disponible sur: <https://www.fnek.fr/les-etudes/la-formation-en-masso-kinesitherapie/>
23. Asan AS, McIntosh JR, Carmel JB. Targeting Sensory and Motor Integration for Recovery of Movement After CNS Injury. *Front Neurosci.* 2021;15:791824.
24. Wolpert DM, Goodbody SJ, Husain M. Maintaining internal representations: the role of the human superior parietal lobe. *Nat Neurosci.* oct 1998;1(6):529-33.
25. Morange-Majoux F. 4. Traitement de l'information dans les systèmes sensoriels et moteurs. In: Manuel visuel de psychophysiologie [Internet]. Paris: Dunod; 2017 [cité 6 juill 2023]. p. 69-111. (Manuels visuels de Licence). Disponible sur: <https://www.cairn.info/manuel-visuel-de-psychophysiologie--9782100765423-p-69.htm>
26. Vercher JL, Bourdin C. Chapitre 2. Sensorimotricité et performance motrice. In: Denis M, éditeur. *La psychologie cognitive* [Internet]. Paris: Éditions de la Maison des sciences de l'homme; 2012 [cité 17 mars 2024]. p. 71-99. (Cogniprisme). Disponible sur: <https://books.openedition.org/editionsmsmh/14778>
27. Jeannerod M. Neural Simulation of Action: A Unifying Mechanism for Motor Cognition. *NeuroImage.* juill 2001;14(1):S103-9.
28. Paillard J. LES NIVEAUX SENSORI-MOTEUR ET COGNITIF: DU CONTROLE DE L'ACTION.
29. Jover M, Assaiante C. Le développement typique et atypique des actions: théories, recherches et pratiques. *Enfance.* 2016;1(1):15-33.
30. Vercher JL, Bourdin C. Chapitre 2. Sensorimotricité et performance motrice. In: Denis M, éditeur. *La psychologie cognitive* [Internet]. Paris: Éditions de la Maison des sciences de l'homme; 2019 [cité 15 juill 2023]. p. 71-99. (Cogniprisme). Disponible sur: <http://books.openedition.org/editionsmsmh/14778>
31. Lebon F, Gueugneau N, Papaxanthis C. Modèles internes et imagerie motrice. *Mov Sport Sci/Sci Mot.* 2013;(82):51-61.

32. Meugnot A. Immobilisation de courte durée d'un membre et Imagerie motrice [Internet] [These de doctorat]. Poitiers; 2014 [cité 16 oct 2023]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2014POIT5010>
33. Shadmehr R, Mussa-Ivaldi FA. Adaptive representation of dynamics during learning of a motor task. *J Neurosci.* mai 1994;14(5 Pt 2):3208-24.
34. Flanagan JR, Vetter P, Johansson RS, Wolpert DM. Prediction Precedes Control in Motor Learning. *Current Biology.*
35. Vuillerme N, Teasdale N, Nougier V. The effect of expertise in gymnastics on proprioceptive sensory integration in human subjects. *Neurosci Lett.* 28 sept 2001;311(2):73-6.
36. Dane AB, Teh E, Reckelhoff KE, Ying PK. Differences of Cutaneous Two-Point Discrimination Thresholds Among Students in Different Years of a Chiropractic Program. *J Manipulative Physiol Ther.* sept 2017;40(7):511-6.
37. Ikeda T, Oka S, Tokuhiko J, Suzuki A, Matsuda K. Short-Term Cast Immobilization of a Unilateral Lower Extremity and Physical Inactivity Induce Postural Instability during Standing in Healthy Young Men. *Healthcare (Basel).* 13 sept 2023;11(18):2525.
38. Tyc F, Boyadjian A, Devanne H. Motor cortex plasticity induced by extensive training revealed by transcranial magnetic stimulation in human. *Eur J Neurosci.* janv 2005;21(1):259-66.
39. Horváth Á, Ferentzi E, Schwartz K, Jacobs N, Meyns P, Köteles F. The measurement of proprioceptive accuracy: A systematic literature review. *J Sport Health Sci.* mars 2023;12(2):219-25.
40. Han J, Waddington G, Anson J, Adams R. Level of competitive success achieved by elite athletes and multi-joint proprioceptive ability. *Journal of Science and Medicine in Sport.* 1 janv 2015;18(1):77-81.
41. Masson Elsevier, Philippe Le Cavorzin. EM-Consulte. [cité 2 oct 2023]. Neurophysiologie de la fonction proprioceptive et récupération postlésionnelle. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/750697/neurophysiologie-de-la-fonction-proprioceptive-et->
42. Ceschi G, Pictet A. Imagerie mentale et psychothérapie: Un ouvrage sur la psychopathologie cognitive. Mardaga; 2018. 294 p.
43. Kosslyn SM, Ganis G, Thompson WL. Neural foundations of imagery. *Nat Rev Neurosci.* sept 2001;2(9):635-42.
44. Thomas Rulleau. Application clinique de l'imagerie motrice en rééducation [En ligne]. Thèse Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives. Poitiers : Université de Poitiers, 2017. Disponible sur Internet <<http://theses.univ-poitiers.fr>>.
45. Malouin F, Richards CL. Mental practice for relearning locomotor skills. *Phys Ther.* févr 2010;90(2):240-51.
46. Rulleau T, Mateo S. Méthodologie de recherche en imagerie motrice. In 2019. p. 312.
47. Rulleau T, Toussaint L. L'imagerie motrice en rééducation. *Kinésithérapie, la Revue.* avr 2014;14(148):51-4.

48. Decety J, Michel F. Comparative analysis of actual and mental movement times in two graphic tasks. *Brain and Cognition*. 1989;11(1):87-97.
49. Decety J, Jeannerod M, Germain M, Pastene J. Vegetative response during imagined movement is proportional to mental effort. *Behavioural Brain Research*. 31 janv 1991;42(1):1-5.
50. Stippich C, Ochmann H, Sartor K. Somatotopic mapping of the human primary sensorimotor cortex during motor imagery and motor execution by functional magnetic resonance imaging. *Neuroscience Letters*. 4 oct 2002;331(1):50-4.
51. Gerardin E, Sirigu A, Lehericy S, Poline JB, Gaymard B, Marsault C, et al. Partially overlapping neural networks for real and imagined hand movements. *Cereb Cortex*. nov 2000;10(11):1093-104.
52. Guillot A, Di Rienzo F, Pialoux V, Simon G, Skinner S, Rogowski I. Implementation of Motor Imagery during Specific Aerobic Training Session in Young Tennis Players. *PLoS One*. 18 nov 2015;10(11):e0143331.
53. Allami N, Paulignan Y, Brovelli A, Boussaoud D. Visuo-motor learning with combination of different rates of motor imagery and physical practice. *Exp Brain Res*. 1 janv 2008;184(1):105-13.
54. Robin N. IMAGERIE MENTALE ET PERFORMANCE MOTRICE [Internet] [phdthesis]. Université de poitiers; 2005 [cité 14 sept 2023]. Disponible sur: <https://hal.science/tel-01529487>
55. Stinear CM, Byblow WD, Steyvers M, Levin O, Swinnen SP. Kinesthetic, but not visual, motor imagery modulates corticomotor excitability. *Exp Brain Res*. janv 2006;168(1-2):157-64.
56. Ryan ED, Simons J. Efficacy of Mental Imagery in Enhancing Mental Rehearsal of Motor Skills. *Journal of Sport and Exercise Psychology*. 1 mars 1982;4(1):41-51.
57. Gueugneau N, Pozzo T, Papaxanthis C. La simulation mentale du mouvement : données expérimentales et implications cliniques. 1 janv 2007;475:29-37.
58. Robin N, Coudevylle G, Dominique L, Rulleau T, Guillot A, Toussaint L. MIQ-3Sf Questionnaire en Imagerie du Mouvement 3 seconde version adaptée (Robin et al., 2021) questionnaire inclus dans le document. 29 sept 2021;
59. Hoyek N, Collet C, Guillot A. Représentation mentale et processus moteur : le cas de la rotation mentale. *Science & Motricité*. 2010;(71):29-39.
60. Hiew S, Roothans J, Eldebakey H, Volkmann J, Zeller D, Reich MM. Imaging the spin: Disentangling the core processes underlying mental rotation by network mapping of data from meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 1 juill 2023;150:105187.
61. Shepard RN, Metzler J. Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*. 19 févr 1971;171(3972):701-3.
62. Cooper LA, Shepard RN. Chronometric studies of the rotation of mental images. In: *Visual information processing*. Oxford, England: Academic; 1973. p. xiv, 555-xiv, 555.
63. Parsons LM. Temporal and kinematic properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. août 1994;20(4):709-30.

64. Parsons L, Fox P. The neural basis of implicit movements used in recognising hand shape. *Cognitive Neuropsychology* [Internet]. 1 sept 1998 [cité 18 oct 2023]; Disponible sur: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-neural-basis-of-implicit-movements-used-in-hand-Parsons-Fox/0bb3a01b071d9f0c133d53e404ce7564e3d916d1>
65. Petit LS, Pegna AJ, Mayer E, Hauert CA. Representation of anatomical constraints in motor imagery: Mental rotation of a body segment. *Brain and Cognition*. 1 févr 2003;51(1):95-101.
66. ter Horst AC, van Lier R, Steenbergen B. Mental rotation task of hands: differential influence number of rotational axes. *Exp Brain Res*. juin 2010;203(2):347-54.
67. Volkman J, Schnitzler A, Witte OW, Freund H. Handedness and asymmetry of hand representation in human motor cortex. *J Neurophysiol*. avr 1998;79(4):2149-54.
68. Civardi C, Cavalli A, Naldi P, Varrasi C, Cantello R. Hemispheric asymmetries of cortico-cortical connections in human hand motor areas. *Clin Neurophysiol*. avr 2000;111(4):624-9.
69. Jones HG, Braithwaite FA, Edwards LM, Causby RS, Conson M, Stanton TR. The effect of handedness on mental rotation of hands: a systematic review and meta-analysis. *Psychol Res*. nov 2021;85(8):2829-81.
70. Gentilucci M, Benuzzi F, Bertolani L, Elena Daprati, Gangitano M. Recognising a hand by grasp. *Cognitive Brain Research*. 1 mars 2000;9(2):125-35.
71. Kosslyn SM, DiGirolamo GJ, Thompson WL, Alpert NM. Mental rotation of objects versus hands: neural mechanisms revealed by positron emission tomography. *Psychophysiology*. mars 1998;35(2):151-61.
72. Hamada H, Matsuzawa D, Sutoh C, Hirano Y, Chakraborty S, Ito H, et al. Comparison of brain activity between motor imagery and mental rotation of the hand tasks: a functional magnetic resonance imaging study. *Brain Imaging Behav*. déc 2018;12(6):1596-606.
73. Haslam BS, Butler DS, Cocks TS, Kim AS, Carey LM. Body Schema as Assessed by Upper Limb Left/Right Judgment Tasks Is Altered in Stroke: Implications for Motor Imagery Training. *J Neurol Phys Ther*. 1 janv 2023;47(1):26-34.
74. Coslett HB, Medina J, Kliot D, Burkey A. Mental motor imagery and chronic pain: the foot laterality task. *J Int Neuropsychol Soc*. juill 2010;16(4):603-12.
75. Karádi K, Szabó I, Szepesi T, Kállai J, Kovács B. Sex differences on the hand mental rotation task for 9-yr.-old children and young adults. *Percept Mot Skills*. déc 1999;89(3 Pt 1):969-72.
76. Mochizuki H, Takeda K, Sato Y, Nagashima I, Harada Y, Shimoda N. Response time differences between men and women during hand mental rotation. *PLoS One*. 2019;14(7):e0220414.
77. Conson M, De Bellis F, Baiano C, Zappullo I, Raimo G, Finelli C, et al. Sex differences in implicit motor imagery: Evidence from the hand laterality task. *Acta Psychol (Amst)*. févr 2020;203:103010.
78. Muto H, Suzuki M, Sekiyama K. Advanced aging effects on implicit motor imagery and its links to motor performance: An investigation via mental rotation of letters, hands, and feet. *Front Aging Neurosci*. 2022;14:1025667.

79. Saimpont A, Pozzo T, Papaxanthis C. Aging affects the mental rotation of left and right hands. *PLoS One*. 26 août 2009;4(8):e6714.
80. Berneiser J, Jahn G, Grothe M, Lotze M. From visual to motor strategies: Training in mental rotation of hands. *Neuroimage*. 15 févr 2018;167:247-55.
81. de Lange FP, Helmich RC, Toni I. Posture influences motor imagery: An fMRI study. 2006;
82. Ionta S, Fourkas AD, Fiorio M, Aglioti SM. The influence of hands posture on mental rotation of hands and feet. *Exp Brain Res*. oct 2007;183(1):1-7.
83. Brusa F, Erden MS, Sedda A. More implicit and more explicit motor imagery tasks for exploring the mental representation of hands and feet in action. *Exp Brain Res*. déc 2023;241(11-12):2765-78.
84. de Vries S, Tepper M, Feenstra W, Oosterveld H, Boonstra AM, Otten B. Motor imagery ability in stroke patients: the relationship between implicit and explicit motor imagery measures. *Front Hum Neurosci*. 19 nov 2013;7:790.
85. Hanakawa T, Dimyan MA, Hallett M. Motor planning, imagery, and execution in the distributed motor network: a time-course study with functional MRI. *Cereb Cortex*. déc 2008;18(12):2775-88.
86. Kim A, Yang EJ, Ji M, Beom J, Yi C. Distorted body schema after mastectomy with immediate breast reconstruction: a 4-month follow up study. *PeerJ*. 2022;10:e14157.
87. Choplin A. L'imitation socioconstructiviste au service de l'efficacité palpatoire des étudiants masseurs-kinésithérapeutes : émergence d'une habileté massothérapeutique dans la prise en charge de la fibromyalgie [Internet] [phdthesis]. Faculté d' Aix-Marseille1; 2015 [cité 25 févr 2024]. Disponible sur: <https://theses.hal.science/tel-01205648>
88. Article L1121-1 - Code de la santé publique - Légifrance [Internet]. [cité 20 mars 2024]. Disponible sur: https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000046125746
89. Foster IE, Bagust J. Cutaneous two-point discrimination thresholds and palpatory sensibility in chiropractic students and field chiropractors. *J Manipulative Physiol Ther*. sept 2004;27(7):466-71.
90. Guillot A, Rienzo FD, Collet C, Guillot A, Rienzo FD, Collet C. The Neurofunctional Architecture of Motor Imagery. In: *Advanced Brain Neuroimaging Topics in Health and Disease - Methods and Applications* [Internet]. IntechOpen; 2014 [cité 7 mars 2024]. Disponible sur: <https://www.intechopen.com/chapters/46103>
91. Monany DR. Comprendre et optimiser les stratégies mentales au cours de l'apprentissage moteur [Internet] [phdthesis]. Université Bourgogne Franche-Comté; 2022 [cité 18 mars 2024]. Disponible sur: <https://theses.hal.science/tel-04119958>
92. Shenton JT, Schwoebel J, Coslett HB. Mental motor imagery and the body schema: evidence for proprioceptive dominance. *Neuroscience Letters*. 3 nov 2004;370(1):19-24.
93. Ferri F, Frassinetti F, Costantini M, Gallese V. Motor Simulation and the Bodily Self. *PLoS One*. 25 mars 2011;6(3):e17927.

94. Hormigo S, Cardoso A, Sancho C, López DE, Moreno C. Associations between sensorimotor gating mechanisms and athletic performance in a variety of physical conditioning tests. *Eur J Appl Physiol.* avr 2019;119(4):921-32.
95. Hartnoll SH, Punt TD. Yoga practice is associated with superior motor imagery performance. *Int J Yoga Therap.* nov 2017;27(1):81-6.
96. Martín-Mohr CS, Valladares A, Cristi I, Berral FJ, Oyarzo C, Lira F. DIFFERENCES IN KNEE SENSORIMOTOR CONTROL BY PHYSICAL ACTIVITY LEVEL AND SEX. *Acta Ortop Bras.* 2019;27(1):20-6.
97. Fiorio M, Tinazzi M, Aglioti S. Selective impairment of hand mental rotation in patients with focal hand dystonia. *Brain : a journal of neurology.* 1 févr 2006;129:47-54.
98. Bek J, Humphries S, Poliakoff E, Brady N. Mental rotation of hands and objects in ageing and Parkinson's disease: differentiating motor imagery and visuospatial ability. *Exp Brain Res.* août 2022;240(7-8):1991-2004.
99. Lee D, Choi SH, Noh E, Lee WJ, Jang JH, Moon JY, et al. Impaired Performance in Mental Rotation of Hands and Feet and Its Association with Social Cognition in Patients with Complex Regional Pain Syndrome. *Pain Med.* 4 juin 2021;22(6):1411-9.
100. Deux tiers des 15 ans ou plus ont une activité physique ou sportive régulière en 2020 – France, portrait social | Insee [Internet]. [cité 9 mars 2024]. Disponible sur: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/6535289?sommaire=6535307>

Annexe 1 : Maquette de formation de masseur-kinésithérapeute dans l'Arrêté du 2 septembre 2015 relatif au diplôme d'État de masseur-kinésithérapeute

MINISTÈRE DES AFFAIRES SOCIALES, DE LA SANTÉ ET DES DROITS DES FEMMES

ANNEXE III

MAQUETTE DE FORMATION DE MASSEUR-KINÉSITHÉRAPEUTE

CYCLE 1		ECTS	ECTS	Positionnement dans les semestres		ECTS	Positionnement dans les semestres		Cours magistraux (CM)	Travaux dirigés (TD)	Total CM + TD + formation pratique MK	Temps Personnel (TP)	
				1er cycle	1ère ANNEE		S1	S2					2ème ANNEE
1er cycle (S1 à S4)	Enseignements fondamentaux	UE 1. Santé publique	5	5	X	X				30	20	50	75
		UE 2. Sciences humaines et sciences sociales	6	6	X	X				40	20	60	90
		UE 3. Sciences biomédicales	12	7 à 10	X	X	2 à 5	X	X	90	30	120	180
		UE 4. Sciences de la vie et du mouvement (anatomie, physiologie, cinésiologie)	20	8 à 12	X	X	8 à 12	X	X	120	80	200	300
		UE 5. Sémiologie, physiopathologie et pathologie du champ musculosquelettique 1	6				6	X	X	50	10	60	90
		TOTAL	49							330	160	490	735
	Sciences et ingénierie en kinésithérapie	UE 6. Théories, modèles, méthodes et outils en kinésithérapie	8	3 à 5	X	X	3 à 5	X	X	40	40	80	120
		UE 7. Evaluation, techniques et outils d'intervention dans les principaux champs d'activité 1	28	12 à 16	X	X	12 à 16	X	X	30	250	280	420
		TOTAL	36							70	290	360	540
	Apprentissages et approfondissement	UE 8. Méthodes de travail et méthodes de recherche	4	2	X	X	2	X	X	15	25	40	60
		UE 9. Langue anglaise professionnelle	4	2	X	X	2	X	X		40	40	60
		UI 10. Démarche et pratique clinique : élaboration du raisonnement professionnel et analyse réflexive	5				5	X	X	10	40	50	75
		UE 11. Formation à la pratique masso-kinésithérapique	18									630	80
		stage 1		2 à 3	X							80	10
		stage 2		3 à 4		X						130	10
		stage 3						6	X			210	30
		stage 4						6		X		210	30
		UE 12 OPTIONNELLE 1	2	2	X	X				10	10	20	30
UE 13 OPTIONNELLE 2	2				2	X	X	10	10	20	30		
TOTAL	35							45	125	800	335		
		120	53 à 66			54 à 67			445	575	1650	1610	

MINISTÈRE DES AFFAIRES SOCIALES, DE LA SANTÉ ET DES DROITS DES FEMMES

CYCLE 2		ECTS	ECTS	Positionnement dans les semestres		ECTS	Positionnement dans les semestres		Cours magistraux (CM)	Travaux dirigés (TD)	Total CM + TD + formation pratique MK	Temps Personnel (TP)
				S5	S6		S7	S8				
UE	2ème cycle	3ème ANNEE	S5	S6	4ème ANNEE	S7	S8	2ème cycle				
								ECTS	ECTS	Cours magistraux (CM)	Travaux dirigés (TD)	Total CM + TD + formation pratique MK
Enseignements fondamentaux	UE 14. Droit, législation et gestion d'une structure	6			6	X	X	45	15	60	90	
	UE 15. Sémiologie, physiopathologie et pathologie du champ musculosquelettique 2	6	6	X	X			50	10	60	90	
	UE 16. Sémiologie, physiopathologie et pathologie dans le champ neuromusculaire	7	7	X	X			50	20	70	105	
	UE 17 Sémiologie, physiopathologie et pathologie dans les champs respiratoire, cardio-vasculaire, interne et tégumentaire	5	5	X	X			40	10	50	75	
	UE 18 Physiologies, sémiologie physiopathologies et pathologies spécifiques	6	6	X	X			50	10	60	90	
TOTAL	30							235	65	300	450	
Sciences et ingénierie en kinésithérapie	UE 19. Evaluation, techniques et outils d'Intervention dans le champ musculosquelettique 2	7	3 à 5	X	X	2 à 4	X	20	50	70	105	
	UE 20.Evaluation, techniques et outils d'Intervention dans le champ neuromusculaire 2	5	1 à 3	X	X	2 à 4	X	15	35	50	75	
	UE 21.Evaluations, techniques et outils d'Interventions dans les champs respiratoire, cardio-vasculaire, interne et tégumentaire 2	5	1 à 3	X	X	2 à 4	X	20	30	50	75	
	UE 22 Théories, modèles, méthodes et outils en réadaptation	4	1 à 3		X	1 à 3	X	20	20	40	60	
	UE 23. Interventions spécifiques en kinésithérapie	8	2 à 4		X	4 à 6	X	40	40	80	120	
	UE 24 Interventions du kinésithérapeute en santé publique	5	1 à 2	X	X	3 à 4	X	25	25	50	75	
TOTAL	34							140	200	340	510	
Approfondissement et professionnalisation	UI 25 Démarche et pratique clinique : conception du traitement et conduite d'intervention	4	4		X			10	30	40	60	
	UE 26. Langue anglaise professionnelle	4	2	X	X	2	X	40		40	60	
	UE 27 Méthodes de travail et méthodes de recherche en kinésithérapie	6	2 à 4	X	X	2 à 4	X	20	40	60	90	
	UE 28 Mémoire	8				8	X	10	70	80	180	
	UI 29 Analyse et amélioration de la pratique professionnelle	4				4		5	35	40	60	
	UE 30. Formation à la pratique masso-kinésithérapique	24								840	110	
	stage 5		6	X						210	25	
	stage 6		6		X					210	25	
	stage 7 - Clinicat						X					
	stage 7 - Clinicat					12		X			420	60
	UE 31. OPTIONNELLE 3	2	2	X	X			10	10	20	30	
	UE 32. OPTIONNELLE 4	4				4	X	X	20	20	40	60
TOTAL	56							75	245	1160	650	
		120	55 à 68			52 à 65		450	510	1800	1610	
CYCLE 1		120						445	575	1650	1610	
CYCLE 2		120						450	510	1800	1610	
TOTAL CYCLE 1 ET CYCLE 2		240						895	1085	3450	3220	
Dont formation pratique masso-kinésithérapique											1470	

Annexe 2 : document « Note d'informations pour la participation à la recherche » envoyé aux participants



**Note d'information pour la participation à la recherche
« Evaluation de l'évolution sensorimotrice chez les étudiants et
diplômés en masso-kinésithérapie par une tâche d'imagerie
motrice implicite »**

Titre abrégé : « KiMi »

Promoteur : CHU de Nantes

N° Enregistrement : XXXX

Ce document est remis à la personne participant à la recherche

Madame, Monsieur,

Le Centre Hospitalier et Universitaire de Nantes souhaite mener une recherche dont il est le promoteur (c'est à dire qu'il en est responsable et qu'il l'organise). Cette étude de cohorte vous mobilisera 30minutes et vise à mieux comprendre l'évolution de la sensorimotricité durant les études de kinésithérapie et après. Cette recherche est réalisée à partir de données collectées.

Votre participation à la recherche, au cas où vous donneriez votre accord, ne pourra vous être confirmée qu'à la condition que vous remplissiez tous les critères d'inclusion pour participer à cette recherche.

Cette recherche ne présente pas de risque pour votre santé. Les résultats qui en seront issus serviront à la recherche et n'apporteront pas d'informations supplémentaires concernant votre santé. Ils favoriseront le développement des connaissances dans le domaine de la psychologie cognitive et devront être confirmés, ensuite, par des études cliniques complémentaires, afin de permettre l'essor de nouvelles méthodes de diagnostic, de nouveaux traitements chirurgicaux ou thérapeutiques.

TRAITEMENT DES DONNEES

Le traitement de vos données personnelles a pour fondement juridique l'intérêt public que revêt cette recherche (article 6.1.e du Règlement (UE) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016 relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données (RGPD)). Il s'agit d'une des exceptions prévues par l'article 9 du même texte, permettant le traitement des données de santé.

Le traitement est conforme à la méthodologie de référence MR004 publiée par la CNIL.

Dans le cadre de cette recherche, un traitement informatique de vos données personnelles va être mis en œuvre : cela permettra d'analyser les résultats de la recherche et de remplir l'objectif de la recherche.

Pour cela, les données vous concernant seront recueillies dans un fichier informatique auquel aura accès le Promoteur de la recherche (CHU de Nantes). Des données de suivi pourront être recueillies au-delà de la stricte durée de l'étude.

Afin d'assurer leur confidentialité, vos données seront identifiées par un numéro de code et vos initiales.

Les personnes intervenant dans la recherche dans le cadre de leurs missions auront accès à vos données codées.

Les seules personnes qui auront accès à vos données directement identifiantes sont les personnes qui assurent votre prise en charge dans le cadre de la recherche et les personnes responsables du contrôle et de l'assurance qualité de la recherche.

Vos données pourront, dans des conditions assurant leur confidentialité, via des plateformes ou serveurs sécurisés, faire l'objet de transferts nationaux ou internationaux (comme, par exemple, aux personnes ou sociétés agissant pour le compte du CHU, aux autorités sanitaires habilitées) pour cette étude, ou pour d'autres recherches ultérieures, exclusivement à des fins scientifiques. Au sein de l'Europe la protection de vos données est garantie (Règlement européen UE 2016/679). Hors Europe vos données pourront être transmises dans des états n'ayant pas le même niveau d'exigence en termes de protection des données. Le cas échéant, le Promoteur prendra toutes les mesures nécessaires pour protéger les données recueillies et devra s'engager à assurer un niveau de sécurité équivalent à celui couvert par les lois françaises et européennes pour les données envoyées à l'étranger. Si vous le souhaitez, vous pouvez obtenir la copie de l'ensemble des mesures prises pour assurer l'ensemble de la protection de vos données auprès du Délégué à la Protection des Données (DPD) voir en fin de document, paragraphe « vos contacts ».

Vos données pseudonymisées (identifiées par un numéro de code et vos initiales) seront susceptibles d'être exploitées dans le cadre de publications ou de communications ; dans ce cas votre anonymat sera préservé.

Conformément aux dispositions de la loi relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés (loi modifiée du 6 janvier 1978), et du Règlement (UE) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016 relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données (RGPD), vous disposez d'un droit d'accès, de rectification, de limitation et d'opposition du traitement de vos données personnelles. Si vous décidez de retirer votre consentement pour participer à la recherche, les données obtenues avant que celui-ci n'ait été retiré seront utilisées conformément à l'article L.1122-1-1 du CSP. Les données recueillies après le retrait de votre consentement ne seront pas utilisées pour

cette recherche et resteront destinées à l'usage strict du soin. Vous pouvez également porter une réclamation auprès d'une autorité de contrôle (CNIL pour la France : <https://www.cnil.fr/fr/webform/adresser-une-plainte/>).

Ces données pourront être utilisées lors de recherches ultérieures exclusivement à des fins scientifiques. Vous pouvez retirer votre consentement à cette utilisation ultérieure ou exercer votre faculté d'opposition à tout moment.

Vous pouvez également accéder directement ou par l'intermédiaire d'un médecin de votre choix à l'ensemble de vos données médicales en application des dispositions de l'article L 1111-7 du Code de la Santé Publique.

Vos données seront conservées tout au long de la recherche. Après la fin de la recherche, les données seront archivées pour une durée de 15 ans, puis détruites.

L'investigateur pourra vous informer, sur votre demande, des résultats globaux de cette recherche.

Pour en savoir plus ou exercer vos droits concernant vos données, voir en fin de document, paragraphe « vos contacts ».

Cette recherche est conforme :

- à la loi « Informatique et Libertés » du 6 janvier 1978 modifiée et la loi n° 2018-493 du 20 juin 2018 relative à la protection des données personnelles

- au Règlement (UE) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016 relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données (RGPD)

ce projet ainsi que le présent document ont été présentés au Groupe Nantais d'éthique dans le domaine de la Santé GNEDS.

Votre participation à cette recherche est libre. Vous pouvez refuser de participer à cette recherche, et vous pouvez à tout moment vous retirer de cette recherche, sans préjudice. Cela n'aura aucune conséquence sur la qualité des soins qui vous seront donnés; vous devez simplement en informer l'investigateur.

VOS CONTACTS :

Pour toute question concernant l'étude, retrait de consentement, ou pour exercer vos droits concernant vos données (accès, rectification, etc...), votre contact privilégié est :

L'investigateur coordonnateur de la recherche :

Thomas Rulleau

Maison de la recherche en santé, 53 chaussée de la madeleine, 44000 Nantes

06.35550335

Pour toute question générale sur le traitement de vos données :

Le promoteur de la recherche, responsable du traitement :

CHU de Nantes, direction de la recherche et de l'innovation

5 allée de l'île Gloriette, 44093 NANTES Cedex 1

Le Délégué à la Protection des Données (DPD) / Data Protection Officer (DPO) :

vosdonneespersonnelles@chu-nantes.fr

