



Institut Régional de Formation aux Métiers de Rééducation et Réadaptation
des Pays de la Loire
54, Rue de la Baugerie - 44230 St Sébastien sur Loire

Les effets du massage sur le fonctionnement du système sensori-moteur chez le sujet jeune sportif

Maël MANCEAU

Travail Ecrit de Fin d'Etudes

en vue de l'obtention du Diplôme d'État de Masseur-Kinésithérapeute

Année scolaire 2016-2017

AVERTISSEMENT

Les travaux écrits de fin d'études 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.

Remerciements

En premier lieu, je remercie l'ensemble des étudiants de la filière STAPS de l'université de Poitiers ayant participé à l'expérience, et qui m'ont ensuite permis de réaliser ce mémoire.

Je tiens à adresser, plus particulièrement, mes remerciements à mon directeur de mémoire Mr Thomas RULLEAU et ma tutrice de stage Mme Lucette TOUSSAINT. Leurs conseils et leurs connaissances m'ont été précieux. Par ailleurs, ils se sont montrés disponibles et très investis tout au long de mon mémoire. Ils ont notamment effectué l'analyse statistique et la rédaction des résultats. Je soulignerai également l'accueil et l'encadrement durant mon stage de troisième année d'étude au Centre de Recherche de la Cognition et de l'Apprentissage par le Professeur Lucette TOUSSAINT et François DEBIEN, qui ont contribué au déroulement de l'expérience dans des conditions idéales.

Enfin je remercie mes proches pour leur aide, leur patience, ainsi que leur relecture attentive tout au long de ce travail.

Le centre de Stage

Mon stage se déroule au Centre de Recherche sur la Cognition et l'Apprentissage à Poitiers. C'est une Unité Mixte de Recherche (UMR) de l'université de Poitiers, l'université François Rabelais de Tours, et du CNRS qui s'intéresse aux processus cognitifs et sociaux-cognitifs chez les humains. Le CeRCA est composé de six équipes s'intéressant aux processus d'attention et de contrôle (ATCO), aux capacités langagières dans le contexte d'interactions finalisées (CLIF), à la cognition sociale (SoCog), à la psychopathologie et à la neuropsychologie des dysfonctionnements cognitifs (DysCo), à la production écrite (PREC), et à l'impact du vieillissement sur la mémoire (VIME). Le centre rassemble environ 500 chercheurs. Durant mon stage, j'appartiens à l'équipe ATCO composée de 8 membres séparés en deux groupes, sous la direction du Professeur Lucette Toussaint.

Résumé

Des auteurs ont récemment démontré que le massage avait un effet sur le fonctionnement du système sensori-moteur chez la personne âgée hospitalisée. Ces sujets ont une activité modérée. Nous avons voulu savoir si le massage activait les processus sensorimoteurs dans une population à l'activité plus soutenue. L'étude présentée ici, expérimente le même principe avec une population de référence différente, à savoir de jeunes sujets sportifs (18 à 30ans).

Les participants sont des étudiants en sciences et techniques des activités physiques et sportives (STAPS). Ils sont divisés en 2 groupes, un groupe témoin (n=22) et un groupe massé (n=25) pendant 10 min sur le genou et le pied. Les participants réalisent un test de rotation mentale de stimuli corporels (RM) avant (T1), immédiatement après le massage(T2) et 24h plus tard (T3). Ce test objective l'activation sensori-motrice des sujets. Il consiste à reconnaître, le plus rapidement et le plus justement possible, la latéralité de membres inférieurs et supérieurs affichés en photo à l'écran. Tout au long de l'expérience, les sujets ont comme consigne de ne pas pratiquer d'activité sportive en dehors de leur cursus universitaire.

Les résultats des tests de RM présentent une amélioration significative des performances chez les sujets massés immédiatement après le massage et préservée 24 h plus tard.

L'activation sensori-motrice des sujets est améliorée grâce au massage. D'un point de vue pratique, cette étude souligne l'intérêt du massage dans la prise en charge de jeunes sportifs, et notamment l'intérêt potentiel dans l'activation sensorimotrice en préparation d'une activité sportive.

Mots Clés

- Système sensori-moteur
- Massage
- Sportif
- Test de rotation mentale
- Imagerie motrice

Abstract

Authors have recently proven that massage had an effect on the functioning of the sensory-motor system for hospitalized elderly. These patients have a moderate activity. We have wanted to know if massage could activate sensory-motor processes in a more active population. The here presented study, experiments that same principle with a different reference population, which are young sports patients (from 18 to 30 y.o.).

Participants are students in sports and physical activities techniques and sciences (STAPS). They are divided into two groups, a witness one (n=22) and a group massaged for 10 minutes on the knee and the foot (n=25). Participants carry out a front body stimuli mental rotation test (T1), right after the massage (T2) and 24 hours later (T3). This test objectifies the sensory-motor activation of the subjects. It consists in recognizing, as quickly and as accurately as possible, the laterality of lower and upper limbs displayed on-screen. Throughout the experience, subjects are asked not to practice any sports activity outside of their university course.

The MR test results showed a significant improvement in performance in subjects massaged immediately after the massage and preserved 24 hours later.

Sensory-motor activation of subjects is improved by the massage. From a practical point of view, this study emphasizes the interest of massage in the care of young athletes, and especially the potential interest in sensory-motor activation in preparation for a physical or sports activity.

Keywords

- The sensorimotor system
- Mental rotation task
- Massage
- Motor imagery
- Sport

Sommaire

1	Cadre théorique	1
1.1	Introduction.....	1
1.2	Le système sensori-moteur (ou SSM)	1
1.2.1	Afférences proprioceptives : point de départ du système sensori-moteur	1
1.2.2	Les mécanorécepteurs.....	3
1.2.3	Les voies proprioceptives ascendantes.....	5
1.2.4	L'intégration proprioceptive	6
1.3	Plasticité cérébrale : introduction et définition	7
1.3.1	Le concept de neuroplasticité.....	7
1.3.2	Homonculus de Penfield.....	9
1.3.3	De la plasticité structurelle à la plasticité fonctionnelle	10
1.4	Le cerveau : « prédicteur » sensori-moteur.....	12
1.4.1	Le modèle interne : définition	12
1.4.2	Modèle interne inverse	13
1.4.3	Modèle interne prédictif	14
1.5	Le massage	15
1.5.1	Définition.....	15
1.5.2	Le massage dans le domaine sportif.....	16
2	Partie expérimentale.....	17
2.1	Le test de rotation mentale(RM)	17
2.1.1	Imagerie visuelle et imagerie motrice	17
2.1.2	Sensible aux changements corporels.....	18
2.1.3	Test de rotation mentale réalisé à partir de l'imagerie motrice	18
2.2	Influence d'un environnement riche et stimulant sur le système sensori-moteur	20
2.3	Le massage et ses conséquences sensorimotrices supposées cliniquement versus documentées dans la littérature.....	21

2.4	Participants.....	23
2.5	Matériel et méthodes.....	23
2.6	Protocole	24
2.7	Analyse des données	25
2.8	Résultats	25
2.9	Discussion.....	26
2.9.1	Effet du massage	26
2.9.2	Perspectives.....	28
3	Conclusion.....	30
4	Références bibliographiques.....	
5	Annexe 1	I
6	Annexe 2	II

Les effets du massage sur le fonctionnement du système sensori-moteur chez le jeune sportif

1 Cadre théorique

1.1 Introduction

Au travers de ce travail, nous allons nous questionner sur le concept de « sensori-motricité ». Chaque jour, notre système sensori-moteur (ou SSM) est en action. Chaque déplacement, chaque posture, chaque action... résulte d'une adaptation de notre organisme face à un message sensitif (1). Notre organisme fait face au quotidien à des expériences sensori-motrices. C'est pourquoi nous avons été amenés à étudier les effets du massage sur le fonctionnement du système sensori-moteur. Et au-delà de l'aspect théorique, il s'agit de découvrir les applications pratiques sur lesquelles cela pourrait déboucher dans le domaine de la rééducation ou de la préparation sportive.

Ce mémoire s'organise en 2 parties. La première intitulée cadre théorique. Elle se constitue de 5 chapitres. Dans cette première partie, nous étudierons la partie anatomophysiologique du système sensori-moteur et les grands concepts qui s'y rattachent. En effet, évoquer ces grandes notions est essentiel pour la compréhension de l'expérience. Nous définirons l'outil qu'est l'imagerie motrice, ainsi que le massage. Dans une seconde partie, nous présenterons les conséquences cliniques supposées du massage sur le SSM puis nous exposerons notre travail expérimental. Pour terminer, nous discuterons les résultats en exposant les perspectives pratiques de ces travaux.

1.2 Le système sensori-moteur (ou SSM)

1.2.1 Afférences proprioceptives : point de départ du système sensori-moteur

Le concept de « sensori-motricité » renvoie à la prise d'informations et son acheminement vers le système nerveux central (cerveau, moelle épinière) ainsi qu'au renvoi de la commande nerveuse conduisant à la contraction musculaire(2). Cette prise d'informations est induite par la proprioception. C'est un terme issu du latin : « proprius » propre à, et « recipere » recevoir. La proprioception se définit par notre « capacité à connaître la position de notre corps dans l'espace ou de chacun de nos membres les uns par rapport aux autres et à

évaluer la résistance contre laquelle une tâche motrice est réalisée (3)». Philippe Le Cavorzin la qualifie d'« une connaissance des parties du corps, de leur position et de leur mouvement dans l'espace, sans que l'individu ait besoin de vérifier avec les yeux » (1)

La proprioception est la détection par le système sensoriel des « perturbations par rapport à la valeur de référence » et la transmission des informations au système nerveux central (4). En tant que point de départ du SSM, elle a deux objectifs :

- Fournir les informations nécessaires à la réalisation des programmes moteurs (contexte, posture, force...).
- Fournir les informations nécessaires à l'adaptation de ce programme en fonction des contraintes extérieures inattendues.

La proprioception a 3 propriétés :

- La statesthésie renseigne sur la position des membres ou des segments les uns par rapport aux autres.
- La kinesthésie renseigne sur le déplacement des membres, leur direction, leur vitesse.
- La sensation de résistance se rapporte à la force appliquée et générée au niveau de l'articulation (1).

On peut distinguer deux éléments dans la physiologie de la proprioception (3) :

La proprioception inconsciente intervient dans le maintien et les ajustements posturaux. Ce sont des mécanismes non conscients d'adaptation rapide reposant sur les voies réflexes médullaires (voie extra-lemnisciale). Elle doit le terme inconsciente au fait qu'elle ne parvienne pas jusqu'au cortex.

Pour notre étude, c'est la proprioception consciente qui va nous intéresser. En effet, c'est elle qui va être activée par le massage. Elle renseigne la position du corps dans l'espace et la position des différents segments des membres les uns par rapport aux autres. En premier lieu, elle repose sur le traitement cortical des informations et sera véhiculée par la voie lemnisciale (voie de la sensibilité profonde). Les récepteurs sensoriels, les mécanorécepteurs constituent le point départ de la proprioception. Il est important de noter que c'est une voie rapide qui est formée par des neurones myélinisés, ce qui va accélérer la propagation. Ensuite, cette voie va transférer les informations suivantes : la position des articulations du corps, les pressions légères et profondes, les déplacements de poils, les effleurements légers, la reconnaissance d'un objet par sa forme (stéréognosie) et les sensations de vibration, permettant l'adaptation de l'organisme dans son environnement.

1.2.2 Les mécanorécepteurs

Le terme de mécanorécepteurs désigne les neurones sensoriels afférents sensibles aux déformations mécaniques. Ils se retrouvent dans les muscles, tendons, fascias, capsules articulaires, ligaments et la peau. Ils transforment la déformation des tissus en un signal modulé en fréquence à travers les voies afférentes et jusqu'au système nerveux central (SNC) en délivrant des impulsions électriques (potentiels d'action) (5). La sollicitation des mécanorécepteurs provoque la sortie de sodium des canaux ioniques libérant un potentiel d'action. Plus la déformation est importante, plus le nombre de potentiel d'action va augmenter, engendrant une augmentation des informations transmises au SNC. Chaque récepteur a une sensibilité spécifique et est plus ou moins sensible à certains stimuli (6).

1.2.2.1 Les récepteurs capsulo-ligamentaires

Ils regroupent deux types de mécanorécepteurs :

- En premier lieu, il est important de noter que les mécanorécepteurs qui seront activés par le massage sont les corpuscules de Pacini. Ils sont sensibles aux mouvements de la capsule articulaire et des ligaments surtout lors des amplitudes maximales. Ce sont des récepteurs dynamiques (ou phasiques), d'adaptation dite rapide (FA = « fast adapting » Figure 1), qui sont inactifs lorsque le membre est immobile. Très présents au niveau du derme et des tissus conjonctifs sous-cutanés mais également au niveau des tendons, du périoste, ils donnent des informations concernant l'accélération de la déformation cutanée lorsque la vitesse est suffisamment élevée (7)(8). Les corpuscules de Pacini sont particulièrement sensibles pour des fréquences de vibration cutanée comprises entre 200-300 Hz. Par exemple, ils permettent à l'individu d'apprécier des textures fines à condition(5) d'être en mouvement(9). Ce sont les plus gros mécanorécepteurs, leur taille est comprise entre 1 et 5mm (7). De plus, ils sont particulièrement sensibles aux vibrations.
- Les corpuscules de Ruffini sont davantage sensibles à la position(8). Ils permettent de connaître une amplitude articulaire fixe. Ce sont des récepteurs statiques (ou toniques), d'adaptation lente (SA = « Slowly adapting » Figure 1), ils sont les plus nombreux au niveau de l'articulation et du derme. Ils donnent des informations sur la direction et la force du mouvement. En l'absence de mobilisation, ils ne sont actifs que si l'articulation est positionnée dans leur secteur d'activation, qui est entre 15° et 30°, souvent aux positions extrêmes de l'articulation (3). Ils sont également sensibles à l'étirement de la peau.

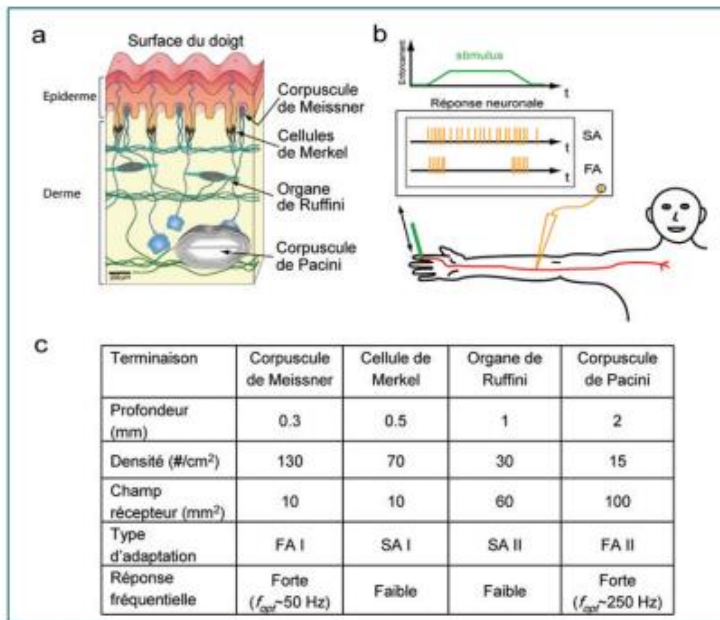


Figure 1- (a) Coupe de la peau de l'extrémité d'un doigt humain faisant apparaître les 4 types de mécanorécepteurs cutanés impliqués dans la perception tactile digitale (d'après Handbook of Physiology, I. Darian-Smith). (b) Principe d'une mesure neurophysiologique de l'activité d'un mécanorécepteur ; la stimulation est transmise par une pointe. (c) Tableau regroupant les caractéristiques spatiales et fréquentielles de réponse des mécanorécepteurs cutanés.(9)

1.2.2.2 Les organes musculo-tendineux

Les récepteurs tendineux de Golgi sont des mécanorécepteurs proprioceptifs situés à la jonction du tendon et du muscle squelettique. Ils sont sensibles à la force exercée par le muscle. La contraction du muscle active le récepteur proportionnellement à la force développée. Par exemple, lors du soulevé de charge en haltérophilie, plus la charge sera importante plus les récepteurs de Golgi augmentent leur décharge. Ce codage en modulation de fréquence permet au système nerveux d'être informé de la force développée(5,9). Les organes musculo-tendineux de Golgi sont des capteurs de mouvement et de direction, mais ils ont surtout un rôle de protection du système musculo-tendineux. En effet, ils détectent les tensions excessives du muscle et déclenchent le réflexe myotatique inverse entraînant la contraction des antagonistes et le relâchement des agonistes. Plus le muscle se contracte, et plus les récepteurs de Golgi transmettent des informations inhibitrices au motoneurone. En parallèle, les muscles antagonistes reçoivent quant à eux une information excitatrice grâce à un interneurone excitateur. Par conséquent, ce réflexe permet de protéger les muscles, les tendons, les lames tendineuses, les jonctions myotendineuses de trop fortes tensions qui pourraient affecter leur intégrité.

1.2.2.3 Les fuseaux neuromusculaires

Les fuseaux neuromusculaires (FNM) sont des mécanorécepteurs situés au niveau de la partie charnue de l'ensemble des muscles striés et sont à l'origine du réflexe myotatique. Ils sont sensibles à l'allongement de celui-ci, et traduisent un stimulus mécanique en un message nerveux. Ils sont responsables de la transmission des informations sur la longueur et le changement de longueur du muscle. Leur action favorise une contraction du muscle étiré. Ils jouent un rôle sur le maintien du tonus des muscles posturaux (7).

Les fuseaux neuromusculaires sont composés de 2 types de fibres. Les fibres extrafusales sont des fibres dites « normales », contractiles. A contrario, les fibres intrafusales sont plus fines que les fibres ordinaires et n'ont aucun rôle mécanique sur la force développée par le muscle. Ce sont des fibres musculaires modifiées, situées dans une capsule conjonctive fibreuse et disposées parallèlement aux fibres musculaires ordinaires. La contraction de ces fibres n'a pas d'effet moteur mais permet de conserver une longueur minimale des fibres des fuseaux neuromusculaires et ainsi de maintenir leur excitabilité quelle que soit la longueur du muscle. Les fibres intrafusales sont innervées par les voies efférentes du motoneurone γ (1).

1.2.3 Les voies proprioceptives ascendantes

Il existe trois types de voies proprioceptives ascendantes permettant d'acheminer les informations proprioceptives jusqu'au système nerveux central. La voie lemniscale conduit les informations sensibles conscientes alors que les voies extra-lemniscale et spinocérébelleuse conduisent les informations proprioceptives inconscientes.

Après avoir été acheminées jusqu'au système nerveux central, les informations proprioceptives vont y être intégrées afin de créer une réponse motrice. Selon, la voie empruntée et le niveau central de leur intégration, ces informations seront dites conscientes ou inconscientes. En effet, prenons l'exemple d'un bébé, si nous souhaitons le soupeser afin de connaître son poids, les informations seront conscientes alors que si nous marchons avec le bébé dans les bras tout en discutant avec sa mère, la force utilisée pour porter le bébé sera inconsciente.

De plus, le cervelet aurait la capacité de comparer le programme moteur à sa réalisation effective car il reçoit des informations venues de la périphérie et des copies d'ordres moteurs. Ainsi il adapterait le mouvement à l'état instantané de l'action et aux perturbations éventuelles, selon le concept de modèle interne que l'on détaillera ultérieurement. A court terme, ce sont les mouvements lents et en cours de réalisation qui en bénéficieront. A long

terme, la génération d'un modèle interne bénéficierait aux mouvements rapides dits « balistiques ».

Il semble donc qu'il coexiste au sein même du système nerveux, deux systèmes proprioceptifs parallèles, l'un conscient, élaborant une représentation sensori-motrice du corps, relativement abstraite, l'autre inconscient, dévolu à un contrôle plus fin, « capable de coder les paramètres dynamiques du mouvement » (1).

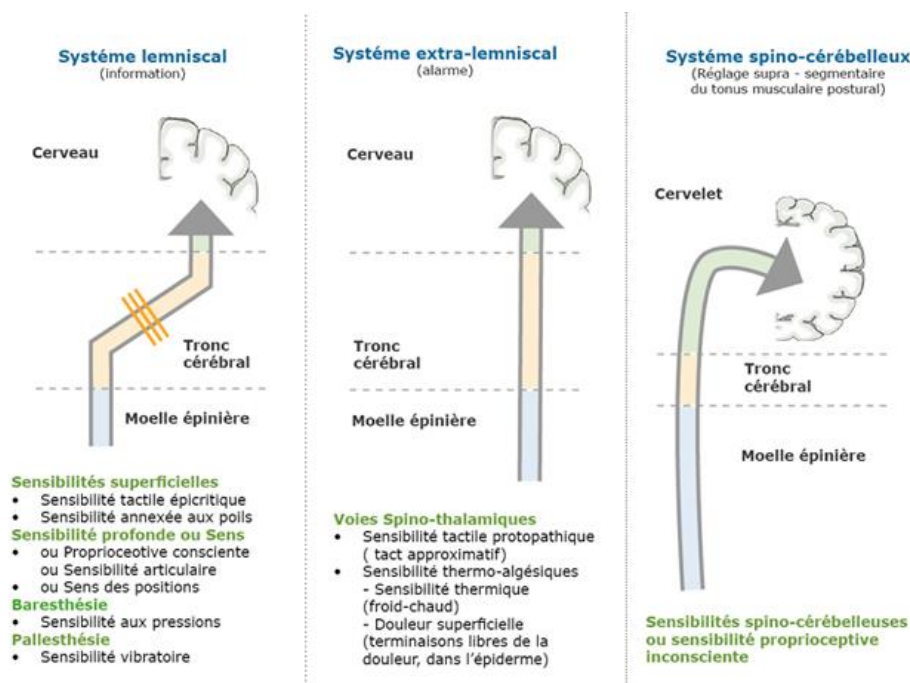


Figure 2 – Synthèse des voies sensitives dans la moelle épinière (10)

1.2.4 L'intégration proprioceptive

L'ensemble des informations proviennent des mécanorécepteurs, c'est-à-dire des corpuscules de Pacini et Ruffini, des organes tendineux de Golgi et des fuseaux neuromusculaires. Elles sont acheminées au niveau du système nerveux central où elles seront intégrées. L'intégration est un phénomène qui se résume en la sommation des informations en fonction des synapses. Leur nature, excitatrices ou inhibitrices, induira l'ouverture ou la fermeture des canaux ioniques modulant le système nerveux. Il y a 3 niveaux d'intégrations.

Premier centre d'intégration : la moelle épinière

La moelle épinière correspond à la portion centrale du système nerveux, faisant suite au cerveau et située à l'intérieur de la colonne vertébrale, plus précisément dans le canal rachidien, qui est constitué d'un empilement de vertèbres. Elle se termine au niveau de la deuxième vertèbre lombaire. Elle mesure environ 45 cm de long et 1 cm de diamètre. C'est un

centre intégratif, elle va intégrer un message transmis par les voies ascendantes et fournir des réponses motrices adaptées (7,8).

Deuxième centre d'intégration : le tronc cérébral

Le tronc cérébral est la structure centrale de l'encéphale située au niveau de la fosse postérieure entre le cerveau et la moelle épinière. C'est la voie de passage des grandes voies ascendantes (voies lemniscales et spino-cérébelleuses/extra-lemniscals) et descendantes (voies motrices) véhiculant les informations et transmettant les messages provenant du cortex. Ainsi le tronc cérébral moteur, par l'intermédiaire de la voie pyramidale et plus précisément cortico-spinale, joue un rôle important pour la réalisation d'un acte moteur volontaire.

Dernier niveau d'intégration : le cortex cérébral

Ce dernier niveau d'intégration est le siège de la proprioception consciente, il intervient dans le maintien et la modulation du tonus musculaire par l'intermédiaire de la formation réticulée, structure nerveuse à l'interface du système autonome, moteur et sensitif. Au sein du cortex cérébral, il existe un échange entre le cortex sensoriel, qui reçoit les informations proprioceptives, et le cortex moteur qui va établir en conséquence des schémas moteurs. Il permet de préparer et d'organiser la commande motrice.

1.3 Plasticité cérébrale : introduction et définition

1.3.1 Le concept de neuroplasticité

1.3.1.1 Définition

La neuroplasticité ou encore plasticité cérébrale sont des termes qui désignent la capacité du cerveau à se modifier lorsqu'il est soumis à une hyperstimulation ou hypostimulation qui ont pour conséquence un apprentissage ou un désapprentissage (11,12). Elle se caractérise par la réorganisation des réseaux neuronaux par création ou disparition de synapses.

Ce concept de plasticité cérébrale est relativement récent, bien qu'évoqué pour la première fois en 1890 par William James dans l'ouvrage *Principes de psychologie*, puis théorisé par Santiago Ramon y Cajal. C'est seulement à partir de 1969, avec un article de Geoffrey Raiman, que la neuroplasticité est enfin reconnue et considérée par la communauté scientifique, qui avait jusqu'alors une « conception immobile et figée du cerveau »(13). Dans son article, il établit pour la première fois la capacité à reconstituer des synapses suite à une lésion chez le sujet adulte(13). Longtemps les scientifiques ont considéré qu'une fois arrivées à

maturité, les connexions étaient établies définitivement et que le développement s'achevait à l'âge de l'adolescence. Il est aujourd'hui reconnu que l'organisation neuronale n'est pas définitive et que le cerveau reste « malléable chez les humains à maturité » (14).

Sous l'effet de l'expérience et des contraintes de l'environnement, les connexions neuronales établies se modifient. Par exemple, il a été démontré que les musiciens sont neurologiquement spécifiques, qu'ils possèdent des « différences macroscopiquement détectables de leur morphologie cérébrale, et que ces différences concernent à la fois des structures motrices et des structures liées à la perception auditive » (15). La pratique répétée optimise les connexions neuronales et modifie le nombre de neurones impliqués. Cette modification des cartes fonctionnelles cérébrales suite à un entraînement intensif quotidien des tâches sensori-motrices avait déjà été montrée chez le singe par Jenkins et ses collaborateurs en 1990 (16). Cette plasticité cérébrale est conservée tout au long de la vie, chez les humains en bonne santé, bien qu'elle soit moins active chez une personne âgée. Ce phénomène ne représente pas qu'une notion de gain, en effet lorsqu'une fonction n'est plus sollicitée, qu'une faculté n'est plus utilisée on peut assister à une régression au niveau cérébral avec la disparition de synapses(11).

1.3.1.2 Les différentes formes

Les modifications cérébrales se retrouvent dans différentes circonstances que l'on peut classer en 3 catégories :

- La plasticité de développement
- La plasticité adaptative
- La plasticité de récupération

La première déclinaison correspond au développement cérébral naturel lors de la croissance, sous l'influence de l'environnement et du phénotype. Le phénotype correspond à l'ensemble des caractères observables d'un individu. La seconde correspond à l'adaptation que vont connaître les réseaux neuronaux tout au long de la vie. Elle suit la règle de Hebb, selon laquelle lorsque deux neurones sont stimulés en même temps par une même action, ils vont créer une synapse entre eux (17). La dernière désigne le processus de réorganisation suite à une lésion. Différents mécanismes sont mis en jeu pour assurer la restauration des lésions cérébrales.

Le premier est la réparation anatomique des circuits (limitée chez l'homme). Tandis que le second est la substitution. C'est une réponse adaptative du système nerveux, à la mise hors circuit des régions cérébrales lésées. Certaines zones qui n'étaient pas impliquées dans le mouvement d'origine, s'activent afin de compenser les défaillances de la lésion. Certains

auteurs parlent d'un système redondant où les systèmes seraient hiérarchisés et où certains n'auraient pas ou peu d'utilité dans le fonctionnement cérébral normal. La dernière concerne les stratégies de compensation et d'adaptation : Elles permettent de réaliser une nouvelle façon d'exécuter lorsque certaines zones du cerveau sont abîmées. Ces stratégies nécessitent une rééducation approfondie.

1.3.2 Homonculus de Penfield

Le cerveau correspond à l'élément clé sur lequel repose notre perception de nous-mêmes et d'autrui. Celle-ci repose sur les informations intéroceptives et extéroceptives qui sont envoyées au cerveau où elles sont représentées dans le cortex somatosensoriel et dans le cortex moteur primaire (8).

1.3.2.1 Homonculus sensitif

Une stimulation électrique appliquée sur le cortex cérébral du patient en chirurgie stimule des parties spécifiques du corps (18). Ainsi lorsque l'on déplace les électrodes sur les différentes régions du cortex somatosensoriel, les effets se déplacent au niveau des différentes parties du corps. Cette pratique a permis au neurochirurgien Wilder Penfield d'établir des cartes somatotopiques du cortex humain. Il donnera notamment son nom à l'une d'entre elle : l'homonculus de Penfield.

Cet homonculus, « petit homme » en latin, est la représentation au niveau du cortex de l'ensemble des informations tactiles de notre corps(8). Il est important de noter qu'il associe à chaque point du cortex une partie du corps en tenant compte de la densité des récepteurs sensitifs sur la surface du corps représentée. Autrement dit, la « représentation corticale relative de chacune des parties du corps est corrélée avec la densité des informations sensorielles issue de chacune d'entre elles »(8).

La carte ne reproduit pas à l'échelle réelle les différentes parties du corps. De ce point de vue, elle ressemble plutôt à une caricature où certaines parties sont extrêmement développées telles que la bouche, les mains alors qu'au contraire les bras, le tronc sont moins développés.

1.3.2.2 Homonculus moteur

Le cortex moteur est constitué des aires 4 et 6. L'aire 4 est située dans le gyrus précentral alors que l'aire 6 est située en avant de l'aire 4. Lors de ses chirurgies, Penfield a découvert que la stimulation de l'aire 4 notamment, à faible intensité, induisait des activations muscu-

lares. Il a ainsi démontré chez l'homme l'existence d'une organisation somatotopique du cortex moteur (gyrus pré-central) à l'image de celle reconnue pour le cortex sensoriel (gyrus post-central) (8). Le degré d'utilisation d'une partie du corps est reflété par l'importance des entrées sensorielles et la taille de sa représentation au niveau du cortex.

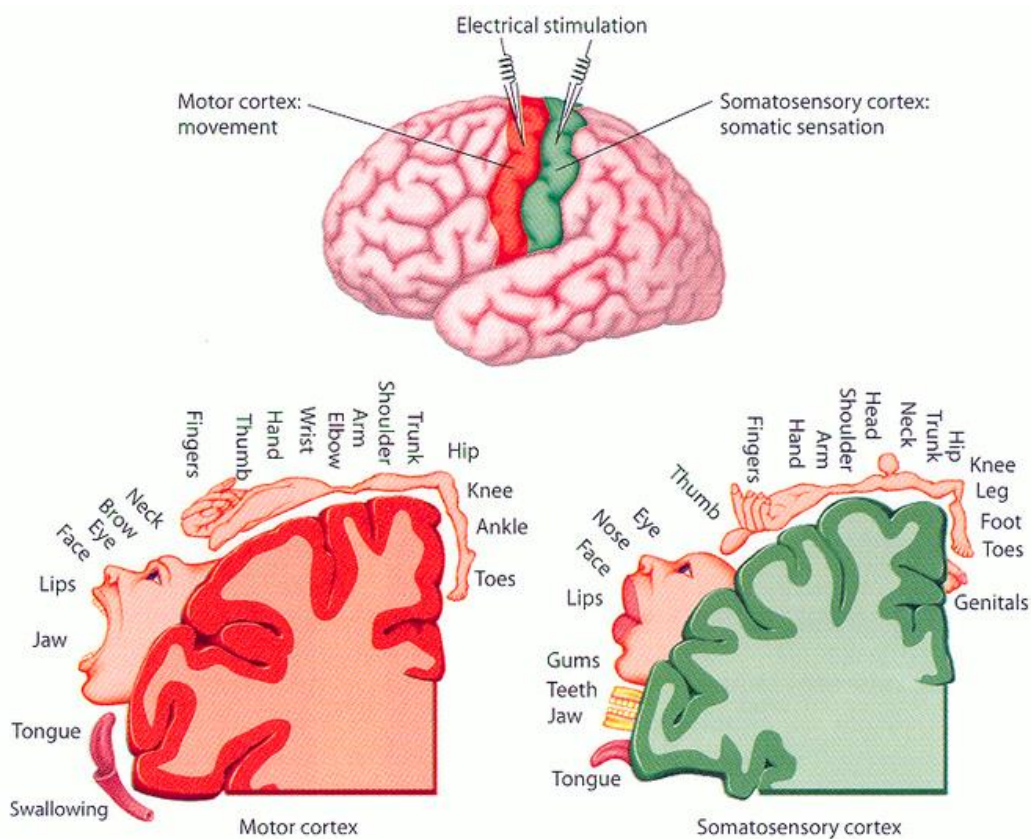


Figure 3- Organisation somatotopique du cortex moteur (rouge) et sensitif (vert) chez l'homme.(19)

1.3.3 De la plasticité structurelle à la plasticité fonctionnelle

« L'ensemble des processus de modification, de remodelage subtil du système nerveux constitue ce que l'on appelle la plasticité cérébrale » selon Serge N. Schiffmann (12). Le développement d'un individu et de son cerveau est réalisé en interaction avec le milieu qui l'entoure. En effet, le cerveau modifie sa structure compte tenu de l'intensité d'utilisation, et enrichit son répertoire réactionnel par l'expérience. On parle de plasticité structurelle et plasticité fonctionnelle. Par conséquent, l'homunculus est une cartographie dynamique et flexible.

La plasticité structurelle, concerne à la fois la création, le renforcement de nouvelles connexions et neurones mais également la disparition de cellules par non-utilisation. Elle s'observe principalement au cours du développement mais ce processus demeure actif tout au long de la vie. Chaque individu aura une évolution qui lui sera propre, dictée par son histoire personnelle. Afin d'illustrer ces propos, nous nous intéressons aux expériences réalisées chez le singe dans les années 1980 par Michael Merzenich et ses collaborateurs. Suite à l'amputation d'un doigt chez le singe, les enregistrements montrent que la région du cortex qui recevait initialement les informations sensorielles du doigt amputé répond à la stimulation des doigts adjacents. A l'inverse, l'augmentation de l'activité sensorielle entraîne un élargissement de la zone recevant les informations des doigts comparativement aux témoins (8).

La plasticité fonctionnelle ou adaptative est la capacité du système nerveux ayant achevé son développement à remanier sa propre structure et à enrichir son répertoire réactionnel de possibilités nouvelles non initialement présentes dans ce répertoire. Ainsi le répertoire des gestes, aptitudes et habiletés motrices qui nous différencient s'accroît rapidement pendant l'enfance, l'adolescence et l'âge adulte et peut même s'étendre lors du vieillissement normal. Ces comportements et ce savoir-faire s'acquièrent au fil des années grâce à une neuroplasticité permanente (20). Ce phénomène est à l'origine d'apprentissage de séquence motrice pouvant être effectuée avec aisance et fluidité.

La représentation corticale est dépendante des activités de l'individu, par exemple un pianiste aura une représentation corticale des doigts plus importante. Vaguero, Hartmann et ses collaborateurs (21) ont révélé un « ensemble complexe d'effets plastiques dus à une formation musicale soutenue ». Dans le cas des pianistes il y a une optimisation du système suite un début précoce de la formation musicale. Au niveau de la carte, la région corticale de la main est très grande, et notamment le pouce car il est très sollicité et la sensibilité ainsi que la motricité sont très précises et complexes. « La stimulation répétée d'une zone cutanée ou la répétition d'un mouvement simple entraîne l'expansion de la représentation de la partie du corps concernée dans le SI et M1 » (11). On retrouve ces phénomènes chez les sportifs. Par exemple, chez les sportifs l'apprentissage de nouvelles habiletés induisent des changements plastiques dans les structures cérébrales associées à leur pratique. De récentes études montrent notamment, chez les basketteurs de niveau élite qui ont besoin de coordination pour dribbler et tirer, l'augmentation du volume de certaines zones cérébrales. Ces régions auraient probablement un rôle dans la coordination (23). De la même manière, une étude a démontré à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique que le thalamus avait des connexions plus fortes avec le réseau sensori-moteur chez les nageurs avec les meilleurs classements mondiaux. Suite à un apprentissage, il semble y avoir eu un développement des connexions thalamo-sensorimotrice permettant une amélioration des performances motrices (24).

1.4 Le cerveau : « prédicteur » sensori-moteur

1.4.1 Le modèle interne : définition

Le contrôle moteur est effectué par le système nerveux central (SNC), responsable de l'activation et de la coordination du travail des effecteurs, et par le système nerveux périphérique (SNP) qui effectue la transmission de l'information. Le SNC a pour rôle de recevoir, enregistrer, interpréter les signaux qui parviennent de la périphérie, et d'organiser la réponse à envoyer. Le SNP a quant à lui pour rôle de conduire jusqu'au système nerveux central les informations issues des récepteurs périphériques, et de transmettre les ordres moteurs émis par les centres nerveux (7). Les deux systèmes sont complémentaires.

Par ailleurs, on ne peut pas parler de mouvement sans aborder le concept «modèle interne ». Les modèles internes sont des processus neuronaux capables de simuler des comportements naturels. Le cerveau simule une représentation de l'interaction entre le système sensoriel, moteur et environnemental, traduisant le terme de « modèle ». Le terme « interne » quant à lui désigne l'intériorisation de l'ensemble des processus par le système nerveux central. Les modèles internes sont des processus neuronaux plastiques qui ont la capacité physiologique de se modifier par des phases d'apprentissage. C'est une sorte de « scénario mental préalable qui produit une anticipation des séquences »(25). Le modèle interne a une double action ; c'est un mécanisme d'action et il permet de garder dynamiquement une trace de la commande tout en observant si les conséquences de l'action sont celles attendues (26).

Une boucle sensori-motrice peut être subdivisée en trois étapes (27). La première étape correspond à la commande motrice générée par le SNC face à une tâche particulière (figure 1, en haut). La deuxième étape détermine la modification d'état du système (des effecteurs) en fonction de la commande motrice précédemment générée (figure 1, à droite). Enfin la troisième étape ferme la boucle en spécifiant le retour sensoriel devant correspondre à l'état du système anticipé (figure 1, à gauche)(27).

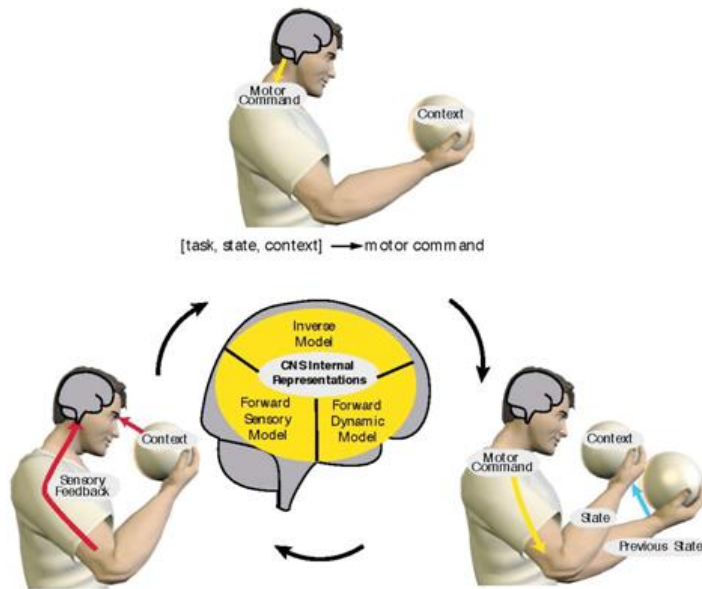


Figure 4- Modélisation de la boucle sensori-motrice en 3 étapes (28)

Il y a deux types de modèles internes différents : le modèle interne inverse et le modèle interne prédictif que l'on peut diviser en deux composants, le modèle interne dynamique et le modèle interne sensoriel.

1.4.2 Modèle interne inverse

Lors de l'élaboration d'un mouvement, le modèle interne inverse est placé avant le modèle interne prédictif. C'est un modèle dit inverse car classiquement le cerveau programme une commande motrice pour atteindre un objectif alors que dans le cas du modèle interne inverse, il part de l'objectif (préhension d'un objet par exemple) et des conditions initiales (postures...) pour arriver à la commande musculaire. Il est en connaissance de l'action attendue, des contraintes de l'environnement et de l'état du système et doit formuler la commande motrice adaptée (Figure 2). Le modèle interne inverse intègre l'ensemble des informations musculo-squelettiques et environnementales et émet en sortie une estimation de la commande motrice en accord avec l'objectif initial. Par exemple, si un individu veut atteindre une cible, le modèle interne inverse va utiliser en entrée la position du membre supérieur et la trajectoire attendue de celui-ci permettant ainsi la réalisation de la trajectoire souhaitée.

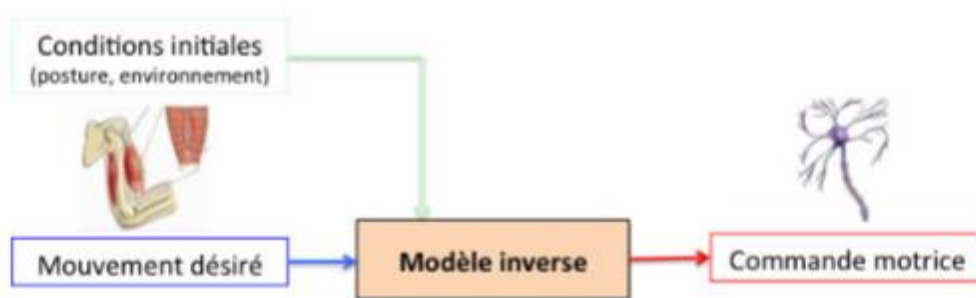


Figure 5—Représentation schématique du modèle interne inverse(25)

L'existence des modèles internes inverses est reportée par Shadmehr et Mussa-Ivaldi (1994) (29). En effet, ils ont étudié la trajectoire du bras de sujets visant une cible soumis à des contraintes environnementales nouvelles et inhabituelles lors d'essais répétés. Au départ, les trajectoires de la main sont perturbées par ces champs de forces nouveaux. Au fil des essais les trajectoires redeviennent progressivement normales. Dès lors, si le champ de force est stoppé, les mouvements de bras sont de nouveau perturbés malgré des conditions originales et leur direction est opposée aux contraintes appliquées préalablement. Le modèle inverse continue d'intégrer les commandes motrices dues aux perturbations du champ entraînant des trajectoires anormales. Cette expérience démontre bien l'existence d'un modèle interne inverse qui s'est adapté au champ de force artificielle.

1.4.3 Modèle interne prédictif

Aussi connu sous le nom de modèle interne direct, le modèle interne prédictif a pour but de simuler les conséquences sensori-motrices à partir d'une commande motrice connue, en tenant compte des conditions initiales (environnementales et musculo-squelettiques ...). Ce système anticipe les conséquences sensorielles (modèle prédictif sensoriel) et motrices (modèle prédictif dynamique). La simulation utilise en « entrée une copie de la commande motrice émise par le modèle inverse et l'état présent du système et de l'environnement » (25). Il intervient dès l'envoi de la commande motrice. Ainsi l'anticipation de l'état sensorimoteur futur du système permettrait de compenser les délais présents dans les processus de mesures, de conceptions et d'intégrations des conséquences sensorielles lorsqu'elles sont détectées par les capteurs périphériques. On peut illustrer son action avec le mouvement du bras comme précédemment. Le modèle interne prédictif intègre les conditions initiales du système (position, vitesse...) et la commande motrice du SNC afin d'anticiper l'état futur de l'effecteur (élévation...). Le cerveau a donc la possibilité de calculer presque en temps réel

l'erreur associée à la commande prévue diminuant significativement ainsi les délais de traitements.

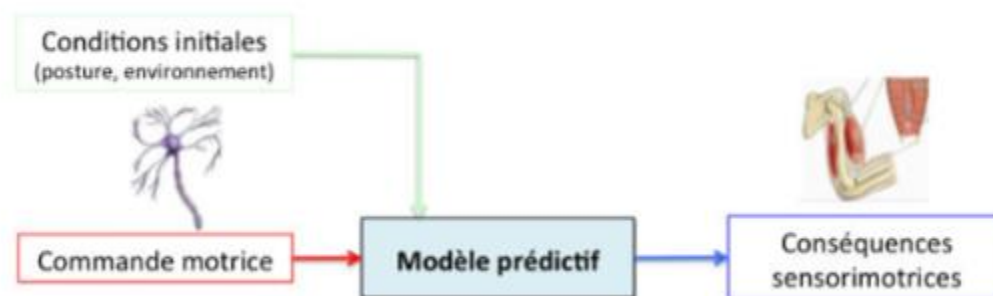


Figure 6 – Représentation schématique du modèle interne prédictif (25)

Lors de leur étude, Augurelle et ses collaborateurs (30) en 2003 ont montré que les humains modulent leur force de préhension lorsque les composantes gravitationnelles et inertielles changent. Les forces de préhension et de charge sont modulées simultanément lors de la manipulation d'un objet. Cela suggère que les deux forces sont contrôlées par un modèle interne au sein du SNC qui prédit les changements et s'y adapte. On parle de modèle interne prédictif car il y a une anticipation de la charge et de la force qu'il faut développer pour soulever cette charge. Le cerveau peut donc utiliser le modèle interne prédictif en substitution des afférences sensori-motrices pour déterminer les conséquences sensori-motrice sur le corps.

1.5 Le massage

1.5.1 Définition

Le massage est un outil qui a une place à part entière dans l'arsenal thérapeutique du masseur-kinésithérapeute. La pratique est en pleine mutation, anciennement basée sur l'expérience des professionnels, elle se dirige maintenant vers une approche où les effets sont aussi évalués scientifiquement(31). Le massage, dont la définition a reçu l'aval de l'Académie de Médecine et du conseil d'état, est officiellement défini par l'article R4321-3 du Code de la Santé publique, dispositions réglementaires (Décret n°2004-802 du 29 juillet 2004 – JO du 8 août 2004)(32). « On entend par massage toute manœuvre externe, réalisée sur les tissus dans un but thérapeutique ou non, de façon manuelle ou par l'intermédiaire d'appareils autres que les appareils d'électrothérapie, avec ou sans l'aide de produits, qui comporte une mobilisation ou une stimulation méthodique, mécanique ou réflexe de ces tissus ». Le décret a été abrogé à la suite de la codification du texte aux articles R. 4321-1 à

R. 4321-13 du Code de la santé publique ; la définition est donc toujours en vigueur. Actuellement, en France, « la pratique du massage est un monopole réservé aux seuls masseurs-kinésithérapeutes » (31).

1.5.2 Le massage dans le domaine sportif

Le massage sportif est utilisé depuis des dizaines d'années selon trois objectifs : améliorer la récupération musculaire, prévenir et réduire les risques de blessures, et améliorer la performance. Considéré comme un élément central dans la préparation du sportif, il est régulièrement utilisé bien que ces effets sur la récupération de la performance soient plutôt faibles et peu clairs.

Dans une revue concernant des sujets sains, Weerapong et ses collaborateurs (2005) rapportent une augmentation de la température cutanée et intramusculaire sans augmentation du flux sanguin(33). Le massage peut améliorer certains marqueurs physiologiques mais les études n'ont montré aucun effet sur les paramètres de récupération et de performances(33). Malgré le fait qu'il minimise les facteurs de non-performance, tels que des dysfonctionnements musculaires, l'anxiété et la souffrance(34). Les études qui évaluent les effets du massage dans le cadre d'un programme de prévention de blessure ne donnent pas de résultats concluant d'après la revue de littérature de Weerapong et ses collaborateurs (33). Ces résultats posent la question de l'utilité du massage dans l'amélioration des performances et la diminution du risque de blessure. D'après Poppendieck W et ses collaborateurs (35), il reste douteux que ces effets limités justifient l'utilisation généralisée comme intervention de récupération chez les athlètes compétitifs. La recherche sur les effets du massage manuel sur les performances physiques s'est avérée peu concluante.

Cependant, certains travaux valident son intérêt sur la récupération musculaire et l'amélioration de la performance. En effet le massage a un impact positif sur la récupération suite à des efforts intensifs (35)(36) et suite à des exercices excentriques aigus. Taimouri M et ses collaborateurs ont notamment examiné les effets d'un massage athlétique de 30 minutes à la suite d'exercice excentrique aigu sur la performance et la récupération musculaire. Les 30 athlètes étaient divisés en 2 groupes, l'un massé et l'autre non, les résultats suggèrent une amélioration de la performance et de la récupération perçue suite à ces exercices(37). Une étude similaire a été réalisée chez 30 culturistes, répartis en deux groupes, avec un massage de 30 minutes appliqué selon un protocole défini sur l'un des deux groupes. Les résultats confirment l'intérêt d'une séance de massage post-exercice pour améliorer la performance de l'exercice et le taux de récupération chez les culturistes masculins après un exercice intensif(36).

Le manque de preuve, concernant ses effets sur la performance et le risque de blessure, nous a amené à nous interroger sur son impact sur le système sensori-moteur. Plus particu-

lièrement, nous nous sommes interrogés sur la stimulation des récepteurs sensoriels devant permettre d'augmenter l'activité sensori-motrice. Son augmentation supposerait alors une vigilance musculo-tendineuse accrue, indiquant des temps de réponses plus courts et plus efficaces, synonyme de performance et de diminution des risques de blessures dans de nombreuses activités physiques et sportives.

2 Partie expérimentale

2.1 Le test de rotation mentale(RM)

2.1.1 Imagerie visuelle et imagerie motrice

Le test de rotation mentale a été mis au point par Vandenberg et Kuse (1978) à partir des figures originales de Shepard et Metzler dans le début des années 70(38). Lors de leur expérience, les sujets étaient face à des objets en « trois dimensions formées d'une ligne de 9 à 10 cubes coudées à trois endroits ». Ils devaient déplacer mentalement les structures afin de les faire coïncider à un stimulus. Certaines structures n'avaient besoin que d'une rotation dans le plan frontal ou sagittal alors que d'autres ont plus de rotation à réaliser afin de coïncider avec le stimulus. Les résultats permettent de constater que plus la disparité angulaire entre les stimuli est élevée, plus les temps de réponses pour faire correspondre les stimuli sont importants (38). Ils ont ainsi mis en évidence le mécanisme d'imagerie visuelle.

C'est seulement à partir de l'étude de Parsons en 1987 que l'imagerie motrice implicite est apparue (39). Elles consistent à adapter le test de Shepard et Metzler en demandant au sujet de déplacer mentalement une partie du corps afin de la faire correspondre avec le stimulus. Dans notre travail, il s'agit de présenter des images (mains, pieds) ayant subi une rotation spatiale plus ou moins importante (0°, 40°, 80°, 120°) sur un écran d'ordinateur, le sujet doit indiquer la latéralité du membre à l'écran. Il est aussi appelé « test de latéralité » par Moseley. Quand ces images représentent un objet comme une figure géométrique ou des nombres, les participants utilisent l'imagerie visuelle pour résoudre la tâche, indépendamment du système sensori-moteur (40). Au contraire, quand ces images représentent des parties du corps, les participants se réfèrent à l'imagerie motrice pour identifier la latéralité du segment corporel. Cette hypothèse repose sur des « données chronométriques qui montrent que les temps de réponse lors du test de jugement de la latéralité (LJT au niveau de la main) sont proportionnels au temps pris par les sujets pour déplacer physiquement leurs mains dans la position des stimuli »(41).

L'imagerie motrice est définie comme la représentation mentale d'un mouvement ou d'une séquence motrice, sans qu'elle soit accompagnée ou suivie par son exécution (33). Autrement dit, elle « consiste en la représentation mentale d'une action sans production concomitante de mouvement » (18,42).

Elle se divise en deux catégories : l'imagerie motrice explicite et l'imagerie motrice implicite. La simulation d'un mouvement chez un sportif effectuée consciemment dans une optique de performance par exemple sera qualifiée d'explicite. A l'inverse, on qualifiera une simulation motrice inconsciente d'implicite. C'est ce versant de l'imagerie motrice, qui va nous intéresser lors de l'expérience qui va suivre. Le vécu et l'expérience jouent un rôle fondamental dans le développement cérébral, aujourd'hui le nouveau paradigme affirme que les processus cognitifs sont dépendants des interactions du corps avec l'environnement. Différentes études s'opposent.

2.1.2 Sensible aux changements corporels

Le temps de réponse augmente à la fois avec l'angulation mais aussi avec les contraintes biomécaniques appliquées lors de la réalisation réelle du mouvement. Dans leur étude, Ionta et ses collaborateurs (43) ont analysé l'influence de la posture des mains sur la RM de mains et de pieds. Les résultats montrent que la RM de mains a été influencée mais pas celle des pieds. Les réponses sont plus rapides lorsque le sujet a les mains à l'avant plutôt qu'à l'arrière confirmant les dires de Parsons (1987) (39) selon lesquels le temps d'imaginer la réorientation d'un membre augmente souvent avec l'écart d'angulation et également en fonction de la représentation de ce membre. Ainsi les informations sensori-motrices et posturales provenant du corps influent en temps réel sur la RM des parties du corps confirmant l'utilisation de stratégie d'imagerie motrice et du SSM dans ce type de tâche(37,43–45). Il est vrai que, les réponses données sont plus lentes lorsque leur posture est plus contraignante. Le sujet charge un programme moteur afin de reconnaître la latéralité et le test va consister à évaluer ce programme moteur afin d'objectiver l'activation sensori-motrice. La réalisation de ce test de RM nécessite l'implication sensori-motrice, nous permettant d'évaluer les effets d'un massage. Dans l'expérience qui va suivre, la tâche de RM consiste à reconnaître le plus rapidement et le plus justement possible la latéralité de mains et de pieds qui s'affichent à l'écran. Les sujets seront assis devant un écran d'ordinateur avec une position standardisée.

2.1.3 Test de rotation mentale réalisé à partir de l'imagerie motrice

Dans un premier temps, plusieurs études suggèrent une étroite similitude dans l'activité cérébrale entre la simulation du mouvement et le mouvement réel. Afin d'explorer cette similarité, Nico et ses collaborateurs (46) ont analysé les conséquences de la perte d'un membre

supérieur sur l'imagerie motrice. Pour cela, ils ont réalisé une expérience comprenant 16 sujets amputés du membre supérieur qui devaient réaliser une tâche de jugement droite/gauche impliquant l'imagerie motrice. Le modèle de réponse est similaire à celui des témoins, à savoir des temps de réponse plus lents et plus d'erreurs pour des stimuli représentant des mains dans des orientations non naturelles, c'est-à-dire des postures difficiles à atteindre avec un mouvement réel. Ceci montre que les sujets utilisent bien une stratégie en imagerie motrice impliquant le système sensorimoteur. Il en ressort que le groupe amputé était plus lent et commettait plus d'erreurs que le groupe contrôle. Les résultats sont également influencés par la latéralité du membre amputé, l'amputation du membre dominant engendre plus d'erreurs et un temps de réponse plus long. L'amputation n'empêche pas l'imagerie motrice du membre supérieur mais diminue ses performances. La prise en compte des contraintes biomécaniques confirme l'utilisation de l'imagerie motrice.

Par la suite, Toussaint et Meugnot ont démontré que le temps d'identification d'un stimulus est plus lent suite à l'immobilisation (47,48). En effet, lors des tâches de RM, outil utilisé pour étudier les stratégies d'imagerie motrice, les sujets ayant été immobilisés ont un temps de réponse plus élevé que le groupe contrôle. La diminution des feedbacks sensoriels due à l'immobilisation serait à l'origine d'une dégradation soit de la représentation sensori-motrice soit de l'excitation corticale entraînant l'augmentation des temps de réaction aux tests de RM. Pour certains auteurs, la réorganisation sensori-motrice durant l'immobilisation serait à l'origine de la détérioration des performances. En effet, il y aurait une diminution de la mémoire sensorimotrice due à une réduction des signaux proprioceptifs. De la même manière, cette étude confirme que la reconnaissance de la latéralité des membres s'appuie sur des stratégies d'imagerie motrice.

Néanmoins, on trouve des études qui, au contraire, supposent que l'imagerie motrice ne serait pas influencée par les changements corporels. A l'image de l'étude de Curtze, Otten et Postema en 2010 (49), où aucune différence n'est retrouvée entre le membre sain et le membre atteint lors de la simulation mentale de membre inférieur. Les patients qui ont perdu un membre inférieur maintiennent leur habilité lors des tests de RM. Ce sont des données qui vont à l'encontre de la théorie de la mise à jour en continue de la représentation corporel en regard des récepteurs sensoriels. Elle repose notamment sur Berlucchi et Aglioti en 1997 (50) qui ont proposé que, malgré la plasticité dans le cortex somatosensoriel, le cerveau puisse être génétiquement prédisposé à avoir une connaissance implicite de la structure du corps.

Les contradictions retrouvées reposent sur le changement des processus sur lesquels la reconnaissance s'appuie. Dans l'étude de Curtze, Otten et Postema, nous remarquons un changement de stratégies de l'imagerie motrice à l'imagerie visuelle. En effet nous observons une évolution linéaire des temps de réponse en fonction de l'angulation, plutôt qu'une évolution exponentielle, significatif de l'utilisation de stratégies d'imageries motrices

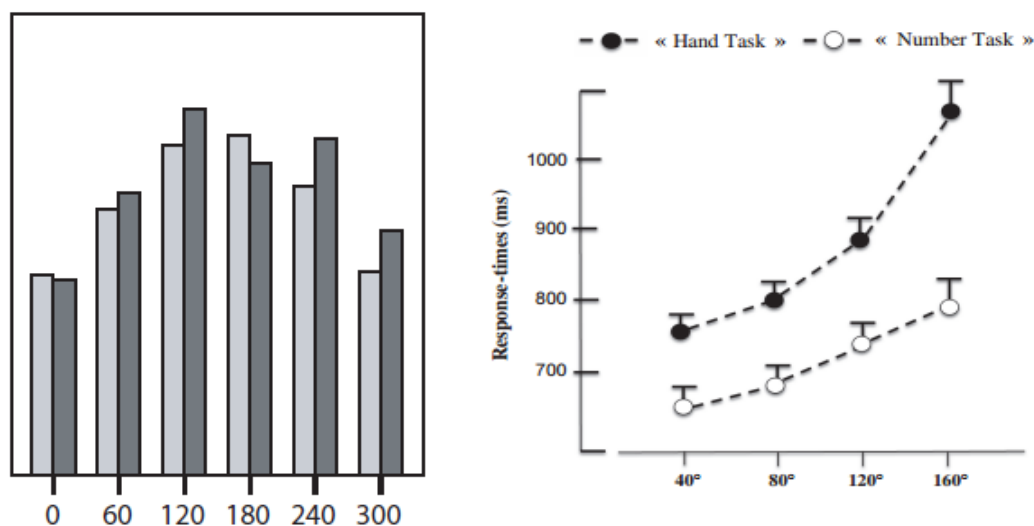


Figure 7- Temps de réponse en fonction de l'angulation à gauche le graphique de Curtze, Otten et Postema (49), utilisant des stratégies d'imagerie visuelle et à droite celui de Meunot, Almecija et Tousaint utilisant des stratégies d'imagerie motrice pour la « hand task » et visuelle pour la « Number task » (51)

Cette stratégie en imagerie visuelle est la même que pour une reconnaissance de stimuli non corporels comme décrit précédemment. Elle ne prend pas en compte les contraintes biomécaniques du corps et ne met donc pas en jeu le système sensori-moteur. C'est pourquoi, dans notre travail, il était nécessaire de contrôler cette limite avec un stimuli de membre supérieur. Le manque d'impact aux membres supérieurs montre bien que le massage a eu une uniquement une action sensori-motrice sur le membre inférieur, et que les sujets ont dû mettre en place des stratégies d'imagerie motrice pour réaliser les tâches de rotation mentale.

Pour conclure, le test de rotation mentale réalisé par imagerie motrice prend en compte les contraintes biomécaniques, il permet donc d'évaluer l'implication sensori-motrice. En effet, il consent à objectiver l'activation du système sensori-moteur en interprétant les temps de réponses des sujets.

2.2 Influence d'un environnement riche et stimulant sur le système sensori-moteur

La majorité des études sur la plasticité du système cérébral est réalisée selon deux approches. L'une consiste à s'intéresser aux modifications survenues dans un « environnement pauvre » en informations et l'autre au contraire est de considérer un environnement riche et

stimulant. Notre travail va être associé à la seconde approche. Tout d'abord, Rosenkranz et Rothwell JC en 2004 (37), ont démontré que l'application de vibrations sur les muscles intrinsèques de la main entraîne une excitation du cortex cérébral moteur. En effet, ils ont montré que 15 minutes de vibrations appliquées simultanément sur les muscles des deux mains peut au long terme (>30min) modifier le modèle spatial des interactions sensorimoteur. Cette technique a un intérêt évident pour certaines pathologies. La stimulation d'un tendon par les vibrations provoque une sensation de mouvement chez le sujet (concentration-dépendant), à l'origine d'une activité du SSM, permettant ainsi au sujet de garder un seuil minimum d'excitabilité du cortex moteur et faciliter la récupération. Le travail de Avanzino, Pelosin, Abbruzzese, Bassolino, Pozzo, & Bove, en 2013 (52), démontre lui aussi, que le maintien des entrées proprioceptives dynamiques dans un bras immobilisé par vibration musculaire peut prévenir le déséquilibre hémisphérique induit par une non-utilisation à court terme des membres. Dans la même optique, on retrouve l'imagerie motrice. Elle « consiste en la représentation mentale d'une action sans production concomitante de mouvement » (18,42). Les études par résonance magnétique et tomographie ont montré des activations corticales et sous corticales similaires lors de l'imagerie motrice et de l'exécution réelle. L'amplitude de l'activité retrouvée est dépendante des caractéristiques de la tâche, distance à parcourir mentalement par exemple. Cette technique apparaît intéressante afin de stimuler le cortex sans pour autant réaliser le mouvement.

Dans les sciences cognitives, de nombreuses études sont basées sur la plasticité du SSM. On ne retrouve que très rarement un lien avec le massage, élément incontournable de la profession de masseur-kinésithérapeute. Pour autant comme l'ont démontré L.Demandze-Bernard, P. Rougier, L. Berger (53), renforcer le poids des informations tactiles par le massage constitue un objectif intéressant dans la « perspective d'amélioration de la détection des mouvements du corps ». Ils ont démontré une amélioration de la station debout non perturbée par l'intermédiaire d'une séquence de massage plantaire rotatif. L'intérêt de cette expérience est de vérifier l'hypothèse selon laquelle le massage, par une stimulation sensitive, améliore l'activité sensori-motrice chez une population de jeunes sportifs.

2.3 Le massage et ses conséquences sensorimotrices supposées cliniquement versus documentées dans la littérature

Le massage exerce une pression mécanique qui va stimuler les récepteurs cutanés ainsi que les récepteurs logés dans les muscles, tendons, capsules articulaires, ligaments et vaisseaux sanguins. L'intérêt de cette stimulation est d'améliorer la sensibilité des mouvements, la précision des mouvements, et l'amélioration du schéma corporel. Malgré son intérêt théorique, la littérature est pauvre à ce sujet (31).

Une équipe danoise a examiné les effets du massage stimulant appliqué aux muscles quadriceps, sartorius, gracile et ischio-jambiers sur le repositionnement de l'articulation du genou. Le travail repose sur la confrontation entre un groupe contrôle et un groupe de 18 sujets massés. Les sujets effectuent des exercices de repositionnement articulaire. L'évaluation des résultats montrent que le massage stimulant diminue le nombre d'erreur. Cette étude souligne l'intérêt du massage dans la représentation corporelle (45). Cependant, une autre étude observant les mêmes effets chez des sujets atteints d'arthrose de genou a conclu à des résultats inverses où le massage n'a eu aucun effet sur le taux d'erreur de repositionnement articulaire (54).

Rulleau et Toussaint se sont intéressés aux effets du massage sur le fonctionnement du SSM en utilisant des tâches de rotation mentale de stimuli corporels (55). La population étudiée était divisée en 2 groupes, un groupe contrôle et un groupe massage. Ils étaient soumis à 3 tests de rotations mentales. Le premier a lieu avant le massage (pré-test 1), un second immédiatement après (post-test 2) et le dernier 24 h plus tard (post-test 3). Le temps de réaction retrouvé chez le groupe qui a été massé est plus faible que celui du groupe contrôle lors de la réalisation des tests de RM. Ces résultats traduisent une activation du SSM. L'expérience met en évidence que l'activation des récepteurs sensoriels par le massage favorise le fonctionnement du SSM durant au minimum 24h chez les personnes âgées. L'intérêt est donc évident « dans la prise en charge gériatrique notamment lors des programmes de préventions de chute et de rééducation de l'autonomie » (55). De plus, dans une deuxième expérience, le protocole utilisé est similaire, la population est divisée en deux groupes, un groupe massage pied/genou et un groupe témoin. Une activation bilatérale est observée dans l'expérience 2. Les résultats mettent en évidence l'intérêt du massage sur le membre controlatéral dans le cadre de contre-indications ou d'une immobilisation. Rulleau et Toussaint ont été mes deux personnes ressources durant ce travail, me permettant d'adapter l'expérience à une population de jeunes sportifs.

Toujours chez les personnes âgées, 2 études de Sefton ont montré qu'un traitement par massage de 60 minutes (effleurages, pétrissage, frictions, pressions glissées) peut induire une augmentation de l'état postural et une diminution des chutes(56). Dans un second temps, il permet également d'améliorer le tonus postural, entraînant une baisse du risque de chute (56,57). Dans la même lignée, l'étude réalisée par Vaillant et ses collaborateurs démontre le fait que l'utilisation du massage accompagné de mobilisation sur le pied et la cheville provoque un impact positif dès la première séance sur l'équilibre chez la personne âgée (58).

Notre expérience consiste à utiliser le test de rotation mentale pour évaluer les effets d'un massage sur l'activation sensori-motrice. En s'inspirant des travaux réalisés par Toussaint et Rulleau chez des personnes avec une activité modérée (26), on peut s'attendre à ce que, chez une population avec une activité soutenue, le groupe massé ait des temps de réaction

plus faibles que le groupe témoin. Nous allons tenter de répondre à la problématique suivante :

Est-ce que le massage appliqué à de jeunes sportifs améliore le fonctionnement du système sensori-moteur ?

2.4 Participants

La population étudiée lors de cette étude est constituée de jeunes sportifs de 18 à 30 ans (moyenne 19.36 ans). Ils sont volontaires, n'ont pas de problème de santé et pratiquent du sport régulièrement. Ils ont une vue normale ou corrigée. Avant de réaliser le test, les sujets remplissent un formulaire de consentement (*Annexe 2*). Les sujets sont divisés en 2 groupes randomisés, un premier groupe contrôle (n = 22, âge moyen 24 ± 5 ans (20.7), 14 hommes) et un groupe où sera effectué un massage pied-genou (n = 25, âge moyen 20 ± 3 ans, 17 hommes). Les sujets ne sont pas informés des modalités et objectifs de l'expérience. Le centre de recherche où se déroule l'expérience approuve le protocole de l'étude.

2.5 Matériel et méthodes

Les sujets vont devoir réaliser 2 tâches de RM. Pour chacune d'entre elles, le sujet est assis face à l'ordinateur à environ 60 cm. Il se tient droit, les pieds au sol, sans croiser les jambes (évitant ainsi des degrés de rotation différents selon les images vues par les sujets) (43). La première tâche de RM, consiste à reconnaître le stimulus, des images de pied droit ou gauche (créé avec Poser 6.0 software; sized 20.7 x 12.7 cm). Ils doivent déterminer la latéralité du pied sur l'image en appuyant sur la touche correspondante. La touche « l » correspond à une image du pied droit et la touche « s » à une image du pied gauche. Les participants doivent répondre le plus vite possible en essayant de minimiser les erreurs. Les photos sont présentées sous différents angle : 0° , 40° , 80° , 120° et différents sens : horaire et antihoraire. L'essai commence quand une croix de fixation s'affiche dans le centre de l'écran durant 500ms. Ensuite, l'image reste à l'écran jusqu'à ce qu'une réponse soit donnée par le participant. Le logiciel E-Prime 2.0 (Psychology Software Tools Inc., Pittsburgh, USA) permet de présenter les images et de recueillir les réponses. La seconde tâche de RM est identique à la première hormis le fait qu'elle consiste à reconnaître des images de mains présentées à l'écran. Le sujet doit alors de la même manière déterminer la latéralité du membre affiché. Chaque test est précédé d'une phase d'échauffement de 14 images où le sujet peut se familiariser avec le programme, néanmoins il ne faut pas que cette phase soit trop longue afin d'éviter de faire intervenir la capacité d'apprentissage chez le patient. Ensuite le sujet est soumis à 5 série de 14 images, avec des pauses entre chaque. Les deux tâches de RM sont

enchaînées en commençant par le pied puis la main. Pour le groupe massage (pied + genou) elles seront réalisées à 3 reprises, avant le massage (pré-test 1), après le massage (post-test 1) et 24h plus tard (post-test 2) afin de voir les effets dans le temps.

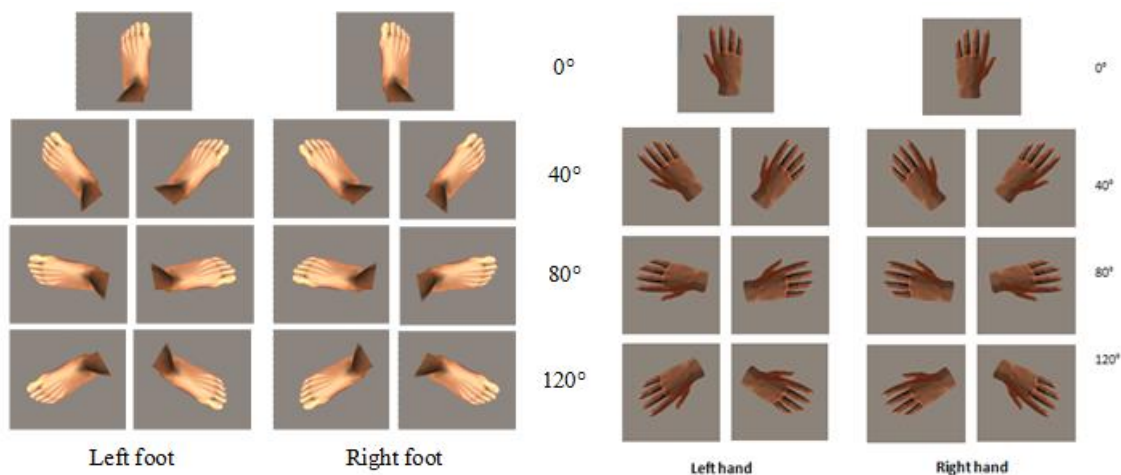


Figure 8 – Illustration des stimuli corporels lors des tâches de rotation mentale

2.6 Protocole

Les sujets ne doivent pas pratiquer d'activité sportive en dehors de l'université durant les 24h précédant le premier test et ce jusqu'à la fin de leur expérimentation afin de contrôler l'effet de l'entraînement physique. En effet, la quantité d'activité physique pratiquée peut influencer l'activation sensori-motrice et par conséquent perturber les résultats. A leur arrivée sur le lieu d'expérience, ils remplissent un questionnaire concernant leurs activités sportives habituelles. Les participants sont divisés en deux groupes : un groupe massage (pied + genou droit) et un groupe contrôle. Les massages réalisés sont standardisés selon une routine prédéfinie à l'avance. Elle est essentiellement composée de massage suédois, d'effleurage et de pression d'intensité variable avec l'ajout d'étirements et mobilisations(59). Le groupe massage (pied + genou droit) est massé durant 10 minutes selon une routine de massage (Annexe 1) (34).

Les tâches de rotation sont réalisées durant 3 sessions. Une avant la réalisation du massage (pré-test), la seconde immédiatement à la suite du massage (post-test 1) et la troisième à lieu 24h après le massage (post-test 2). Chaque session est divisée en deux phases : une phase de familiarisation et une phase expérimentale. Durant la phase de familiarisation, les participants peuvent s'approprier avec le programme, 14 images s'affichent et ils doivent sélectionner les touches « l » et « s » pour répondre. Durant la phase expérimentale, 5 séries

de 14 images sont proposées aux participants (70 photos par session). Entre chaque série, ils ont la possibilité de faire une pause.

2.7 Analyse des données

La précision et les temps de réponse ont été enregistrés et analysés. Seules les données provenant de réponses correctes ont été utilisées pour analyser les temps de réponse. On a effectué des ANOVA, pour la tâche de rotation mentale corporelle, sur les temps de réponse (ms) avec les groupes (contrôle vs massage) comme facteurs inter-sujets, ainsi que la session (T1, T2, T3) et la rotation en tant que facteurs intra-sujets. Les analyses préliminaires ont révélé des résultats similaires dans le sens des aiguilles d'une montre et dans le sens inverse des aiguilles d'une montre pour les stimuli corporels orientés à 40 °, 80 ° et 120 °, ce qui nous amène à des données moyennes avec les mêmes angles de rotation pour augmenter la fiabilité (voir pour une procédure similaire : Harris, Egan, Sonkkila, Tochon-Danguy, Paxinos, et Watson, 2000, Williams, Thomas, Maruff et Wilson, 2008). Des comparaisons post hoc ont été effectuées au moyen d'un test de Newman-Keuls. Alpha a été fixé à 0,05 pour toutes les analyses

2.8 Résultats

L'ANOVA obtenue sur les temps de réponse a montré un effet moyen de la session [$F(3,130) = 16.75, p < 0.0001, \eta^2p = 0.44$], et la rotation [$F(3,130) = 20.86, p < 0,00001, \eta^2p = .63$], ainsi qu'une interaction significative de session x groupe [$F(6,90) = 11.98, p = 0,042, \eta^2p = 0,07$]. Les comparaisons post hoc ont montré que les temps de réponse ont diminué du pré-test aux post-tests après les massages ($ps < 0.0001$), sans distinction entre les post-tests 1 et 2 (T2/T3) ($p > 0.05$). Aucune différence significative n'a été observée dans les tests avant et après le groupe témoin ($ps > 0,05$).

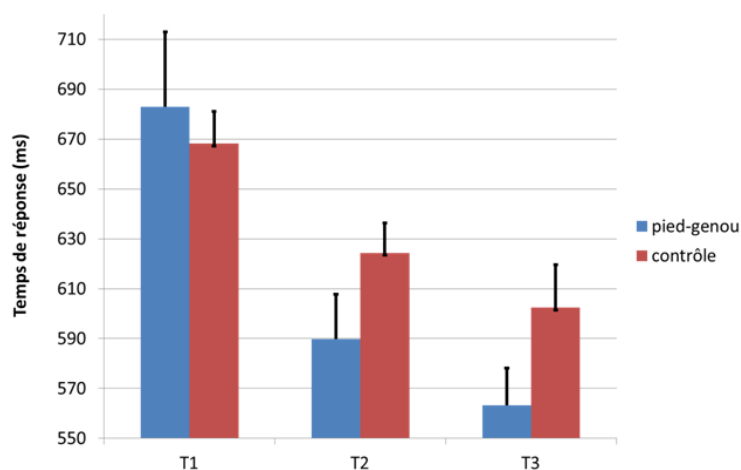


Figure 9- Des temps de réponse moyen (ms) pour la tâche de rotation mentale du corps en fonction du groupe (contrôle vs massage) et session (T1, T2, T3). Les barres d'erreur indiquent l'erreur-type de la moyenne.

2.9 Discussion

L'objectif de cette expérience était d'évaluer l'intérêt du massage sur le fonctionnement du système sensorimoteur (SSM) chez le jeune adulte sportif. Afin d'objectiver ces effets, nous utilisons le test de rotation mentale de stimuli corporels qui est un « nouvel outil » intéressant pour évaluer l'activité du SSM (33,41,43,56,57,48). Les résultats obtenus soulignent une amélioration des performances au test grâce au massage, avec des temps de réponse plus courts immédiatement après le massage mais également 24 heures plus tard. Fort de ce constat, l'hypothèse selon laquelle le massage améliore le fonctionnement du SSM est vérifiée. Cette observation clinique nous amène à nous interroger sur l'aspect pratique que pourrait avoir une augmentation de l'activité sensori-motrice sur la performance sportive et la prévention des risques de blessure.

2.9.1 Effet du massage

2.9.1.1 Implication sensori-motrice

La stimulation des récepteurs sensoriels induit une mise en action du SSM. Les modèles internes vont bénéficier de cette stimulation sensori-motrice. Les modèles internes sont des mécanismes d'actions basés sur les conditions initiales (postures ...) et la commande motrice. Ils mettent en jeu l'ensemble du SSM (récepteurs sensoriels, effecteurs...). Leur efficacité est dépendante du seuil d'activité de celui-ci. La stimulation va améliorer la production de modèles internes permettant ainsi d'enrichir le répertoire des gestes et de leurs conséquences(18). En effet, le modèle interne prédictif intègre les conditions initiales du système (position, vitesse...) afin d'anticiper l'état futur de l'effecteur. Cela permet au cerveau de corriger les erreurs en diminuant significativement les délais de traitements. La diminution des délais de traitement est mise en évidence dans notre étude. Le massage ayant permis une activation sensori-motrice, les délais de traitements sont plus rapides et les temps de réactions plus courts.

2.9.1.2 Amélioration durable du fonctionnement sensori-moteur

Les résultats des tests T2 et T3 témoignent d'une amélioration significative des performances aux tests de rotation mentale de stimuli corporels. Cette amélioration survient suite au massage, cela montre qu'il est à l'origine des progrès observés lors des deux derniers tests. La diminution des temps de réaction indique une accélération des processus sensori-moteurs, témoins d'une activation sensori-motrice plus importante. En effet, les sujets sont plus performants dans la réalisation des tâches d'imagerie motrice et plus précisément dans

l'identification de la latéralité du membre. Ces effets du massage sont préservés 24h plus tard, illustrant l'effet durable de l'activation du SSM.

Cette étude met en évidence des perspectives pratiques et théoriques dans le sport sur lesquelles nous reviendrons plus tard. Comme c'est le cas chez les personnes âgées hospitalisées, où l'intérêt de la thérapie par le massage se trouve dans la « prise en charge gériatrique, notamment lors de programmes de prévention de la chute ou de rééducation de l'autonomie » (55). Il est vrai que la réactivation du système sensori-moteur va permettre d'améliorer les capacités proprioceptives des sujets. Néanmoins, on retrouve certaines différences avec les résultats retrouvés par Rulleau et Toussaint chez les personnes âgées.

2.9.1.3 Des marges de progression inégales

D'une part, nous allons nous intéresser à l'activation initiale du SSM. Les personnes âgées connaissent une progression sensori-motrice plus importante lors d'un massage pied-genou (55). Ces sujets sont des personnes âgées entre 75 et 85 ans, hospitalisés qui ont une activité physique très restreinte. Les sollicitations sensori-motrices sont faibles, pouvant aller jusqu'à une mise en veille du SSM lors d'un alitement complet, de la même manière que l'immobilisation, (pendant 24h ou 48h seulement) s'accompagne d'un ralentissement des processus sensori-moteurs (36). Les jeunes sportifs au contraire ont une activité sportive régulière ce qui leur permet d'avoir une activation sensori-motrice régulière importante. On peut notamment mettre en évidence ce phénomène en comparant les résultats lors des pré-tests chez les personnes âgées et chez les jeunes sportifs. Les temps de réponse démontrent une activation initiale plus importante du SSM chez les jeunes sportifs (55). En effet, aux alentours de 1400 ms chez les seniors (28), les temps de réponse avoisinaient les 700 ms chez les jeunes adultes ayant participé à notre étude.

Il est alors nécessaire de s'interroger sur la progression possible de chaque groupe. La notion de vieillissement décrit, au sens large, des « modifications fonctionnelles qui diminuent progressivement l'aptitude d'un organisme à assurer ses fonctions, à s'adapter à son environnement » (49). Chez l'homme, le vieillissement cognitif est un processus complexe, lent, et progressif qui implique divers facteurs biologiques, psychologiques et sociaux. Sur le plan cognitif, les changements attentionnels et mnésiques sont marqués par une vitesse de traitement de l'information ralentie. Salthouse et ses collaborateurs (62), ainsi que MC Gély-Nargeot et collaborateurs (63) défendent l'idée que le ralentissement de la vitesse du traitement de l'information soit corrélé à l'âge. Les capacités « nouvelles » qui nécessitent une résolution active des problèmes sont plus susceptibles de décliner avec le vieillissement avancé tandis que les capacités acquises depuis longtemps restent stables tout au long de la vie. En effet, Salthouse et ses collaborateurs soulignent une baisse significative de la vitesse dans les groupes les plus âgés lors de tâche de traitement de l'information (performance

motrice et cognitive). Cela serait également à corrélérer avec la complexité de la tâche cognitive, ainsi les tâches complexes qui nécessitent l'association d'informations multiples sont les plus sensibles à cet effet de ralentissement, et leur exécution sera d'autant plus pénalisée que le temps est limité.

Les personnes âgées présentent un ralentissement cognitif global. Il est mis en évidence par des réponses plus lentes lors du pré-test comparativement à la population de jeunes sportifs. De ce fait, l'étude de patients âgés pourrait se prêter plus facilement à la mise en évidence d'une réactivation des processus sensorimoteurs ralenti par l'avancée en âge. Dans notre expérience, il est alors possible que le recours à de jeunes adultes chez lesquels la fonction SSM serait optimale (comme l'atteste la rapidité des temps de réponse) rende plus complexe la mise en évidence d'une activation spécifique du SSM. On observe en effet une progression plus importante chez les personnes âgées.

2.9.1.4 Des conditions expérimentales différentes

D'autre part, les deux expériences ne sont pas réalisées exactement dans les mêmes conditions. Bien que la durée du massage soit la même, l'expérimentateur est différent. Dans la première expérience réalisée auprès de seniors hospitalisés(55)il s'agit d'un masseur-kinésithérapeute expérimenté (9 ans de pratique de la kinésithérapie) alors que dans la seconde, le massage est réalisé par moi-même, étudiant en troisième année de masso-kinésithérapie. La différence d'expérience professionnelle entre les deux thérapeutes pourrait être à l'origine des divergences présentes dans ces travaux. Moraska (2005) souligne effectivement que pour réaliser des études bien conçues, le massage doit être réalisé par des thérapeutes spécialement formés pour administrer ce type de thérapie.

De plus, les sujets ne devaient pas pratiquer d'activités physiques dans les 24 heures précédant et suivant le massage. Or nous n'avons aucune certitude concernant le respect de cette consigne. L'expérience est basée sur la confiance avec les sujets. Malgré tout, il demeure difficile de penser que l'ensemble de ces sujets, pratiquant quotidiennement du sport pour la plupart, soit complètement arrêté pendant 48 heures. Cela a pu être à l'origine de variations de l'activité sensori-motrice, perturbant les résultats. Pour espérer avoir une étude encore plus fiable, il sera nécessaire d'avoir la surveillance d'un arrêt totale des activités physiques.

2.9.2 Perspectives

L'objectif initial de l'étude était de savoir si le massage entraînait une activation sensori-motrice chez les jeunes sportifs. Afin de répondre à cette problématique, nous avons utilisé le test de rotation mentale de stimuli corporels qui nous a permis d'évaluer les processus

d'imagerie motrice et donc l'activité du cortex moteur. Les résultats ont montré une augmentation de l'activité sensori-motrice grâce au massage. Cet effet s'étend à l'ensemble du système effecteur massé, traduisant une activation bilatérale. L'exploitation de ces données permet de mettre en évidence l'intérêt potentiel du massage dans le domaine sportif. En effet, les résultats de cette expérience ouvrent de nouvelles problématiques et proposent de nouvelles hypothèses.

Théoriquement, le niveau d'activation du SSM conditionne l'efficacité proprioceptive, la représentation corporelle et la programmation des mouvements. Or la performance dans le milieu sportif est d'une manière générale basée sur la réalisation de gestes le plus rapidement et le plus précisément possible. Le fait de raccourcir les processus de traitement de l'information par le massage permet donc théoriquement d'améliorer l'exécution motrice et de surcroît la performance. En ce qui concerne la diminution du risque de blessure, l'utilisation du massage semble à nouveau avantageuse. Pour preuve, l'activation sensori-motrice démontrée à l'aide du test de rotation mentale par le massage suggère une amélioration de la proprioception et donc de la vigilance neuromusculaire, garante de l'intégrité physique des sportifs dans de nombreuses situations. Ces résultats sont à pondérer avec les études qui montrent une absence d'effet dans la prévention. Hilbert et ses collaborateurs et Farr et ses collaborateurs se sont notamment intéressés à l'effet du massage sur les DOMS (DelayetOnset Muscle Soreness) en utilisant respectivement des tests isométriques et isocinétiques de la hauteur de saut (33). Hormis une amélioration de la sensation de douleur chez les patients, aucun effet bénéfique du massage sur la prévention du risque de blessure et la force musculaire n'est démontré. L'intérêt théorique du massage sur la prévention du risque de blessure et la performance semble reposé sur le système sensori-moteur et nous permet de proposer un nouveau protocole afin d'affiner la posologie.

Cette étude permet d'avancer l'idée que le massage doit être appliqué avant l'effort, afin de faciliter l'activation sensorimotrice. Le massage d'un seul membre permet de stimuler l'ensemble du système effecteur selon la notion de transfert, autrement dit il suffit de masser un seul MI pour avoir des effets sur le fonctionnement sensori-moteurs de deux MI. Au-delà d'un gain de temps, cela présente d'autres intérêts potentiels. Prenons par exemple un sportif présentant une plaie sur une jambe empêchant le massage, l'étude met en perspective la possibilité de la stimuler en massant l'autre jambe.

Afin d'affiner encore la posologie, nous avons réalisé une seconde expérience, de nouveau à partir du test de rotation mentale. L'objectif étant de démontrer l'impact de l'étendue du massage sur l'activation sensori-motrice. Il s'avère que contrairement aux personnes âgées (55), augmenter la zone de massage n'améliore pas l'activation sensori-motrice chez les jeunes sportifs. Nous développerons cette partie dans la soutenance.

3 Conclusion

Ce mémoire a permis d'investiguer certains effets du massage, outil prépondérant dans la profession de masso-kinésithérapeute. De ce travail, il en résulte un intérêt de l'application du massage chez le sportif dans un objectif de stimulation du système sensori-moteur, entraînant tous les bénéfices cités précédemment. Le devenir de cette étude est d'être compléter avec des études corrélant la prévention des risques de blessure et la performance à l'activité sensori-motrice.

Professionnellement, ce travail d'initiation à la recherche m'a fait découvrir la rigueur qu'il est nécessaire d'avoir pour une approche scientifique, que ce soit pour la réflexion, la mise en place d'un protocole ou la rédaction. Le travail en collaboration des laboratoires, des chercheurs avec les praticiens a un intérêt évident pour tous. La qualité et fiabilité des soins n'en seraient que meilleures. En effet, il est intéressant d'associer les connaissances théoriques aux connaissances pratiques afin d'obtenir des méthodes fiables et efficaces. Les professionnels de santé et les chercheurs ont donc tout intérêt à collaborer. Pour la suite de ma formation et de ma future carrière professionnelle, je garderai ce lien avec la recherche qui m'apparaît comme essentiel lorsque l'on parle de profession de santé. Véritablement, la santé est un domaine en constante évolution où les connaissances ne sont jamais fixées, nécessitant une formation continue des professionnels.

Dans le cadre de mon futur métier, cette étude m'apporte des connaissances en adéquation avec mes futures envies professionnelles. J'aimerais notamment, m'orienter vers une pratique libérale dans le milieu sportif. Le massage étant couramment utilisé dans le monde du sport, il me paraît crucial de connaître ses tenants et ses aboutissants, encore mal définis dans la littérature actuelle. Le résultat de cette étude n'apporte qu'une infime partie des réponses que je me posais concernant le massage mais constitue les prémices d'un travail de recherche que je souhaite continuer par la suite à ce sujet. Cette étude me permet également de justifier l'utilisation du massage chez le sportif de part son impact sur le système sensori-moteur.

4 Références bibliographiques

1. Le Cavorzin P. Neurophysiologie de la fonction proprioceptive et récupération postlésionnelle. *Kinésithérapie Rev.* 2012;2012(128):23-8.
2. Mesure S. Neurophysiologie et stratégie posturale. *Kinésithérapie Sci.* Février 2007;(474).
3. Lamy J. Bases neurophysiologies de la proprioception. *Kinésithérapie Sci.* 2006;(472):15-23.
4. Gibet S, Marteau P. Modèle sensorimoteur pour le contrôle et la commande de mouvements du bras. *Intellectica.* 1995;(21).
5. Waters-Banker C, Dupont-Versteegden EE, Kitzman PH, Butterfield TA. Investigating the mechanisms of massage efficacy: the role of mechanical immunomodulation. *J Athl Train.* avr 2014;49(2):266-73.
6. Math F, Kahn J, Vignal J. *Neurosciences cliniques. De boeck supérieur.* 2008. 452 p. (Neurosciences et cognition).
7. Latash ML. *Neurophysiological basis of movement.* 2th éd. Human Kinetics; 2008.
8. Bear M-F, W.Connor B, Paradiso M. *Neurosciences : à la découverte du cerveau.* Pradel. Vol. 3. 2010.
9. Debrégeas G, Prevost A, Scheibert J. Toucher digital humain : transduction mécanique de l'information tactile et rôle des empreintes digitales. *Images Phys.* 2009;11-7.
10. Poitier P. Neurologie [Internet]. Université Médicale Virtuelle Francophone. 2013 [cité 8 avr 2017]. Disponible sur: <http://campus.cerimes.fr/semiologie/enseignement/esemio6/site/html/cours.pdf>
11. Ramachandran V. *Le cerveau, cet artiste.* Eyrolles. Paris; 2005. 14 p.
12. N. Schiffmann S. LE CERVEAU EN CONSTANTE RECONSTRUCTION : LE CONCEPT DE PLASTICITÉ CÉRÉBRALE. *De Boeck Supérieur.* 2001;11-23.
13. Droz Mendelzweig M. La plasticité cérébrale de Cajal à Kandel : Cheminement d'une notion constitutive du sujet cérébral. *Rev Hist Sci.* 2010;63:331-67.
14. Bleton J. Plasticité cérébrale et rééducation. *Kinésithérapie Sci.* nov 2006;(471).
15. Habib M, Besson M. Language, musique et plasticité cérébrale : perspectives pour la rééducation. *Rev Neuropsychol.* 2008;18(1-2):103-26.
16. Jenkins WM, Merzenich MM, Ochs MT, Allard T, Guíc-Robles E. Functional reorganization of primary somatosensory cortex in adult owl monkeys after behaviorally controlled tactile stimulation. *J Neurophysiol.* janv 1990;63(1):82-104.
17. Kuriscak E, Marsalek P, stroffek J, Toth PG. biological context of hebb learning in artificial neural networks, a review. *Neurocomputing.* 25 mars 2015;152:27-35.

18. Lebon F. Imagerie motrice et activité électromyographique. *Sci Mot.* 2008;2(64):112.
19. Bio-Tremplins : la biologie vit et évolue. L'enseignement aussi: C'est l'intention qui compte [Internet]. [cité 23 févr 2017]. Disponible sur: <http://tecfa-bio-news.blogspot.fr/2009/05/cest-lintention-qui-compte.html>
20. Julien Doyon, Orban P, Lungu Ovidiu, Laventure Samuel. Plasticité fonctionnelle du cerveau et apprentissage moteur. *Med Sci.* avr 2011;9.
21. Vaquero L, Hartmann K, Ripollés P, Rojo N, Sierpowska J, François C, et al. Structural neuroplasticity in expert pianists depends on the age of musical training onset. *NeuroImage.* févr 2016;126:106-19.
22. De Vignemont F, Marzano M. Le cerveau. In: *Dictionnaires du corps.* 2006. p. 173-7. (Presses universitaires).
23. Park IS, Lee YN, Kwon S, Lee NJ, Rhyu IJ. White matter plasticity in the cerebellum of elite basketball athletes. *Anat Cell Biol.* 2015;48(4):262.
24. Huang Z, Davis IV H (Hap), Wolff A, Northoff G. Thalamo-Sensorimotor Functional Connectivity Correlates with World Ranking of Olympic, Elite, and High Performance Athletes. *Neural Plast.* 2017;2017:1-10.
25. Aurore M. Immobilisation de courte durée d'un membre et imagerie motrice. Poitiers - Faculté des sciences du sport; 2014.
26. Dortier J-F. Cerveau et la pensée (NE) (Le): Le nouvel âge des sciences cognitives. Editions Sciences Humaines (23 janvier 2014). 479 p. (Ouvrages de synthèse).
27. Wolpert DM, Ghahramani Z. [No Title]. *Nat Neurosci.* 1 nov 2000;3(Supp):1212-7.
28. Contribution vestibulaire au contrôle des mouvements du bras lors d'une rotation du corps [Internet]. [cité 10 avr 2017]. Disponible sur: <http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/23976/ch02.html>
29. Lonini L, Dipietro L, Zollo L, Guglielmelli E, Krebs HI. An Internal Model for Acquisition and Retention of Motor Learning During Arm Reaching. *Neural Comput.* juill 2009;21(7):2009-27.
30. Augurelle A-S, Penta M, White O, Thonnard J-L. The effects of a change in gravity on the dynamics of prehension. *Exp Brain Res.* févr 2003;148(4):533-40.
31. Masson E. Le massage, approche basée sur les preuves [Internet]. EM-Consulte. [cité 20 févr 2017]. Disponible sur: <http://www.em-consulte.com/article/1103281/le-massage-approche-basée-sur-les-preuves>
32. Décret n° 2004-802 du 29 juillet 2004 relatif aux parties IV et V (dispositions réglementaires) du code de la santé publique et modifiant certaines dispositions de ce code Les dispositions réglementaires des parties IV et V du code de la santé publique font l'objet d'une publication spéciale annexée au Journal officiel de ce jour (voir à la fin du sommaire). 2004-802 juillet, 2004.
33. Weerapong P, Hume PA, Kolt GS. The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports Med Auckl NZ.* 2005;35(3):235-56.

34. Field T. Massage therapy research review. *Complement Therapies in Clinical Practice*. Elsevier masson. 2016;19-31.
35. Poppendieck W, Wegmann M, Ferrauti A, Kellmann M, Pfeiffer M, Meyer T. Massage and Performance Recovery: A Meta-Analytical Review. *Sports Med*. févr 2016;46(2):183-204.
36. Kargarfard M, Lam ETC, Shariat A, Shaw I, Shaw BS, Tamrin SBM. Efficacy of massage on muscle soreness, perceived recovery, physiological restoration and physical performance in male bodybuilders. *J Sports Sci*. 18 mai 2016;34(10):959-65.
37. Teimouri M, Kargarfard M, Shairifi G. Effects of massage therapy on physical performance and perceived recovery following acute eccentric exercise in male body building athletes. *Journal of Isfahan Medical School*. 29 mars 2012;2765-78.
38. Albaret J, Aubert E. Etalonnage 15-19 ans du test de rotation mentale de vonderberg. *Evolutions psychomotrices*. *Evol Psychomot*. 1996;8(34):1-10.
39. Parsons LM. Imagined spatial transformation of one's body. *J Exp Psychol Gen*. juin 1987;116(2):172-91.
40. McAvinue LP, Robertson IH. Relationship between Visual and Motor Imagery. *Percept Mot Skills*. juin 2007;104(3):823-43.
41. Héту S, Grégoire M, Saimpont A, Coll M-P, Eugène F, Michon P-E, et al. The neural network of motor imagery: an ALE meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev*. juin 2013;37(5):930-49.
42. Lebon F, Gueugneau N, Papaxanthis C. Modèles internes et imagerie motrice. *Mov Sport Sci*. 8 nov 2013;(82):51-61.
43. Ionta S, Fourkas A., Fiorio M, Aglioti S. The influence of hands posture on mental rotation of hands and feet. *Exp Brain Res*. 183(1):1-7.
44. Brady N, Maguinness C, Ní Choisdealbha Á. My Hand or Yours? Markedly Different Sensitivity to Egocentric and Allocentric Views in the Hand Laterality Task. Tsakiris M, éditeur. *PLoS ONE*. 3 août 2011;6(8):e23316.
45. Henriksen M, Højrup A, Lund H, Christensen L, Danneskiold-Samsøe B, Bliddal H. The effect of stimulating massage of thigh muscles on knee joint position sense. *Adv Physiother*. mars 2004;6(1):29-36.
46. Nico D, Daprati E, Rigal F, Parsons L, Sirigu A. Left and right hand recognition in upper limb amputees. *Brain J Neurol*. janv 2004;127(Pt 1):120-32.
47. Toussaint L, Meugnot A. Short-term limb immobilization affects cognitive motor processes. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*. mars 2013;39(2):623-32.
48. Meugnot A, Agbanla N, Toussaint L. Selective impairment of sensorimotor representations following short-term upper-limb immobilisation. *The quarterly Journal of Experimental psychology*. Taylor & Francis. 2015;
49. Curtze C, Otten B, Postema K. Effects of lower limb amputation on the mental rotation of feet. *Exp Brain Res*. mars 2010;201(3):527-34.

50. Berlucchi G, Aglioti S. The body in the brain: neural bases of corporeal awareness. *Trends Neurosci.* déc 1997;20(12):560-4.
51. Meugnot A, Almecija Y, Toussaint L. The Embodied Nature of Motor Imagery Processes Highlighted by Short-Term Limb Immobilization. *Exp Psychol.* nov 2014;61(3):180-6.
52. Avanzino L, Pelosin E, Abbruzzese G, Bassolino M, Pozzo T, Bove M. Shaping Motor Cortex Plasticity Through Proprioception. *Cereb Cortex.* 1 oct 2014;24(10):2807-14.
53. Demanze-Bernard L, Rougier P, Berge L. Effet d'une séquence de massage plantaire rotatif sur le maintien de la station debout non perturbée. *J Readaptation Med.* Elsevier Masson. 2002;21-7.
54. Lund H, Henriksen M, Bartels EM, Danneskiold-Samsøe B, Bliddal H. Can stimulating massage improve joint repositioning error in patients with knee osteoarthritis? *J Geriatr Phys Ther* 2001. 2009;32(3):111-6.
55. Rulleau T, Toussaint L. Effet du massage sur le fonctionnement du système sensori-moteur du sujet âgé hospitalisé. *Kinésithérapie Rev.* Février 2015;15(158):18-9.
56. Sefton JM, Yarar C, Berry JW. Six Weeks of Massage Therapy Produces Changes in Balance, Neurological and Cardiovascular Measures in Older Persons. *Int J Ther Massage Bodyw.* 26 sept 2012;5(3):28-40.
57. Sefton JM, Yarar C, Berry JW. Massage Therapy Produces Short-term Improvements in Balance, Neurological, and Cardiovascular Measures in Older Persons. *Int J Ther Massage Bodyw.* 26 sept 2012;5(3):16-27.
58. Vaillant J, Rouland A, Martigné P, Braujou R, Nissen MJ, Caillat-Miousse J-L, et al. Massage and mobilization of the feet and ankles in elderly adults: Effect on clinical balance performance. *Man Ther.* déc 2009;14(6):661-4.
59. Dufour M. *Massages.* EMC. Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation. Paris: Elsevier Masson; 1999. (Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation).
60. Caissie A, Vigneau F, Bors D. What does the Mental Rotation Test Measure? An Analysis of Item Difficulty and Item Characteristics. *The open psychology journal.* 2002;94-102.
61. Toussaint L, Meugnot A. Functional plasticity of sensorimotor representations following short-term immobilization of the dominant versus non-dominant hands. *Acta psychologica.* Elsevier Masson. 2015;51-6.
62. A. Salthouse T. what and when of cognitive aging. *Am Psychol Soc.* 2004;13(4):140-4.
63. Gély-Nargeot M. Effects of Cognitive Aging on Memory Performances. *Presse Med* 29. avril 2000;(15):849-57.

5 Annexe 1

Routine massage pied-genou

Installation :

- Coussin sous genou : détendre gastrocnémiens
- Coussin sous tête
- Dossier relevé à 45°

Le massage s'effectuera à l'huile

1. Commencer par des effleurages sur la région pied et du genou : 1 minute
2. Massage en prise de piano : prendre le pied dans la globalité, effectuer des pressions de façon à mobiliser les métatarses les uns par rapport aux autres : Sur chaque méta. 2 fois : 45 secondes
3. Massage en ailes de papillons : doigts sous le dôme du pied avec les mains englobant le pied. On pousse la voûte plantaire avec les doigts, on pousse ensuite le dessus du pied avec le pouce et la paume de main : 30 secondes
4. Pétrissage sur les bords médiaux et latéraux : 45 secondes
5. Meule du talon : doigt en contre appui sur tibia/fibula, paume en pression statique : 30 secondes
6. Pression glissée la face plantaire du pied, en massant l'aponévrose transversalement et longitudinalement : 45 secondes
7. Remonter en pression glissée jusqu'au niveau du genou en insistant sur tibia antérieur et loge postérieure du tibia : 45 secondes
8. Pétrissage des gastrocnémiens : on tracte avec les doigts puis les paumes. Le genou est fléchi, le pied sur la table. Cela permet un décollement de la loge postérieure superficielle : 45 secondes
9. Massage et mobilisation de tout les muscles du segment jambier: 1 minute
10. Remonter en pression glissée jusqu'au genou et réaliser pétrissage de la partie distale du corps musculaire du quadriceps, ischios jambiers : 1 minute
11. Massage des éléments peri-articulaires de la patella et redescendre en effleurage au niveau du pied : 1 minutes
12. Stimulation du schéma de marche : talon → bord latéral → tête du 5 → tête du 1 → pulpe du gros orteil, le tout en pression glissée : 45 secondes
13. Terminer par effleurage sur l'ensemble pied-genou : 30 secondes

6 Annexe 2



Laboratoire « Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage »
Maison des sciences de l'Homme et de la Société
– CNRS – Université de Poitiers – France

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT LIBRE, ECLAIRE ET EXPRES

Formateur : Laboratoire « Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage »

Chercheurs investigateur : Lucette Toussaint, Professeur des Universités, Université de Poitiers, France.

Expérimentateur : Maël Manceau, Etudiant en Masso-kinésithérapie à l'IFM3R de Saint Sébastien-sur-Loire

Les données qui vous concernent resteront confidentielles et anonymes. Elles pourront faire l'objet de publications scientifiques, mais dans aucun cas votre nom ou tout élément susceptible de vous identifier comme participant n'y figurera.

Je soussigné(e),certifie avoir pris connaissance des informations relatives à l'étude.

J'accepte volontairement de participer à cette étude, je comprends que ma participation n'est pas obligatoire et que je peux stopper ma participation à tout moment sans encourir aucune responsabilité. La participation permettra d'obtenir 1 pt supplémentaire sur la moyenne des TD L2 contrôle moteur.

Mon consentement ne décharge pas les organisateurs de la recherche de leurs responsabilités et je conserve tous mes droits garantis par la loi.

Je comprends également que les informations recueillies au cours de cette étude sont strictement confidentielles et à usage exclusif des investigateurs concernés.

Pour la réalisation de l'expérience dans des conditions optimales, il vous sera demandé de ne pratiquer aucune activité physique durant 48 h.

Date :

Nom du volontaire :

Nom de l'expérimentateur : Maël Manceau

Signature du volontaire :

(Précédée de la mention « lu et approuvé »)

Signature de l'expérimentateur :