

Institut Limousin de FOrmation  
aux MÉtiers de la Réadaptation  
Masso-kinésithérapie

## L'utilisation de l'imagerie du mouvement dans l'étirement musculaire

Mémoire présenté et soutenu par  
**Yoan BORIE**

En juin 2019



Mémoire dirigé par  
**François DUZOU**

Directeur de la filière Masso-kinésithérapie à l'ILFOMER

## Remerciements

---

Cet écrit représente la finalité de 4 années de formation, mais aussi de nombreux mois de réflexion et de travail personnel. Un objectif que je n'aurai pas pu atteindre sans l'aide des personnes suivantes à qui je souhaite exprimer toute ma reconnaissance.

Pour commencer, c'est un remerciement particulier adressé à Miloud, ancien camarade du lycée, sans qui je n'aurai pas eu la détermination d'entreprendre une PACES et je n'aurai peut-être jamais eu la chance de découvrir ce métier.

Je voudrais ensuite remercier mes proches et particulièrement mes parents, qui m'ont toujours accompagné et surtout permis de faire ces études dans les meilleures conditions possibles. Merci également à ma copine pour son soutien quotidien.

Je remercie M. Anaick Perrochon, maître de conférences universitaire à l'ILFOMER, pour m'avoir accompagné dans la démarche d'une recherche scientifique. Les difficultés, notamment méthodologiques, pour mettre en place ce projet ont été nombreuses et vous avez toujours su m'aider à les surmonter. Je vous remercie également pour votre disponibilité et pour la confiance que vous m'avez accordée pour l'utilisation du matériel indispensable à la réalisation de cette étude.

Je remercie M. François Duzou, directeur de la filière masso-kinésithérapie à l'ILFOMER et de ce mémoire, pour avoir lu attentivement à plusieurs reprises ce travail pendant son développement. Merci pour vos précieuses corrections et vos conseils d'expériences dans le champ de la masso-kinésithérapie.

Je remercie M. Arnaud Saimpont, maître de conférences à l'université Claude Bernard (Lyon 1), pour son avis d'expert dans le domaine de la recherche sur l'imagerie motrice. Merci pour le temps que vous avez consacré à ce travail et pour vos conseils qui ont beaucoup alimenté ma réflexion.

Je remercie l'équipe pédagogique de l'ILFOMER, pour leur amabilité et leur disponibilité concernant l'accès aux salles disponibles. Une condition qui était essentielle pour la mise en place de l'étude dans de bonnes conditions.

Je remercie toutes les étudiantes et tous les étudiants volontaires, pour l'intérêt qu'ils ont porté à cette recherche. Merci d'avoir sacrifié une heure de votre temps libre et merci pour votre ponctualité.

Je voudrais également remercier mes camarades de classe, devenus pendant ces 4 années de véritables amis, qui m'ont accompagné et soutenu moralement tout au long de la réalisation de ce projet.

Enfin je remercie toutes les personnes qui prendront le temps de lire ce mémoire.

## Droits d'auteurs

---

Cette création est mise à disposition selon le Contrat :

« **Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de modification 3.0 France** »

disponible en ligne : <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>



## Charte anti-plagiat

---

La Direction Régionale de la Jeunesse, des Sports et de la Cohésion Sociale délivre sous l'autorité du Préfet de région les diplômes du travail social et des auxiliaires médicaux et sous l'autorité du Ministre chargé des sports les diplômes du champ du sport et de l'animation.

Elle est également garante de la qualité des enseignements délivrés dans les dispositifs de formation préparant à l'obtention de ces diplômes.

C'est dans le but de garantir la valeur des diplômes qu'elle délivre et la qualité des dispositifs de formation qu'elle évalue que les directives suivantes sont formulées à l'endroit des étudiants et stagiaires en formation.

Article 1 :

Tout étudiant et stagiaire s'engage à faire figurer et à signer sur chacun de ses travaux, deuxième de couverture, l'engagement suivant :

**Je, soussigné Yoan BORIE**

**Atteste avoir pris connaissance de la charte anti plagiat élaborée par la DRDJSCS NA  
– site de Limoges et de m'y être conformé.**

**Et certifie que le mémoire/dossier présenté étant le fruit de mon travail personnel, il ne pourra être cité sans respect des principes de cette charte.**

**Fait à Limoges, Le lundi 6 mai 2019**

**Suivi de la signature.**

Article 2 :

« Le plagiat consiste à insérer dans tout travail, écrit ou oral, des formulations, phrases, passages, images, en les faisant passer pour siens. Le plagiat est réalisé de la part de l'auteur du travail (devenu le plagiaire) par l'omission de la référence correcte aux textes ou aux idées d'autrui et à leur source » .

Article 3 :

Tout étudiant, tout stagiaire s'engage à encadrer par des guillemets tout texte ou partie de texte emprunté(e) ; et à faire figurer explicitement dans l'ensemble de ses travaux les références des sources de cet emprunt. Ce référencement doit permettre au lecteur et correcteur de vérifier l'exactitude des informations rapportées par consultation des sources utilisées.

Article 4 :

Le plagiaire s'expose aux procédures disciplinaires prévues au règlement intérieur de l'établissement de formation. Celles-ci prévoient au moins sa non présentation ou son retrait de présentation aux épreuves certificatives du diplôme préparé.

En application du Code de l'éducation et du Code pénal, il s'expose également aux poursuites et peines pénales que la DRJSCS est en droit d'engager. Cette exposition vaut également pour tout complice du délit.

# Vérification de l'anonymat

---

**Mémoire DE Masseur-Kinésithérapeute**

**Session de juin 2019**

**Attestation de vérification d'anonymat**

Je soussignée(e) Yoan BORIE

Etudiant de 4ème année

Atteste avoir vérifié que les informations contenues dans mon mémoire respectent strictement l'anonymat des personnes et que les noms qui y apparaissent sont des pseudonymes (corps de texte et annexes).

Si besoin l'anonymat des lieux a été effectué en concertation avec mon Directeur de mémoire.

Fait à : Limoges

Le : lundi 6 mai 2019

Signature de l'étudiant

## Glossaire

---

**AAM** : Amplitude Articulaires Maximales

**AMS** : Aire Motrice Supplémentaire

**APM** : Aire Prémotrice

**AVC** : Accident Vasculaire Cérébral

**CC** : Composante Contractile

**CEP** : Composante Élastique Parallèle

**CES** : Composante Élastique Série

**cM1** : Cortex Moteur Primaire

**CMA** : Complexe Musculo-Articulaire

**CMV** : Contraction Maximale Volontaire

**CRAC** ou **CRCA** : Contraté Relâché avec Contraction de l'Antagoniste

**CRE** : Contraté Relâché Étiré

**EMG, EMGs** : Electromyographie, Electromyographie de surface

**FNM** : Fuseau Neuro-Musculaire

**FNP** : Facilitation neuromusculaire par la Proprioception

**IM** : Imagerie Motrice

**IMK** : Imagerie Motrice Kinesthésique

**IR** : Innervation Réciproque ou Inhibition Réciproque

**Isochronie / isochronisme** : qui a un caractère isochrone, c'est-à-dire qui s'effectue dans des intervalles de temps égaux

**IV, IVE, IVI** : Imagerie Visuelle, Imagerie Visuelle Externe, Imagerie Visuelle Interne

**KVIQ-10** ou **QVIK-10** : Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire version courte (10 items)

**ME** : Mouvement Exécuté

**NGC** : Noyaux Gris Centraux

**PHQ-9** : Patient Health Questionnaire (9 items)

**RM** : Réflexe Myotatique (appelé aussi réflexe d'étirement)

**RMA** : Raideur Musculo-Articulaire

**SRDC** : Syndrome Régional Dououreux Complexe

**TA** : Tibial Antérieur

**TS** : Triceps Sural

# Table des matières

---

1. L'imagerie du mouvement .....	13
1.1. Principe :.....	13
1.2. Définitions et utilisations :.....	13
1.2.1. Les modalités de l'imagerie motrice.....	13
1.2.2. Plus qu'une représentation mentale .....	14
1.2.3. Utilisations de l'imagerie motrice .....	15
1.3. Neurophysiologie et physiologie :.....	16
1.3.1. Le mouvement volontaire .....	16
1.3.2. Points communs entre mouvement exécuté et imaginé .....	18
1.3.3. Différences entre mouvement exécuté et imaginé .....	18
1.3.4. Implication du cortex moteur primaire (cM1) .....	18
1.3.5. Spécificités du mouvement imaginé .....	19
1.4. Evaluation de l'imagerie motrice .....	20
2. L'étirement .....	23
2.1. Définitions .....	23
2.2. Principe et utilisations : .....	23
2.2.1. Les fondamentaux .....	23
2.2.2. Les méthodes d'étirement .....	24
2.3. Physiologie : .....	26
2.3.1. Modèles et structures de la mécanique musculaire .....	26
2.3.2. Les variables du complexe musculo-articulaire impliquées dans l'étirement .....	28
2.3.3. Effets de l'étirement sur les résistances mécaniques.....	30
2.3.4. Paramètres influençant la résistance à l'étirement.....	31
2.3.5. L'existence de voies réflexes : résistance neuro-musculaire.....	31
2.4. Evaluation de l'étirement.....	35
3. Synthèse et problématisation .....	36
4. Matériel et méthode.....	38
4.1. Principes de l'étude.....	38
4.2. Population.....	38
4.2.1. Population « souhaitée » .....	38
4.2.2. Recrutement.....	40
4.3. Protocole / procédure.....	40
4.3.1. Evaluations cliniques préalables.....	40
4.3.2. Déroulement.....	43
4.4. Variables et matériels.....	45
4.4.1. Critère de jugement principal .....	45
4.4.2. Critères de jugement secondaires .....	46
4.4.3. Goniomètre électronique et repères utilisés.....	46
4.4.4. Enregistrement électromyographique de surface.....	47
4.5. Modalités de traitement des données.....	48
5. Résultats .....	49
5.1. Population « retenue » .....	49
5.1.1. Procédure d'inclusion .....	49
5.1.2. Caractéristiques des participants.....	50
5.2. Données recueillies.....	51

5.2.1. Critère de jugement principal .....	52
5.2.2. Critères de jugement secondaires .....	53
5.2.3. Hypothèses de corrélations .....	56
6. Discussion.....	58
6.1. Analyse des résultats et confrontation avec la littérature.....	58
6.1.1. Comparaison des deux méthodes d'étirements .....	58
6.1.2. Impact de l'imagerie motrice sur l'efficacité des étirements .....	59
6.1.3. Conséquences de l'ajout de l'imagerie motrice à des étirements .....	61
6.2. Intérêt clinique .....	63
6.3. Choix, limites et difficultés rencontrées .....	64
6.3.1. Concernant la méthode .....	64
6.3.2. Concernant la tâche d'imagerie motrice.....	65
6.3.3. Concernant la passivité et l'électromyographie de surface .....	66
6.3.4. Autres limites mineures .....	66
6.4. Perspectives .....	67
6.4.1. Propositions d'amélioration de l'étude .....	67
6.4.2. Dans le prolongement de cette étude .....	68
Conclusion .....	70
Références bibliographiques .....	71
Annexes .....	77

## Table des illustrations

---

Figure 1 : Les aires cérébrales et le mouvement volontaire .....	17
Figure 2 : Modèle de Hill (1957) .....	26
Figure 3 : Modèle de Shorten et al. (1987) .....	27
Figure 4 : Modèle de Farley et Morgenroth (1999).....	28
Figure 5 : Relation Force passive - Longueur .....	29
Figure 6 : Le phénomène d'hystérésis .....	29
Figure 7 : Le réflexe myotatique .....	32
Figure 8 : Diagramme de flux .....	49
Figure 9 : Répartition de l'exclusion / inclusion .....	50
Figure 10 : Amplitude Articulaire Maximale mesurée .....	53
Figure 11 : Pénibilité / inconfort mesurée.....	54
Figure 12 : Difficultés de compréhension et de réalisation mesurées .....	55
Figure 13 : Qualité d'imagerie motrice produite .....	55
Figure 14 : Amplitude Articulaire Maximale et pénibilité .....	56
Figure 15 : Amplitude Articulaire Maximale et difficultés perçues .....	57
Figure 16 : Amplitude Articulaire Maximale et qualité d'imagerie motrice produite .....	57
Figure 17 : Sit and reach test.....	60

## Table des tableaux

---

Tableau 1 : Caractéristiques des participants .....	51
Tableau 2 : Récapitulatif des données recueillies par condition .....	52

## Introduction

---

Notre cerveau possède de nombreuses capacités, notamment celle de s'imaginer tout ce que nous souhaitons. Certaines représentations mentales dépassent les frontières de celui-ci jusqu'à nous procurer parfois des sensations bien réelles. Ce phénomène témoigne de l'existence d'un impact physique perceptible, procuré par notre imaginaire. Avec un regard de futur masseur-kinésithérapeute, l'imagination du mouvement ou imagerie du mouvement m'a interpellé et questionné : Que se passe-t-il lorsque nous pensons à un mouvement ? Est-ce que les processus mentaux sont différents de ceux qui permettent d'en réaliser un ? Si oui, peuvent-ils avoir un impact l'un sur l'autre ? Si non, comment passe-t-on d'une pensée à un geste ? Je me suis alors intéressé à la dimension psychique du mouvement, aux chemins qu'elle dispose pour rejoindre une dimension somatique mais aussi à la manière de pouvoir l'utiliser.

Parallèlement, je me questionnais sur un outil très répandu en kinésithérapie et d'apparence simple : l'étirement musculaire. Il est beaucoup utilisé, mais souvent peu ou mal connu et constitue encore aujourd'hui un sujet de controverse, notamment sur ses conditions d'utilisation. Cela amenait un challenge et une motivation supplémentaires dans l'objectif d'avoir mon propre avis sur ce sujet.

Enfin, l'envie de lier ces deux réflexions est venu implicitement, aboutissant à cet ultime questionnement :

Est-ce que la représentation mentale du mouvement appelé aussi imagerie du mouvement, partage des mécanismes communs avec l'étirement musculaire ? Si oui peut-elle le faciliter ?

# 1. L'imagerie du mouvement

---

## 1.1. Principe :

L'imagerie du mouvement se traduit simplement comme l'aptitude à se représenter mentalement un mouvement. C'est pourquoi on retrouve souvent l'appellation d'imagerie mentale ou plus communément d'imagerie motrice (IM). Elle est de plus en plus développée dans de nombreux domaines, tels que l'éducation, le sport, la musique, la médecine, la rééducation, la kinésithérapie etc. A ce titre, la recherche sur PubMed de « motor imagery » conduit à plus de 3000 résultats contre quelques dizaines avant les années 2000, avec en moyenne 230 nouvelles publications par an.

L'IM a pris son essor en psychologie et il a fallu attendre presque un siècle avant qu'elle ne soit réellement considérée comme liée aux fonctions motrices. Notamment grâce à la revue de littérature de Feltz et Landers en 1983 qui a démontré son effet facilitateur dans l'apprentissage moteur (1). Aujourd'hui, l'intérêt qu'apporte d'un point de vue clinique ce type de représentation motrice, fait d'elle un objet d'étude dans de multiples contextes (2).

## 1.2. Définitions et utilisations :

### 1.2.1. Les modalités de l'imagerie motrice

Selon Jeannerod, l'imagerie du mouvement est un processus cognitif, au cours duquel la représentation d'une action est reproduite mentalement, sans aucune exécution (3). Il a décrit l'imagerie motrice de façon binaire :

- L'imagerie motrice visuelle ou imagerie visuelle (IV), qui est la capacité de visualiser un mouvement sans l'exécuter. Elle peut se réaliser de deux façons :
  - Soit d'un point de vue extérieur au corps, c'est alors une représentation exocentrique du mouvement. C'est-à-dire une visualisation du mouvement où chacun peut déterminer la distance entre le soi « observateur » et le mouvement observé (1,2). On parle d'imagerie visuelle externe (IVE), ou à la troisième personne.
  - Soit à travers ses propres yeux, c'est alors une représentation égocentrique du mouvement (2). On parle d'imagerie visuelle interne (IVI), ou à la première personne.
- L'imagerie motrice kinesthésique (IMK), qui est la faculté de ressentir mentalement l'exécution d'un mouvement. Ce ressenti correspond à toutes les sensations kinesthésiques d'un mouvement réel, telles que la contraction ou l'étirement d'un muscle.

Il est rapporté que les mouvements complexes mettent plus de temps à être produits que les mouvements simples. Ce phénomène est aussi bien valable pour des mouvements réels que

imaginés (5). La modalité visuelle se forme avec la capacité de voir un mouvement plutôt que de le ressentir et engage donc une activation corticale différente. Ce processus formant les IV peut, dans certain cas, permettre, lors de mouvement complexe ou par manque d'expérience, de faciliter la formation d'IM en passant par la modalité visuelle (6,7). Les instructions données au patient contribuent à cette difficulté et donc influencent le chemin cortical pour la formation de l'imagerie du mouvement (4). Il faut donc leur apporter une attention particulière, surtout lorsqu'une IM stricte et de qualité est recherchée.

### **1.2.2. Plus qu'une représentation mentale**

Pour approfondir sur l'IM, elle est le résultat de l'accès conscient d'une intention de mouvement, laquelle est habituellement réalisée de manière inconsciente, pendant la phase qui prépare le mouvement. L'ouverture de cet accès conscient passe par une inhibition de l'exécution du mouvement (3).

D'un point de vue physiologique, il peut donc être constaté des points communs entre IM et mouvement exécuté (ME) tel que la stimulation du système nerveux végétatif avec l'augmentation de la fréquence cardiaque et respiratoire. Ces phénomènes représentent donc une forme de préparation à l'action par la représentation mentale et non les conséquences d'une activité musculaire (3,5). C'est pourquoi, lors de la production d'IM de la marche, sous une forme de marche imaginée, il est observé une augmentation de la ventilation de 20 à 50% par rapport à ce que l'on retrouve dans une marche réelle (8)

Concernant l'activité électromyographique (EMG) engendrée par l'IM, elle est à prendre avec précaution car elle n'est pas systématique (9). Effectivement, elle est liée à l'inhibition de l'exécution du mouvement qui est imaginé (3) qui sera abordé en 1.3.5. Dans ce cadre, plus une IM représente un mouvement avec une force importante, plus elle va demander un effort mental important (5) et plus l'activité EMG au niveau des muscles cibles peut être importante si elle est perçue (3). Il est également relevé que les régimes de contractions musculaires qui sont imaginés, ont un impact sur l'activité EMG enregistrée aux muscles effecteurs. Les contractions imaginées, concentrique et isométrique, peuvent produire une réponse électrique supérieure à celle d'une contraction excentrique imaginée (9).

Pour trouver une explication à cette corrélation physiologique entre IM et ME, il faut remonter à la théorie de la simulation de Marc Jeannerod, différenciant le mouvement anticipé ou dissimulé du mouvement exécuté. Elle stipule qu'un mouvement anticipé est une étape antérieure et commune au mouvement exécuté. C'est la décision de le réaliser qui ferait passer de l'une à l'autre. Ce qu'il appelle mouvement anticipé correspond à l'IM, c'est l'étape où le but de l'action et les conséquences de celle-ci se définissent. « Les actions dissimulées sont

en fait des actions, à l'exception du fait qu'elles ne sont pas exécutées » (10). C'est pourquoi cette théorie expose qu'il y a l'implication de mêmes structures et mécanismes pour un mouvement anticipé ou réalisé (10). La récente méta-analyse menée par Héту et al. confirme que l'IM partage des fonctions semblables à celles qui sont impliquées dans la préparation d'un ME (4). Ces liens étroits entre IM et ME pourraient expliquer le bénéfice qu'apporte leur association (11).

### **1.2.3. Utilisations de l'imagerie motrice**

Nous trouvons un intérêt à utiliser l'IM dans des situations bien différentes. Lorsqu'il y a une incapacité à effectuer un mouvement par atteinte neurologique ou immobilisation, l'IM est un outil remarquable pour simuler le mouvement et préserver les capacités. A ce titre, la HAS considère qu'elle peut être un adjuvant aux traitements de rééducation motrice dans un cadre précis d'Accident Vasculaire Cérébral (AVC) (12). A l'inverse, quand le mouvement est réalisable, elle permet cette fois d'augmenter la capacité de contraction (11). Elle permet de stimuler la facilitation neuromusculaire proprioceptive (PNF) (13). Elle s'avère être également un bon complément de rééducation pour optimiser la récupération de la fonction locomotrice (8). Dans la lutte contre des douleurs de membres, neurologiques principalement : par exemple utilisation de l'Imagerie Motrice Graduée (GMI) pour soigner des douleurs liées au Syndrome Régional Dououreux Complexe (SRDC) (14). L'IM permet de diminuer l'anxiété lors de thérapie physique, mais aussi d'accroître la confiance en soi sur le plan moteur et de retrouver de la motivation après des accidents (11,15).

De surcroît, dans un cadre pratique, l'imagerie du mouvement est une méthode qui a l'avantage de pouvoir s'utiliser sans aucun matériel en rééducation et donc d'être peu coûteuse. Elle ne présente aucune contre-indication, seulement quelques précautions à prendre (14). Tout d'abord il est plus judicieux de coupler l'IM avec des ME pour éviter une hyper-confiance en soi : l'exécution du mouvement permet de revenir à une réalité physique. Il peut y avoir persistance de douleurs lors d'une mauvaise utilisation de l'IM dans le traitement de douleurs neurologiques (SRDC ou membre fantôme par exemple). Le contrôle précis de ce que fait réellement le sujet pendant l'imagerie reste illusoire. Il n'y a pas de gain de masse musculaire avec une pratique seule de l'IM, elle doit donc servir d'adjuvant au ME mais ne pas le remplacer (5). Enfin l'IM est un processus complexe qui peut s'altérer avec le vieillissement ou dans certaines pathologies, il faut donc le prendre en compte (5,15,16).

## 1.3. Neurophysiologie et physiologie :

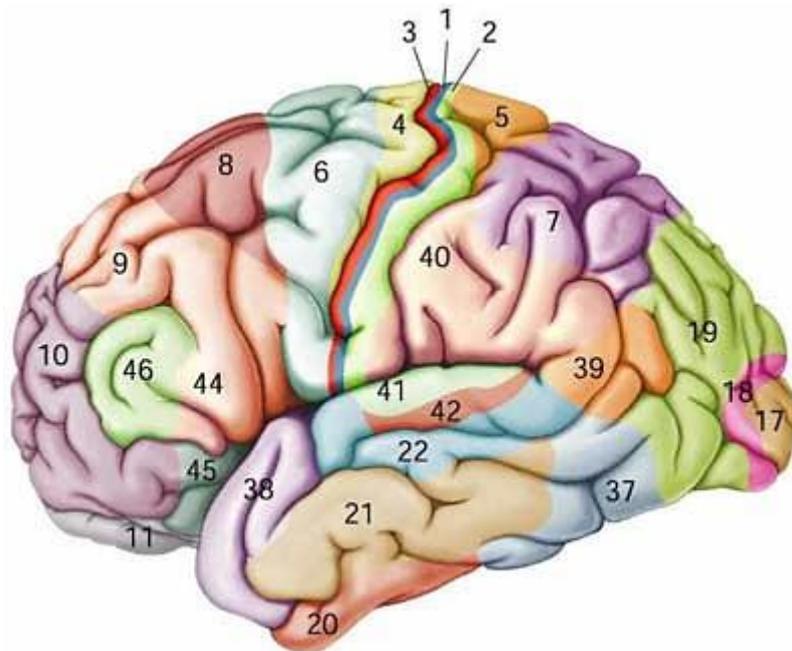
### 1.3.1. Le mouvement volontaire

Afin de mieux comprendre les corrélations et les différences sur le plan neurophysiologique entre une IM et un ME, il faut rappeler les différentes étapes et les structures impliquées qui permettent d'aboutir à un mouvement volontaire. La Figure 1 offre un support visuel des aires cérébrales.

- Tout commence par une intention de mouvement identifiant un but. Ce futur mouvement est ensuite planifié, pour donner une réponse physique adaptée au but à atteindre.
- D'abord il y a regroupement des informations qui renseignent sur l'état actuel du corps et sur l'environnement. Ce sont les afférences somato-sensorielles qui viennent du cortex somesthésique primaire (aires 3,1,2) et les afférences visuelles qui viennent du cortex visuel primaire (aire 17) qui se regroupent dans le cortex pariétal (aires 5 et 7). Ensuite ces informations se rendent dans le cortex pré-frontal (aires 9 et 46) pour la prise de décision, et l'anticipation de ce mouvement (17,18). Puis elles convergent vers le cortex prémoteur (aire 6). C'est principalement dans cette aire que le mouvement est imaginé et représenté mentalement, afin de le préparer (18). Dans cette aire 6, se distinguent l'Aire Motrice Supplémentaire (AMS ou SMA) et l'Aire PréMotrice (APM), qui sont activées pendant la répétition mentale d'un mouvement. On remarque que les mouvements distaux sont plutôt contrôlés par l'AMS, tandis que l'APM supervise d'avantage les mouvements proximaux (17).
- C'est au tour de l'étape programmation, elle joue un rôle de filtre en faisant le choix des bons effecteurs qui vont réaliser le mouvement préalablement imagé au sein de l'AMS. Elle est constituée d'une boucle intra-encéphalique, qui quitte le cortex prémoteur (aire 6) pour y revenir. Cette boucle intra-encéphalique fait intervenir certains noyaux gris centraux (NGC) et le thalamus (17).
  - L'entrée se fait par le noyau caudé et le putamen, que l'on nomme ensemble le striatum. On note que les afférences ne proviennent pas seulement de l'AMS, mais aussi de l'aire motrice primaire, du cortex pariétal, etc.
  - Du striatum les informations se rendent au pallidum.
  - Puis elles se dirigent vers le thalamus au niveau de son noyau ventrolatéral (VL). Enfin, elles sont de nouveau projetées sur l'aire 6, ou AMS, depuis une partie bien précise du noyau VL que l'on nomme VL0. Le thalamus agit donc comme un relayeur d'informations pour le mouvement.

- Enfin, c'est l'étape de l'exécution, pour cela les informations basculent dans le cortex moteur primaire (cM1 ou M1, l'aire 4). Dans cette ultime étape, la direction et la force du mouvement sont définies avant sa réalisation. La commande du mouvement est ensuite envoyée via le système pyramidal.
- Il existe une dernière étape dite de correction, faisant intervenir le cervelet dans une nouvelle boucle, nous ne la détaillerons pas. Retenons juste que le cervelet joue principalement un rôle dans la coordination et l'apprentissage moteur en comparant les informations sensorielles anticipées et rétroactives. (17,18).

Figure 1 : Les aires cérébrales et le mouvement volontaire



**Résumé :**



### **1.3.2. Points communs entre mouvement exécuté et imaginé**

La théorie de la stimulation exposait déjà l'implication de structures et de mécanismes similaires, pour un mouvement imaginé (IM) ou réalisé (ME). Effectivement en 1995, Jeannerod a démontré que le cortex préfrontal, le cortex pariétal, le cortex prémoteur, le cervelet mais aussi certains NGC, sont activés lors de la production d'IM (1,6). Récemment, Héту et al. ont créé la première carte corticale quantitative de l'IM. Cette carte confirme l'activation quasi systématique d'une grande partie du cortex fronto-pariétal, de régions sous corticales représentées (NGC et le thalamus), du cervelet et du cortex prémoteur (4). Les travaux de Makary et al. démontrent qu'en plus de ces structures, il y a activation de l'insula antérieure et du noyau caudé, aussi bien dans le ME que l'IM (19).

### **1.3.3. Différences entre mouvement exécuté et imaginé**

Entre ces 2 processus, il existe donc une grande similitude d'activation corticale et sous corticale, tout comme il existe une variabilité dans la précision topographique et l'intensité de ces activations. En effet, il est remarqué dans le cortex prémoteur que c'est essentiellement l'AMS qui est active lors d'IM (3,4), plus particulièrement dans sa partie antérieure (5). Cette forte activation pendant une IM dépasse même celle produite en réponse à un ME (19). Le lobe pariétal semble lui aussi jouer un rôle crucial dans la formation des IM et plus particulièrement dans des paramètres comme l'isochronie (5).

La principale différence de réponse corticale est l'activation spécifique du cortex cingulaire antérieur et du cortex préfrontal ventrolatéral gauche lors d'IM, qui permettrait le blocage de la transmission de la commande motrice (19). C'est cette disparité qui permettrait d'empêcher l'exécution d'un mouvement préalablement imaginé. Cependant, cette inhibition du mouvement volontaire dépend de mécanismes complexes, très étudiés, mais pas encore clairement établis (9).

### **1.3.4. Implication du cortex moteur primaire (cM1)**

Le cortex moteur primaire (cM1) est théoriquement une région spécifique à l'exécution du mouvement. Or, la méta-analyse de Héту et al. recense des études qui ont utilisé des techniques d'imagerie cérébrale (IRM, MEG ou TMS) et qui approuvent son activation pendant la production d'IM (4). C'est une avancée par rapport aux travaux de Jeannerod qui n'avait pas encore de preuve et considérait le cM1 comme spécifique au ME (5). Dernièrement, les travaux de Makary démontrent que cette aire 4 (cM1) pourrait être d'avantage active lors de la production d'IM que de ME. De plus, c'est essentiellement sa partie antérieure (aire 4a) qui est impliquée dans les IM. Sa partie postérieure (aire 4b) est plutôt liée à la fonction exécutive de l'acte moteur (19,20).

Pour résumer : « La représentation consciente d'une action implique donc un motif d'activation corticale qui ressemble à celui d'une action exécutée intentionnellement. » (3). Héту et al. décrivaient l'IM et le ME comme des « processus très similaires » (4).

Ce réseau neuronal partagé reflète le lien étroit entre l'IM et la préparation d'un mouvement réel. Il faut tout de même relever les différences, notamment au sein du cM1 ou de l'AMS. Ces deux processus sont donc similaires mais ne se chevauchent pas complètement (5,19,20).

### **1.3.5. Spécificités du mouvement imaginé**

Il existe également des différences entre les modalités d'imagerie du mouvement elles-mêmes. En effet l'IMK implique davantage de réseaux neuronaux que l'IV, notamment aux niveaux pariétal et prémoteur (4). De plus, l'IV n'active pas le cM1 (5), mais contrairement à l'IMK et au ME, elle active le cortex visuel primaire (cV1) (6). Quand la formation d'une imagerie du mouvement est difficile (mouvement complexe ou manque d'expérience), il peut être relevé au début une activation du cV1 et une sous activation de l'AMS, signalant l'implication de la modalité visuelle. Néanmoins cela n'est pas systématique, chaque sujet utilise une modalité préférentielle qui n'est pas nécessairement visuelle. Le fonctionnement de l'IM mérite d'être approfondi sur le plan neurologique (4).

Précédemment dit, l'IM améliore la capacité de contraction si elle précède un ME (11), que ce soit chez des sujets sains ou des patients. Effectivement cela permet d'abord une pré-activation du cM1, mais aussi des muscles cibles (5). La pré-activation corticale permettrait de recruter d'avantage d'unités motrices (11). L'augmentation de l'activité EMG souligne une mise en tension des muscles (3,5), qui n'est pas négligeable puisqu'elle peut engendrer des mouvements visibles comme par exemple les doigts d'un violoniste en répétition mentale (5). Pour rappel, si l'inhibition de l'exécution n'est pas totale, il y a une corrélation entre l'activité EMG des muscles cible et la force du mouvement qui est imaginé (3,5). De ce fait, plus une IM représente un mouvement avec une force importante, plus la mise en tension des muscles de ce mouvement peut également être importante. L'imagerie dépasse donc la simple activation corticale et s'étend sur une activation de la voie cortico-spinale, jusqu'aux muscles effecteurs.

Dans tous les cas, pour permettre la formation d'une IM, notre cerveau utilise deux types de systèmes selon la manière dont elle est déclenchée :

- Un système implicite est inconscient, il est basé sur l'expérience et les compétences acquises, son contenu n'est pas verbalisable et résulte d'une stratégie spontanée. Quand une IM est produite automatiquement, sans consignes, elle est dite implicite.

- Un système explicite se compose d'un contenu verbalisable, lié à la conscience mais demande une imagination volontaire et donc un effort mental plus important (21). Quand une IM est produite volontairement, sur consignes, elle est dite explicite.

Ces systèmes sont différents et dissociés l'un de l'autre sur le plan anatomique et physiologique, c'est pourquoi il existe une distinction entre IM implicite et IM explicite.

#### 1.4. Evaluation de l'imagerie motrice

Dans l'ensemble, l'imagerie du mouvement est un processus plutôt difficile à évaluer à cause de sa dissimulation et son caractère subjectif. D'autant plus dans certains cas comme en post-AVC où la capacité motrice et/ou l'imagerie peuvent être altérées. Il est malgré tout indispensable d'évaluer les capacités d'imagerie avant toute étude portant sur l'IM, au vu des différences entre individus (22). S'ajoute à cela la volonté de la recherche à intégrer dans les études toujours plus de facteurs (14,15). Voici les 3 principaux types d'outils qui permettent son évaluation :

- Les tests de chronométrie entre IM et ME lors de mouvement simple (marche, steppage, etc.) permettent d'évaluer les caractéristiques temporelles de l'IM (23). Ils recherchent un isochronisme et sollicitent des IM explicites.

Dans cet esprit, se présente le *Timed Dependent Motor Imagery* ou TDMI, qui consiste à imaginer un mouvement de steppage pendant des périodes variables (15s, 25s et 45s) et à vérifier la progression du nombre de mouvements (16).

- Les tests de latéralité ou de rotation mentale qui permettent d'évaluer particulièrement la justesse des représentations motrices. Ils consistent à montrer des images d'extrémités corporelles (mains ou pieds) présentées sous différents angles. Le sujet doit ensuite déterminer la latéralité de la partie qui lui est montrée (droite ou gauche). Cette capacité fait appel à des IM implicites (24). Le temps de réponse compte dans la mesure autant que la justesse des réponses. Il est relevé que plus l'angulation des images est importante, plus le temps de réponse est également important.
- Les questionnaires d'évaluation de la vivacité des représentations motrices, qui sollicitent des IM explicites. L'élargissement des recherches autour de l'IM, en y intégrant de plus en plus de paramètres, explique l'évolution constante de cette méthode d'évaluation.
  - En 1983, Hall & Pongrac ont imaginé le *Movement Imagery Questionnaire* (MIQ). Il comprend 9 items pour l'IV et 9 items pour l'IM. Il est demandé au sujet depuis une

position de départ, d'abord de réaliser un mouvement, puis de se l'imaginer (de façon visuelle ou kinesthésique). Le sujet évalue ensuite sur un barème de sept points la difficulté de l'imagerie du mouvement (25).

- Le *Movement Imagery Questionnaire-Revised* (MIQ-R), est une amélioration du MIQ par Hall et Martin en 1997. C'est une version plus courte avec seulement 8 items (au lieu des 18 du MIQ), mais aussi plus efficace avec une synchronisation de l'échelle visuelle et kinesthésique. Cette simplification a permis d'élargir les analyses en incluant l'influence de facteurs tels que le sexe, le niveau de pratique, ou la composante cognitive sur l'imagerie. Mais il faut attendre 2004 pour que Lorant et Nicolas rendent valide la version française de ce nouveau questionnaire : « Indiscutablement, le questionnaire d'imagerie du mouvement de Hall & Martin (1997) est un excellent outil d'évaluation de la capacité d'imagerie visuelle et kinesthésique » (25).
- Un questionnaire évaluant la vivacité de l'IM a été développé en 1986 par Isaac et al. Le *Vividness of Movement Imagery Questionnaire* (VMIQ), se différencie directement des MIQ car le sujet peut directement imaginer le mouvement sans le réaliser au préalable. Il est composé de 48 items (24 sous échelle visuelle et 24 sous échelle kinesthésique), notant sur cinq points la vivacité de chaque imagerie (26).
- Le *Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire* (KVIQ), initialement créé en 2007 par Malouin et al. pour répondre à un manque d'adaptation des MIQ pour les personnes ayant un handicap physique, comme dans le cas d'AVC, il est toujours utilisé même pour des sujets sains. Il permet d'évaluer sur cinq points la modalité kinesthésique de gestes simples via l'intensité des sensations perçues, ou l'imagerie visuelle via la clarté de l'image formée. Il existe deux versions, une première à 20 items ou KVIQ-20 et une version courte avec seulement 10 items ou KVIQ-10 (26).
- Récemment, de nouvelles versions apparaissent :
  - Le MIQ-R Second Edition (MIQ-RS), une évolution du MIQ-R pour suivre l'avancée faite par Malouin et al. avec la création du KVIQ. Dans cette seconde édition, les items impossibles à réaliser pour des personnes ayant des troubles du mouvement, ont été remplacés. Cette évaluation garde la même démarche que le MIQ-R (27).
  - Le VMIQ-2, une évolution du VMIQ, 30 ans après sa création. Il est largement simplifié avec seulement 12 items contre les 48 initiaux mais il reprend le même principe que son précurseur (28).

Même si l'IM s'avère être difficile à évaluer, chacun de ces outils permet de mesurer indirectement les différentes dimensions auxquelles elle participe. Dans cette optique, ces outils se trouvent être simples d'application clinique et d'analyse. Ainsi l'évaluation globale de l'IM est accessible, en combinant ces différentes méthodes d'évaluation.

Par ailleurs, il est possible d'évaluer ses conséquences physiologiques, afin d'estimer si elle est bien réalisée.

- L'enregistrement de l'activité électrodermale qui correspond à la réponse du système nerveux autonome (sympathique) lors d'une IM (23).
- L'enregistrement de l'activité EMG de surface (EMGs) est à prendre avec beaucoup de précautions. Même si elle permet d'apporter des explications physiologiques de l'IM, elle est considérée comme un mauvais indicateur de réalisation car inconstante (9).

## 2. L'étirement

---

### 2.1. Définitions

L'étirement musculaire est un exercice spécifique qui a pour but d'améliorer la mobilité en allongeant progressivement le muscle au maximum de son amplitude. Le tendon subit les mêmes contraintes que le muscle, d'où également l'appellation d'étirement musculo-tendineux (29). Toutes les activités, qu'elles soient professionnelles ou sportives, sont conditionnées par les amplitudes articulaires, qui dépendent, le plus souvent, directement, de la capacité d'étirement musculaire (29). L'étirement permet donc un entretien de ces amplitudes articulaires (30). A ce titre, Geoffroy le nomme « outil absolu du kinésithérapeute » (30).

Son utilisation est large, allant d'un simple entretien physique jusqu'à l'optimisation de la performance musculaire. On le recommande également dans de nombreuses situations pathologiques : rétraction ou contracture musculaire, raideur tendineuse, fibrose, douleurs, immobilisation, etc. (31). En outre, il peut être pratiqué dans le but de bénéficier d'effets aigus, ou d'effets chroniques dans le cadre de protocoles de rééducation (32,33). Aujourd'hui, cette diversité d'utilisations justifie la multiplication des méthodes et des positions d'étirements, pouvant entraîner des confusions. De ce fait, il est parfois sous-utilisé ou mal utilisé (30).

Les questions sur les effets délétères qu'aurait l'étirement sur le muscle, jusqu'au risque lésionnel, ont remis son intérêt en cause (31). Pourtant ses bénéfices ne sont plus à prouver : il permet d'entretenir et d'améliorer les amplitudes articulaires maximales (AAM), de lever les tensions musculaires et de favoriser les glissements entre les tissus. Selon son utilisation, il permet de détendre et de relâcher les muscles ou bien sert d'échauffement musculaire avant un effort physique (29,30).

### 2.2. Principe et utilisations :

#### 2.2.1. Les fondamentaux

Un étirement peut donc se réaliser de multiples façons, mais alors comment et pourquoi ? D'une part, il faut compter un maintien d'au moins 18 secondes pour obtenir un maximum d'efficacité. D'autre part, il faut toujours prendre en compte, que, lors d'une série, c'est le premier étirement qui est toujours le plus efficace, car son effet diminue avec le nombre. Cette efficacité initiale revient après 1 à 5 min si l'articulation est replacée en position de départ et s'il y a aucun étirement. Enfin, l'efficacité se caractérise par la chute des forces passives du complexe muscle-tendon (29), qui sera détaillée dans la partie 2.3.3.

En outre, la réalisation d'un étirement doit rester dans la phase élastique d'un muscle, c'est-à-dire dans sa limite d'élasticité. Si ce critère n'est pas respecté, il advient des phénomènes de déformation plastique, le plus souvent sur des muscles polyarticulaires. La limite de cette phase plastique étant la rupture tendineuse et/ou musculaire (29).

### 2.2.2. Les méthodes d'étirement

Chaque étirement doit être choisi en fonction d'un objectif. Pour cela il faut connaître les différentes méthodes répondant chacune à des objectifs précis :

- Actif ou mouvement actif donnant lieu à un étirement. C'est-à-dire que l'étirement d'un muscle ou d'une chaîne musculaire agoniste est induit par la contraction de son antagoniste ou de la chaîne musculaire antagoniste. Cette technique profite d'une diminution du réflexe myotatique (RM) du muscle étiré ainsi que du principe d'innervation réciproque (IR) qui seront détaillés en 2.3.5 (34).

Une variante dynamique appelée aussi activo-dynamique, permet la préparation à l'effort en recherchant l'activation musculo-tendineuse. Elle s'effectue souvent en fin d'échauffement Elle se constitue de légère mise en tension, contraction isométrique et de mouvement dynamique (30).

- Activo-passif ou technique de contracter-relâcher appelée également levée de tension. Elle est recommandée pour récupérer des amplitudes (contracture, rétraction, raideur etc.). On distingue différentes techniques activo-passives :
  - Contracter-Relâcher-Etirer (CRE) consiste à mettre en position d'allongement le muscle puis de demander une contraction isométrique, suivi d'un relâchement avant un étirement passif lent et progressif. Sur ce schéma en 3 étapes, il n'existe pas de consensus pour le timing de chacune : pour la première étape de contraction, les études décrivent des temps variant de 3s à 15s (30,35–37). Néanmoins, l'augmentation du temps de contraction n'est pas corrélé avec un gain d'amplitude (36,38–40). Il en va de même pour l'intensité de la contraction : les bénéfices sont identiques pour des CRE ou cette dernière est à 100% de la contraction maximale volontaire (CMV), ou moindre (37,39). En somme, une contraction de 6s à 8s d'intensité sous maximale, suivie de quelques secondes de relâchement avant un étirement d'une dizaine de secondes, semble être un bon compromis pour cette technique.
  - Le Contracter-Relâcher-avec-Contraction-de-l'Antagoniste (CRAC), utilise le principe de l'IR, certains parlent d'ailleurs de CRE-en-Inhibition-Réciproque (CREIR). Avant tout, le thérapeute recherche la position maximale d'étirement du muscle cible, puis

demande sa contraction de préférence isométrique (ou concentrique de forte intensité), pendant une dizaine de secondes. Une fois relâché, il étire le muscle aidé par la contraction de son antagoniste (30).

- Le Contracter-Relâcher-En-Post-Inhibition (CREPI), mélange contraction concentrique et excentrique, que nous ne détaillerons pas.
- Passif ou passif court permet de récupérer progressivement des amplitudes et éviter l'enraidissement. On distingue deux méthodes pour pratiquer des étirements passifs courts. La première est statique et consiste à effectuer des étirements de courte durée (une vingtaine de secondes). La deuxième est cyclique ou dynamique, et consiste en l'alternance de charge et décharge, c'est-à-dire une mise en tension suivie d'un relâchement (32). Dans les deux cas, ils doivent être lents et avec une amplitude modérée (30).
- Posture passive ou passif long améliore l'extensibilité ou souplesse ce qui offre un gain d'amplitude, correspond cette fois au maintien d'un étirement pendant 1 à 5 min, de force faible. Il faut respecter le seuil de la douleur qui correspond aux limites entre phase élastique et plastique (30).

L'impact de ces différentes méthodes est assez étudié notamment dans une volonté d'efficacité chez les sportifs. La comparaison la plus courante étant celle entre le passif court et l'activo-passif, dans l'objectif de récupérer au mieux des amplitudes. La plupart de ces recherches se réalisent sur les ischio-jambiers et offrent des résultats qui s'accordent. Que ce soit à court ou à long terme, la plupart des études affirment une meilleure efficacité des méthodes activo-passives (38,40–43). Ce serait alors la contraction préalable du muscle cible qui permettrait un meilleur relâchement de celui-ci, surtout par diminution de la réponse EMG habituelle (inhibition post-contraction d'un point de vue neuromusculaire) (30). De ce fait, la méthode activo-passive semble plus efficace que la méthode passive courte et cela quelle que soit la durée d'application. Concernant l'IR, ses bénéfices sont variables. Effectivement, de manière immédiate le CRAC semble être plus efficace que le CRE (41,42), alors que la méthode active semble moins efficace que la méthode passive courte (34).

Un bon étirement est donc choisi en fonction d'un objectif. Pour cela, il est important d'un point de vue théorique de connaître les méthodes, puis d'un point de vue pratique, de connaître les positions. Il est essentiel de respecter les phases d'un muscle et d'adopter une vitesse et une force d'étirement raisonnables.

## 2.3. Physiologie :

### 2.3.1. Modèles et structures de la mécanique musculaire

L'analyse de la mécanique musculaire est une réalité complexe qui se voit simplifiée par des modèles. Ils ont été nombreux et évolutifs, afin de mieux comprendre le comportement des muscles. En général, les propriétés biomécaniques du système musculaire font appel à trois principales composantes que l'on retrouve dans le modèle de Hill établi en 1957 (Figure 2) ou celui de Zajac (1989) (44,45) :

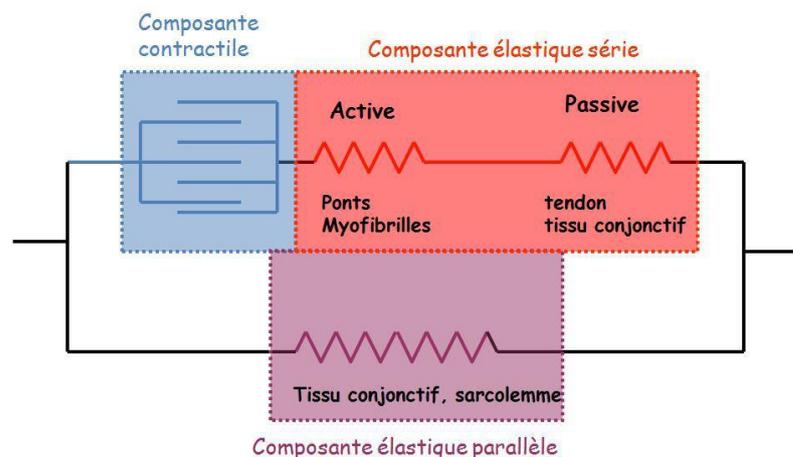


Figure 2 : Modèle de Hill (1957)

- La composante contractile (CC) qui correspond aux ponts actine-myosine. C'est le générateur de force, lorsque ces derniers se chevauchent en réponse à une contraction volontaire ou réflexe.
- La Composante Élastique Série (CES), est constituée par des éléments qui se situent en série par rapport aux structures contractiles. Elle se divise en une partie passive avec les structures tendineuses et les tissus conjonctifs puis une partie active avec les ponts actine myosine. Lorsque la CES est mise en tension, c'est essentiellement elle qui permet de transmettre l'énergie apportée par la CC (44).  
Il faut noter que lors d'un étirement, la tension musculaire est d'abord rapide, puis moindre, elle est dite biphasique. Hill décrivait ce phénomène comme la Short Range Elastic Component (SREC) qui se traduit en « composant élastique à courte portée ». Ces travaux suggèrent que la SREC a pour origine les ponts entre actine et myosine (46), c'est à dire la composante active de la CES.
- La Composante Élastique Parallèle (CEP) est constituée par des éléments qui se situent parallèlement aux structures contractiles. Elle correspond à la tension de repos faite par les tissus conjonctifs, les sarcolemmes et les protéines élastiques du

sarcomère, telles que la desmine, la nébuline ou bien la titine. Cette dernière joue un rôle important, puisque c'est elle qui permet le maintien du sarcomère, ainsi que son retour en position initiale s'il est étiré (32). La CEP contribue comme la CES à la transmission des forces de la CC mais de manière moins importante (44). La CEP est fortement impliquée dans la résistance à un étirement, aidée par la CES.

Le modèle de Zajac suggère que les structures tendineuses contribuent non seulement à la CES mais aussi à la CEP (45), ce qui fait sa différence avec le modèle de Hill. Dans certaines mesures, les articulations peuvent également faire partie de ces modèles (32). Tout compte fait, ce ne sont pas seulement les structures musculaires qui résistent à l'étirement mais plutôt un ensemble de structures placées en série, en parallèle ou à distance des tissus contractiles. On parle alors de complexe musculo-articulaire (CMA), dans lequel il existe des forces passives.

Depuis 1957 d'autres modèles ont également vu le jour. Notamment celui de Shorten et al. en 1987 (Figure 3) décrivant le CMA avec des composantes élastiques (K), visqueuses (B) et inertielles (M). Mais ce modèle manque de correspondance entre les composantes et les structures musculaires.

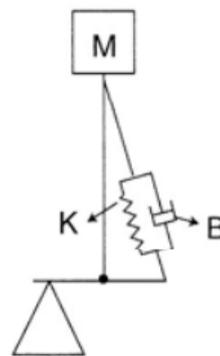


Figure 3 : Modèle de Shorten et al. (1987)

En 1999 c'est Farley et Morgenroth (Figure 4) qui considèrent un modèle où le CMA est intégré dans le système musculosquelettique dans sa globalité. C'est une observation à l'échelle d'un membre entier et non plus à celle d'un CMA. L'analyse uniquement mécanique de ce modèle et sa vision trop globale l'ont rendu limité (47).

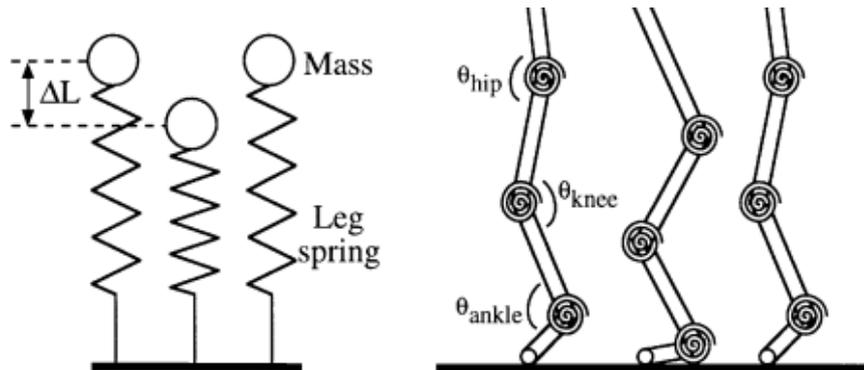


Figure 4 : Modèle de Farley et Morgenroth (1999)

Ainsi, malgré des tentatives de nouveaux modèles, l'analyse de la mécanique musculaire revient toujours aux trois composantes de celui de Hill, tout en considérant le muscle comme un élément indissociable d'un CMA.

### 2.3.2. Les variables du complexe musculo-articulaire impliquées dans l'étirement

Afin de mieux comprendre l'action mécanique d'un étirement sur le CMA, voici un passage en revue des différents paramètres sur lesquels il intervient.

- **L'amplitude articulaire maximale (AAM)** permet de quantifier la flexibilité ou la souplesse. C'est le paramètre que l'on mesure le plus fréquemment à l'aide de la goniométrie. Elle est généralement obtenue en fonction de la douleur que le sujet perçoit lors de l'étirement (32,48).
- **Le couple passif.** Un couple est une unité du système international caractérisant un moment de force. C'est l'aptitude d'une force de 1 newton avec un bras de levier de 1m, à mettre en rotation un système mécanique autour d'un axe fixe. Elle s'exprime donc en newton mètre ou Nm. En d'autres termes, lors d'un étirement, le couple passif correspond à la force passive développée par le CMA, à une longueur d'étirement donnée (32,49).  
Il faut noter que la tension est l'équivalent d'une force mais elle correspond simplement à une contrainte soumise de part et d'autre.
- **La raideur musculo-articulaire (RMA)**, qui se calcule à partir du couple passif et de l'angle d'étirement, a une vitesse angulaire donnée. C'est une propriété complexe que l'on peut définir comme le rapport entre la variation de force et la variation de longueur. En outre, c'est l'inverse de la compliance. On note qu'elle est fortement dépendante

de chaque sujet et qu'elle est significativement plus élevée chez les sujets âgés, chez les hommes et chez les déficients neuro-musculaires (32).

- **Le comportement viscoélastique** d'un muscle se démontre par l'augmentation non linéaire du couple passif lors d'un étirement : la tension augmente de manière exponentielle (Figure 5). Le muscle ne répond donc pas à la loi de Hooke, c'est à dire qu'il ne se comporte pas comme un élastique strict, mais comme une structure composée d'une part d'un solide élastique et d'autre part d'un fluide visqueux. La température influencera cette seconde partie : la viscosité diminue lorsque la température augmente (32,49).

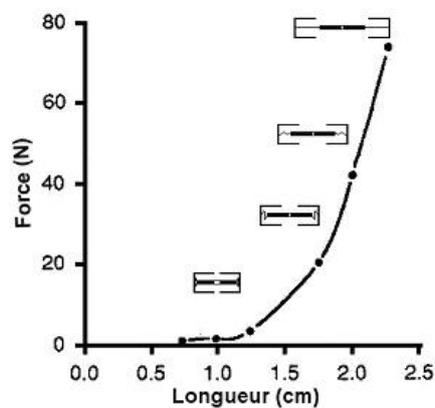


Figure 5 : Relation Force passive - Longueur

- **Le phénomène d'hystérésis** (Figure 6), traduit un niveau de couple plus faible lors de la décharge que lors de la charge. Effectivement, lors d'un étirement, une charge énergétique est emmagasinée, mais une partie moindre est restituée. L'écart entre les deux correspond à l'énergie dite dissipée. Ce phénomène témoigne qu'une partie de l'énergie potentielle élastique emmagasinée est perdue sous forme d'énergie thermique. L'existence d'une viscoélasticité et l'hypothèse de frottements intramusculaires permettent de le justifier (32).



Figure 6 : Le phénomène d'hystérésis

### 2.3.3. Effets de l'étirement sur les résistances mécaniques

On distingue les effets aigus qui sont étudiés immédiatement ou quelques heures après un ou plusieurs étirements, des effets chroniques qui sont étudiés après plusieurs jours, mois ou années de pratique d'étirements. Dans tous les cas, il faut rapidement enregistrer les modifications, car elles diminuent dans les trente premières secondes et s'estompent dans les dix minutes. Seule l'AAM perdure au-delà lors d'une pratique régulière (32).

Dans les effets aigus des étirements passifs, il ressort une augmentation systématique de l'AAM, mais aussi une diminution de la RMA, du couple passif et de l'énergie potentielle élastique emmagasinée :

- L'amélioration immédiate de l'AAM peut s'expliquer par la diminution du couple passif et/ou par une augmentation de la tolérance à l'étirement (50). Cette dernière est plus subjective et ses mécanismes sous-jacents liés à la perception de la douleur, ne sont pas clairement établis (32).
- La diminution des trois autres paramètres se justifie par une augmentation aiguë de la longueur des muscles et la chute des forces passives, c'est à dire la rupture de ponts actine-myosine, un réarrangement des fibres de collagène donc des tissus conjonctifs mais également des mouvements de redistribution des constituants mobiles (eau et polysaccharides) à l'intérieur des tissus. Cela traduit une véritable modification des structures qui constituent la CES et CEP (29,32,51). Par ailleurs, cette chute des forces passives explique également une diminution réversible de la viscosité du muscle. Il adopte un comportement dit thixotropique face aux contraintes (32,46,51) : il diminue provisoirement sa viscosité après un certain temps d'application de la contrainte.

De plus, nous avons évoqué une diminution de la raideur (RMA) lors d'étirements. Or cette raideur est primordiale car elle permet de transmettre la force développée par la CC d'un muscle. C'est pourquoi, après un étirement, il est relevé une diminution de transmission de la force d'un muscle (29,50).

L'efficacité immédiate d'un étirement réside donc principalement dans la diminution des forces passives, c'est-à-dire par une modification des structures qui constituent la CES et la CEP (29). Tous ces effets mécaniques sont aussi bien valables chez des sujets âgés, voire même spastiques, mais dans des proportions différentes (32).

D'un point de vue chronique, l'augmentation de la tolérance permet un décalage du seuil de la douleur et d'améliorer durablement l'AAM lors d'une pratique régulière. En effet, la douleur joue un rôle fondamental dans l'activation du RM (50). Les effets de l'étirement sur les voies réflexes et notamment le RM, qu'ils soient aigus ou chroniques seront abordés après leurs descriptions en 2.3.5.

Coupler à cela, il est constaté une diminution des forces actives. En effet la CMV baisse de 3 à 6% en EMG si la contraction est réalisée juste après un étirement. Cette modification a pour origine des mécanismes plus complexes. Elle est en partie attribuée à la diminution des forces passives et/ou une diminution des niveaux d'activité électrique musculaire après un étirement (29,32,50).

#### **2.3.4. Paramètres influençant la résistance à l'étirement**

Avant tout, il faut rappeler qu'un muscle au repos est connu pour avoir une résistance élevée au début de l'application d'une contrainte (46). En effet les forces passives lutteront contre celui-ci de manière précoce et provisoire, dépendant de la vitesse d'étirement.

Ce paramètre de vitesse est détaillé après l'explication des effets aigus car il va agir sur les mêmes mécanismes le temps de l'étirement. La finalité sera la même que décrite précédemment : diminution des forces passives, augmentation aiguë de la longueur du muscle, etc. Ainsi, pendant un étirement, plus la vitesse est importante, plus les forces passives augmentent provisoirement et rapidement pour résister à celui-ci, ce qui augmente conjointement la raideur (RMA), le couple passif et l'énergie potentielle élastique emmagasinée (32,50,52). Cela souligne que le CMA possède des propriétés viscoélastiques (32,50). Par ailleurs, une vitesse d'étirement importante n'est pas forcément néfaste : le muscle s'adapte grâce à ses nombreuses propriétés. Il faut simplement savoir ajuster cette vitesse au début et l'augmenter une fois le muscle prêt à y être confronté (51), c'est-à-dire une fois que les forces passives ont diminué (voir 2.3.3), après plusieurs étirements. La vitesse d'étirement a une influence sur l'activité électromyographique (EMG) volontaire ou réflexe (50). Tout cela rappelle un principe prouvé depuis longtemps : « un étirement lent et passif sera plus efficace qu'un étirement rapide et répétitif » (33). Adopter une vitesse lente et progressive et éviter les à-coups constituent des notions essentielles (50).

Il existe d'autres paramètres qui influencent la tension musculaire, tel que le type de muscle (dépendant du type de fibres, de la forme et des angles de pennation), ou la température qui diminue la tension (forces passives) comme elle favorise la contraction musculaire. La résistance mécanique à l'étirement inhérente aux muscles, est la première barrière face à un étirement puis elle est suppléée par l'apparition de réflexes.

#### **2.3.5. L'existence de voies réflexes : résistance neuro-musculaire**

Tout d'abord il faut savoir qu'un muscle est innervé par un nerf mixte. Il se compose d'une partie efférente et motrice, provenant de la corne antérieure médullaire, que l'on nomme

motoneurone  $\alpha$ . Une autre partie est afférente et sensitive, rejoignant la corne postérieure de la moelle (17,18,53).

Au niveau du CMA, on distingue différents récepteurs proprioceptifs renseignant sur l'aspect statique et dynamique de notre corps. Ces informations engendrent des réflexes plus ou moins rapides par des boucles mono ou polysynaptiques au niveau spinal.

- Le fuseau neuromusculaire (FNM) ou récepteur d'étirement, se situe à l'intérieur du muscle, il est parallèle à celui-ci et renseigne sur sa longueur et donc son étirement. Sherrington soulignait l'importance de cette information sensorielle : l'étirement d'un muscle engendre sa propre contraction. On parle de réflexe myotatique (RM) ou réflexe d'étirement qui est monosynaptique (17,18,53,54). Ce réflexe qui a pour but de ramener le muscle à sa longueur initiale lorsqu'il est étiré, semble être bien plus complexe (Figure 7).

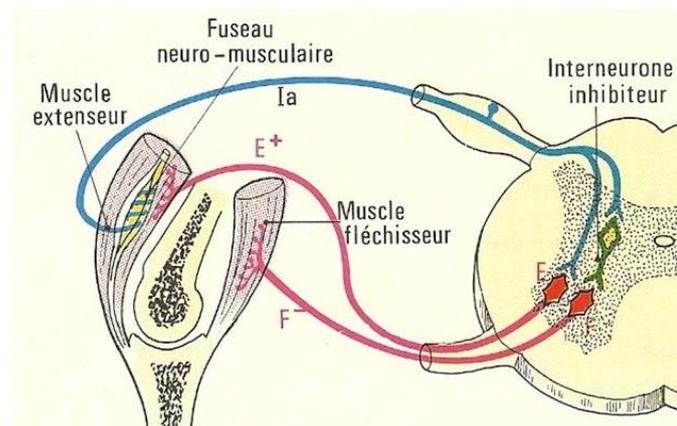


Figure 7 : Le réflexe myotatique

- L'organe tendineux de Golgi (OTG), se situe à la jonction muscle-tendon, il est donc en série par rapport au muscle et renseigne sur sa tension. C'est une information différente mais complémentaire à celle du fuseau neuromusculaire. Il protège le muscle d'une trop grande tension en induisant son relâchement brutal. On parle de réflexe myotatique inverse, qui est polysynaptique car il fait intervenir des interneurons spinaux. (17,18,53).
- Il existe de nombreux autres récepteurs, notamment dans les tissus conjonctifs entourant le muscle, dans les ligaments, dans les capsules articulaires, mais qui ont un rôle uniquement sensoriel et non réflexe (18).

Pour approfondir, un FNM se constitue d'un groupe de cellules musculaires (myocytes), modifiées et encapsulées dans du tissu conjonctif. Ces cellules musculaires sont aussi appelées fibres intrafusales ou récepteurs à l'étirement et sont uniquement contractiles à leurs extrémités, innervées par des motoneurones  $\gamma$ . Cette innervation motrice spécifique est intimement liée à l' $\alpha$  des fibres extrafusales, ce qui permet au fuseau de suivre la contraction du muscle. Leur innervation sensitive passe par des afférences Ia ou II et s'effectue au niveau de leur partie équatoriale.

On distingue 2 types de ces cellules réceptrices selon la distribution de leurs noyaux (53,55). Les fibres à chaîne nucléaire (noyaux en chaîne), qui répondent à la valeur absolue de l'étirement. Les fibres à sacs nucléaires (noyaux regroupés au centre), qui répondent à l'amplitude et la vitesse de l'étirement. Le RM engendré par un étirement est donc influencé par l'intensité de celui-ci, que ce soit en termes de vitesse ou d'amplitude. (56). Par ailleurs, un FNM peut être stimulé soit par un étirement global du muscle ou contrainte externe, soit par une contraction du muscle ou contrainte interne. Dans ce second cas, il est automatiquement mis en tension par la contraction de ses extrémités via les motoneurones  $\gamma$ .

Quelle que soit la nature de cette stimulation, les afférences d'un FNM se divisent en 4 voies (55) :

- La voie A est excitatrice et monosynaptique directe avec les motoneurones du muscle étiré : c'est celle qui constitue le réflexe d'étirement ou myotatique.  
Ce réflexe se traduit par une activité de la CC dans les 20% de fin d'amplitude d'un étirement avec une réponse EMG de 2 à 15% de la CMV. L'étirement favorise la diminution de cette réponse EMG et retarde son apparition dans l'amplitude (29).
- La voie B est inhibitrice et polysynaptique faisant appel à un interneurone inhibiteur qui va agir sur l'antagoniste du muscle étiré. Cette inhibition simultanée de l'antagoniste est appelée innervation réciproque (IR).
- La voie C est excitatrice et monosynaptique directe avec les motoneurones des muscles agonistes au muscle étiré.
- La voie D ne fait pas vraiment partie du réflexe. Ce sont les afférences qui remontent vers les centres spinaux.

En résumé, cela signifie que :

- ➔ L'étirement d'un muscle provoque sa contraction réflexe (A), aidée par ses agonistes (C) ainsi que l'inhibition de ses antagonistes (B).
- ➔ La contraction d'un muscle favorise l'action de ses agonistes (C) et empêche celle de ses antagonistes (B). C'est dans ce cadre qu'un étirement actif ou un CRAC utilise le principe d'IR.

De surcroît, lors d'un étirement donné, l'excitation des FNM est limitée dans le temps : c'est le principe d'habituation. Lorsqu'un étirement est maintenu pendant environ 20 secondes, l'activité des fuseaux va diminuer jusqu'à redevenir basale (56).

L'IR est depuis longtemps considérée comme l'un des mécanismes neuronaux les plus importants dans le domaine du mouvement (57). Elle est omniprésente, même au repos (58) et fait appel à des voies, vues précédemment, de courte latence et de courte durée (57,59). Chez l'Homme, son étude au membre inférieur a débuté grâce à la méthode du réflexe H monosynaptique qui est l'équivalent électriquement provoqué du RM. Les observations entre le tibial antérieur (TA) et le soléaire ont démontré que l'IR vers un muscle augmente quand son réflexe H et donc son RM diminue (57,59). Une autre relation existe entre IR, RM et intensité de contraction volontaire. Elle est quantitative mais non proportionnelle et varie en fonction des tâches motrices.

En résumé, lors d'une contraction volontaire d'un muscle, son antagoniste subit en parallèle une augmentation de l'IR et une diminution de son RM et cela, dépendamment de l'intensité de cette contraction. C'est pourquoi à partir d'une certaine intensité de contraction, on ne peut donc plus considérer qu'un étirement est passif, mais plutôt actif.

Ces réflexes spinaux sont tout de même soumis à un contrôle supra-spinal essentiellement par le tronc cérébral (17,18,53). On distingue :

- Le système réticulaire bulbaire qui est inhibiteur. Son activité dépend d'activation corticale (AMS, noyau caudé, cervelet, etc.). Il est très actif car les réflexes myotatiques sont constamment actifs, à l'origine d'un tonus musculaire permanent qu'il faut réguler. Sans cela il existe une rigidité dite de décérébration.
- Le système réticulaire mésencéphalique qui est facilitateur. Son activation dépend d'afférences polysensorielles et thalamiques.

Ainsi, il existe un véritable contrôle spinal du CMA, impliquant de nombreuses afférences sensorielles surtout proprioceptives. Ces informations ont la capacité d'activer de nombreuses voies avec plus ou moins de synapses engendrant des réflexes plus ou moins rapides, sous un contrôle supra-spinal. Enfin, tout comme la résistance mécanique, ces réflexes diminuent à la fois de manière immédiate (notion d'habituation) (56) mais aussi dans le temps par la pratique régulière d'étirements notamment car les FNM ont tendance à devenir moins sensibles (49).

## 2.4. Evaluation de l'étirement

L'évaluation se fait plus souvent avec la goniométrie en mesurant directement l'amplitude après un étirement. L'augmentation de l'extensibilité musculaire est alors montrée par l'augmentation de l'amplitude articulaire maximale (48). Cette augmentation d'extensibilité peut être attribuée à une simple diminution de la raideur musculaire ou bien à une augmentation de la longueur du muscle (29). Cette méthode comprend tout de même des limites car elle prend comme mesure le point final du mouvement, qui est lui-même influencé par des facteurs tel que la douleur, la tolérance à l'étirement et l'activation réflexe du muscle (48). C'est pourquoi d'autres techniques plus élaborées existent :

- L'échographie, qui a d'ailleurs permis de montrer que les niveaux d'étirement sont différents entre le muscle, l'aponévrose et le tendon (29).
- Le dynamomètre isocinétique, qui permet de mesurer les amplitudes articulaires mais aussi de calculer la raideur et l'absorption passive d'énergie (44).
- Le couplage des deux permet de quantifier la contribution des tissus tendineux et musculaires dans l'étirement (29).
- L'EMG sert à vérifier qu'il n'y ait pas d'activité musculaire avant et/ou pendant l'étirement. (44). L'EMG peut aussi servir de contrôle du RM.
- Une nouvelle technique, l'élastographie impulsionnelle, utilise les ultrasons pour mesurer la raideur intramusculaire de manière locale (29). C'est un outil simple et peu onéreux, mais qui n'est pas encore validé sur le critère de la reproductibilité (32).

### 3. Synthèse et problématisation

---

Etudier et utiliser l'imagerie du mouvement demande à recruter et à manipuler des représentations internes complexes (4). Actuellement, l'évolution des connaissances sur l'IM, permet de mieux la comprendre et de l'utiliser afin de l'améliorer ou bien d'optimiser d'autres mécanismes par un couplage. Dans cette optique, le couplage de l'IM avec l'étirement semble prometteur. D'ailleurs, l'IM et l'étirement sont deux techniques applicables dans de nombreux cas et ne nécessitent que quelques précautions d'utilisation. Le seul pré-requis est la connaissance et la maîtrise des consignes.

Cependant ce couplage est peu étudié : « Peu d'études ont étudié l'efficacité de la pratique de l'IM pour améliorer les performances d'étirement » (60). C'est pourquoi les mécanismes neurophysiologiques sous-jacents sont encore pour la plupart inexplorés (60). À la suite de son étude en 2010, Guillot affirmait déjà une amélioration de la flexibilité musculaire à l'aide de l'IM. Cependant l'utilisation de IM et étirement se faisait de manière différée. C'est-à-dire que l'adjonction de répétitions mentales des étirements, sous forme d'IM, pendant plusieurs semaines, a permis d'améliorer le relâchement et la confiance en soi lors des étirements réels, aboutissant ainsi à de meilleures amplitudes lors de ceux-ci (11). Récemment, Kantack et al. ont démontré l'efficacité d'un couplage entre l'IM et un type d'étirement (étirement actif) en observant notamment une réduction de la réponse réflexe EMG engendrée par celui-ci (60).

Coupler en temps réel l'IM avec une méthode d'étirement active pourrait donc s'avérer judicieux au vu d'une efficacité à priori instantanée (60). Dans ce cadre, d'autres méthodes d'étirements pourraient également adopter l'IM en tant qu'adjuvant. Les multiples méthodes d'évaluation de ces deux outils permettront de rendre ce travail plus pertinent, tout en essayant d'apporter des explications sur les résultats obtenus.

**L'objectif principal** sera donc d'observer l'impact de l'IM sur l'efficacité de deux méthodes d'étirements couramment utilisées en kinésithérapie : un étirement passif court et un étirement activo-passif, le Contracter-Relâcher-Etirer (CRE).

**Secondairement**, nous nous intéresserons au ressenti, à la qualité des IM produites, ainsi qu'aux difficultés de compréhension et de réalisation des techniques.

**Les hypothèses** émises en rapport avec les objectifs et la littérature :

- ➔ Indépendamment de l'ajout de l'IM, le CRE devrait engendrer une AAM supérieure à celle de l'étirement passif.

- ➔ L'adjonction de l'IM devrait augmenter l'AAM de ces deux techniques d'étirements, et cela, de manière équivalente.
  
- ➔ Le confort devrait être meilleur pour les conditions avec IM.
  
- ➔ Les difficultés de compréhension et de réalisation des techniques devraient être inversement proportionnelles aux variations d'AAM.

## 4. Matériel et méthode

---

### 4.1. Principes de l'étude

Tout d'abord, pour apporter de meilleures réponses à la problématique, l'expérimentation s'est effectuée sur des sujets jeunes et sains. Ces sujets devaient strictement respecter les critères d'inclusion et d'exclusion pour participer à l'étude. Ce système de sélection s'est déroulé en trois temps, d'abord par un questionnaire, puis par une série de tests au début du protocole et enfin par une analyse à postériori.

Ensuite, la méthode a été construite autour de deux techniques d'étirements différentes, non actives et de manière à ne pas faire intervenir l'expérimentateur. C'est-à-dire que chaque sujet se les appliquait passivement en autonomie. Pour le CRE, il leur suffisait de maintenir la position pendant la contraction isométrique. De cette manière l'expérimentateur n'a pas pu influencer les résultats en fonction des sujets et des hypothèses de départ. Afin de respecter ce principe et au vu du matériel disponible, l'étude s'est effectuée sur le triceps sural (TS).

Enfin, il faut ajouter qu'aucune information sur les hypothèses de l'étude n'a été fournie aux participants. Cela permettait qu'ils restent le plus objectifs possible et n'influencent pas les résultats. S'ils le souhaitaient, ces informations leur ont été transmises une fois la période d'expérimentation terminée ou après l'analyse des résultats.

### 4.2. Population

#### 4.2.1. Population « souhaitée »

Un maximum de sujets sains volontaires avec un ratio Homme/Femme le plus proche de 50%. On entend par sujet sain, toute personne exempte d'atteinte pathologique ou d'anomalie qui pourrait modifier les résultats. Au regard du temps consacré à la mise à place du protocole (4 semaines) et de la durée de celui-ci (1 heure), une centaine de participants étaient initialement attendus.

Ces sujets devaient respecter :

- ❖ Un critère d'inclusion unique : être âgé de 18 à 34 ans.
- ❖ Les critères d'exclusion :
  - **Prédisposition, atteinte ou comportement pouvant modifier la flexibilité :**
    - Présence d'une contre-indication à l'étirement ou d'une pathologie pouvant l'influencer, telles qu'un état inflammatoire, des douleurs neurologiques, une

fracture et/ou une chirurgie orthopédique < 3 mois ou une atteinte musculaire de la région concernée (61).

- Participation, récente ou actuelle, à un programme sportif améliorant significativement les capacités d'étirements, lors de la période d'expérimentation.
  - Présence d'une hyperlaxité objective (résultat  $\geq 4$  au score de Beighton)
  - Prise de médicaments myorelaxants, qui entrainerait, par définition, une baisse du tonus musculaire. Le Vidal recense 77 médicaments de ce type.
  - Contraction musculaire importante de l'antagoniste du muscle étiré pendant la réalisation d'une condition : EMGs du TA > 25% de l'EMGs de sa CMV. Les méthodes choisies ne font pas appel à cette contraction, qui mettrait en jeu de façon non souhaitée le réflexe d'IR ainsi qu'une diminution du RM (57–59).
- **Prédisposition, trouble ou comportement pouvant modifier la formation d'IM :**
    - Prise de médicaments psychoactifs qui pourrait avoir, par définition, une influence sur l'activité mentale. Soit par un traitement particulier (hypnotiques, benzodiazépines, morphiniques, opiacés, etc.), soit lors d'une anesthésie. Nous n'avons pas établi de liste exhaustive de ces médicaments qui permettrait l'exclusion de l'étude étant donné leur nombre trop important.
    - Présence d'un état dépressif modéré ou plus (score total au PHQ-9  $\geq 10$ ). Dès un premier épisode dépressif les capacités d'IM peuvent être altérées et cela semble corrélé avec l'intensité de la dépression (62,63).
    - Moyenne  $\leq 2$  (sur 5) pour les sensations kinesthésiques au KVIQ-10. L'IM demandé était particulièrement axé sur la modalité kinesthésique, il n'a donc pas été possible de poursuivre avec des sujets ayant des sensations vagues ou inexistantes lors de l'évaluation.
    - Score de 1 lors d'une évaluation de la qualité d'IM. Cela signifiait que le sujet n'avait pas réussi à percevoir l'IMK demandée lors de la réalisation d'une condition prévue avec IM.

Tout dysfonctionnement cognitif léger peut altérer la production d'IM (64). Cependant, au vu de leur niveau d'étude, nous avons pris le parti de ne pas évaluer la présence de troubles cognitifs légers chez les sujets en considérant qu'ils n'en comportaient pas.

Le respect de ces critères avait pour objectif de préserver l'homogénéité des résultats, ainsi qu'un écart type le plus faible possible.

### **4.2.2. Recrutement**

Dans un premier temps, une communication orale tout au long du premier semestre a permis d'informer les étudiants. Dans un second temps, les jours précédant la mise en place du protocole, un message a été diffusé sur les réseaux sociaux dans les groupes rassemblant les étudiants de l'ILFOMER et un mail a été envoyé par les directeurs de filières de l'école à leurs étudiants respectifs. Après deux semaines de mise en place, d'autres messages et mail ont été envoyés pour recruter davantage de sujets.

Lors du recrutement, un questionnaire en ligne (par Google form) se basant sur les critères précédents, a permis d'exclure directement une partie des sujets ayant des modifications (altération, facilitation ou difficulté) de leur flexibilité et/ou de leur capacité de formation d'IM (**Annexe I**). À la suite de ce questionnaire, il a été demandé, dans la mesure du possible :

- A tous les sujets, de ne pas faire un effort musculaire supérieur à la normale au niveau des membres inférieurs, les jours précédant l'expérimentation, afin d'éviter la présence de courbatures (65).
- Aux sujets féminins de ne pas porter de talons les jours précédant l'expérimentation. Cette précaution permettait de ne pas laisser le TS en course interne prolongée et donc de ne pas réduire les amplitudes physiologiques.

Les participants ont été conviés à une séance individuelle à la suite d'un accord de disponibilité via un planning en ligne. L'expérimentation se déroulait au sein de l'ILFOMER dans un environnement calme. A la suite des évaluations cliniques préalables, d'autres sujets ont également été exclus en suivant les critères d'exclusion (hyperlaxité, état dépressif modéré ou mauvaise vivacité d'IM).

### **4.3. Protocole / procédure**

L'accueil de chaque sujet était suivi d'une lecture du descriptif du protocole. L'attestation de vérification d'anonymat lui était présentée, et nous avons commencé seulement après un accord oral.

#### **4.3.1. Evaluations cliniques préalables**

Une série de 4 tests successifs a été réalisée sur les sujets en suivant un ordre de priorité et de logique.

### ❖ Détection d'une hyperlaxité :

Il était essentiel de déterminer la présence d'une hyperlaxité du sujet dès le début, étant donné qu'elle représente un critère majeur d'exclusion. A ce titre, le score Beighton (**Annexe II**) a été choisi car il est valide et fiable mais aussi rapide et simple d'utilisation (66). Il s'établit sur 9 points de la manière suivante :

- 1) Un point si, debout, vous pouvez placer les paumes sur le sol, jambes tendues
- 2) Un point pour chaque coude avec une hyperextension > 10°
- 3) Un point pour chaque genou avec une hyperextension > 10°
- 4) Un point pour chaque pouce capable de venir toucher l'avant-bras en hyperflexion
- 5) Un point pour chaque petit doigt avec une hyperextension > 90°

Habituellement, un score  $\geq 5$  signifie la présence d'une hyperlaxité objective mais ce critère était particulièrement important pour l'étude et a donc été renforcé. C'est donc un score  $\geq 4$  qui engendrait l'exclusion du sujet.

### ❖ Détection et évaluation d'un état dépressif :

De nombreuses évaluations permettent de détecter et de mesurer un état dépressif notamment en fonction de l'âge. Pour cette étude, le choix s'est porté sur le PHQ-9 (**Annexe III**). C'est une mesure fiable (sensible et spécifique) et valide de l'état dépressif à travers seulement 9 items notés de 0 à 3 et une évaluation du retentissement général. Le score total est sur 27 points, avec un cut-off à 10/27 correspondant à un état dépressif modéré (67) , qui engendrait l'exclusion du sujet s'il le dépassait.

### ❖ Latéralité du sujet :

Puisque l'étirement et l'IM se réalisaient sur le membre inférieur dominant, il fallait déterminer la latéralité du sujet. Cette dominance a été ciblée sur la mobilité, c'est-à-dire sur le membre inférieur d'action. En se basant sur le test de latéralité podale de Waterloo (**Annexe IV.I**), nous avons conservé les items faisant référence à une dominance dynamique et rétréci ceux concernant une dominance statique. De sorte qu'un questionnaire à 5 items axé sur la dominance dynamique ou d'action a donc été constitué (**Annexe IV.II**). Si un sujet ne présentait pas de dominance dynamique explicite face au test, une 6<sup>e</sup> question concernant la stabilité était rajoutée (item 2 de Waterloo) : « si vous devez vous tenir sur un pied, lequel utiliseriez-vous ? », sans la réponse « équivalent ».

### ❖ Évaluation de l'IM :

Comme nous l'avons vu dans la partie 1.4, l'évaluation de l'IM repose sur différentes dimensions. Evaluer seulement celle concernée par l'étude était suffisant. Dans notre cas l'IM

était axée sur les sensations, faisant appel à la modalité kinesthésique (IMK). Il fallait donc vérifier la capacité de chaque sujet à former des IM de qualité. Un questionnaire de vivacité d'imagerie adapté répondait à cette nécessité. Pour ce faire nous avons choisi une version courte du KVIQ le KVIQ-10 développé par Malouin et al. (26) évaluant la modalité kinesthésique et visuelle interne. C'est un test fiable et rapide pour des sujets sains. Une version française ou QVIK, contenant des directives anticipées, nous a été fourni par A. Saimpont (**Annexe V**).

Avant de commencer le test il a été demandé au sujet s'il avait déjà pratiqué de l'IM auparavant et dans quel contexte. Le recueil de cette information constituait l'expérience du sujet face à l'IM. Le test était orienté sur la dominance manuelle et pédestre, il a donc fallu également recueillir la dominance du membre supérieur que nous n'avions pas. Quel que soit leur niveau d'expérience en IM ou leur latéralité, ils ont tous commencé par une étape de familiarisation en imagerie visuelle interne et kinesthésique.

S'en suivait une étape explicative de l'IM et du déroulement du test à suivre. La vivacité de ces deux modalités est évaluée sur 10 items chacune, sur des actions simples telles que l'élévation du bras, la flexion antérieure du tronc ou l'abduction de hanche. Le sujet se trouve assis, les deux mains posées sur ses cuisses. Il effectue le mouvement une première fois puis réalise l'imagerie dans la modalité demandée (IMK ou IVI) une fois revenu dans la position initiale. Il a été demandé aux sujets de fermer les yeux pour la modalité kinesthésique, pour une meilleure concentration.

Chaque item est auto-évalué par le sujet sur une échelle ordinale en 5 points, soit sur la clarté de l'image (IVI) soit sur l'intensité des sensations (IMK) :

- 1) Image parfaitement claire / sensation kinesthésique aussi intense que réelle
- 2) Image Claire / sensation kinesthésique intense
- 3) Image modérément claire / sensation kinesthésique modérément intense
- 4) Image floue / sensation kinesthésique vague
- 5) Aucune image / aucune sensation kinesthésique

Ce test était le dernier effectué, pour permettre au sujet de garder un maximum de souvenirs pour la suite.

### 4.3.2. Déroulement

#### ❖ Echauffement actif.

La température a un impact sur la flexibilité et ne pas s'échauffer aurait entraîné de moins bonne performance sur les premières conditions par rapport à la dernière. L'augmentation de la température diminue la tension et favorise la contraction (32,49). Il était constitué d'exercices simples en séries de 8 à 15 répétitions ou de 20 secondes (squat, fente, gainage, etc), durant 7 minutes (**Annexe VI**). L'expérience et le niveau d'activité physique des sujets n'était pas pris en compte : ils ont tous effectué le même échauffement avec les mêmes consignes et démonstrations.

#### ❖ Répartition aléatoire des conditions :

Pour éviter toute influence de l'ordre de réalisation des conditions, une répartition aléatoire a été effectuée sous la forme de 24 papiers (**Annexe VII**). Il contenait chacun un ordre de réalisation prédéfinis des 4 conditions. Sous la forme d'un tirage sans remise, chaque sujet a tiré au sort son papier après l'échauffement, ce dernier était ensuite retiré de la liste. Une fois le dernier papier tiré, ils étaient tous remis dans le tirage.

Cependant, chaque condition ne lui a été donnée et expliquée, seulement avant sa réalisation. De cette manière, les sujets ont pu se concentrer plus efficacement sur chacune, sans penser ni prévoir en fonction des autres à venir.

#### ❖ Installation et position :

Le sujet était installé en position semi-assise sur une table de massage avec environ 45° de flexion antérieure du tronc. Nous avons choisi de prendre les mesures sur le TS, genou en rectitude pour une raison de reproductibilité. En effet, une flexion de genou est normalement préconisée pour cette prise de mesure afin de détendre le gastrocnémien (68), cependant ce paramètre aurait été compliqué à mettre en place.

Une attention particulière a été apportée à la position ainsi qu'à la prise de mesure décrite ultérieurement, afin qu'elles soient le plus identiques possible pour les 4 conditions et entre les sujets. Il a été également vérifié visuellement lors de chaque mesure, l'absence de mouvements dans d'autres plans (valgus / varus du pied). La mesure s'effectuait sur une flexion dorsale passive, dans un plan sagittal le plus strict possible. Pour favoriser au mieux la production d'IM, toutes les mesures ont été prises uniquement sur le membre inférieur dominant, déterminé au préalable.

Les étirements s'effectuaient à l'aide d'une sangle rigide, fabriquée de manière artisanale à partir d'une sangle d'arrimage. La partie distale était positionnée sur l'avant pied (au niveau

de la tête des métatarsiens). La partie proximale était composée de 2 niveaux de poignées, le sujet avait le choix de ce niveau afin d'être le plus confortable possible (**Annexe VIII et IX**).

#### ❖ **Description des conditions :**

Les sujets ont réalisé eux mêmes les 4 conditions, dans un ordre donné par la répartition aléatoire. En se basant sur la littérature, les temps de réalisation de chaque condition ont été ajustés pour être identiques. Quelle que soit la méthode d'étirement, avec ou sans IM, la mesure durait 20 secondes, permettant de comparer chaque condition à une autre. Ce choix respectait les techniques initiales, précédemment décrites en 2.2.1.

##### • **Techniques d'étirements :**

Le CRE se déroulait en 4 étapes successives : mise en tension du muscle, contraction isométrique de 8s, relâchement de 2s, étirement de 10s. C'était seulement durant cette dernière étape post-contraction, que le sujet devait, soit réaliser une IM, soit effectuer une tâche cognitive. La contraction demandée devait être isométrique et sous-maximale (37,39). L'étirement passif court était quant à lui régulier et progressif pendant les 20s (50).

##### • **Avec ou sans IM :**

Lors des conditions sans IM, afin de s'assurer que les sujets n'en réalisent pas, ils effectuaient une tâche cognitive : un décompte de 3 en 3 à partir de 100. Une restitution du résultat de ce calcul leur était demandée.

Concernant les conditions avec IM, il devait réaliser une IM basée sur les sensations de l'étirement du muscle concerné. Il leur a donc été imposé indirectement de réaliser une IMK. Pour cela, les sujets avaient les yeux fermés comme lors de l'évaluation de l'IMK du KVIQ-10.

De cette manière, voici les 4 conditions qui ont été finalement définies :

- ❖ **Condition A** : étirement passif court de 20 secondes avec l'adjonction d'une tâche cognitive pendant toute la durée de l'étirement
- ❖ **Condition B** : étirement passif court de 20 secondes avec l'adjonction d'IM pendant toute la durée de l'étirement
- ❖ **Condition C** : CRE de 20 secondes au total avec l'adjonction d'une tâche cognitive durant la partie d'étirement post-contraction.
- ❖ **Condition D** : CRE de 20 secondes au total avec l'adjonction d'IM durant la partie d'étirement post-contraction.

La description et les explications de chaque condition ont été standardisées (**Annexe X**) pour que chaque participant dispose des mêmes informations. La mesure commençait seulement après s'être assuré de la compréhension de ces dernières.

### ❖ Récupération :

Entre chaque mesure, un temps de récupération d'au moins 5 min a été respecté afin de perdre l'efficacité de la condition précédemment évaluée et donc ne pas influencer la suivante (29,32). Pendant ces quelques minutes, nous avons procédé à :

- D'abord l'évaluation subjective de la pénibilité de la condition tout juste réalisée, à l'aide d'une échelle de Borg modifiée, de 0 (aucune) à 10 (très difficile) (**Annexe XI.I.**). En d'autres termes, les sujets ont noté la perception à la fois somatique et psychologique de chaque étirement. De cette manière, un score bas était synonyme de confort (69)
- Ensuite l'évaluation de la qualité de l'IM produite si la condition en comportait. La qualité d'imagerie correspondait à l'intensité des sensations perçues mentalement, puisque l'IM demandée était uniquement de modalité kinesthésique (IMK). Pour ce faire, l'échelle ordinale sur 5 points du KVIQ-10, (partie kinesthésique) précédemment utilisée, a été reprise à l'identique (**Annexe XI.II.**). De cette façon l'évaluation de l'imagerie s'est faite sur la même base tout au long du protocole. Les sujets n'ayant pas eu de sensation ont évalué la qualité de leur IMK à 1. Cela traduisait le fait qu'ils n'avaient pas pu produire d'IM pendant une condition qui devait en comprendre. Ils ont donc été exclus durant l'analyse postérieure des données.
- Puis l'évaluation de la compréhension et de la difficulté de réalisation globale par deux échelles identiques (**Annexe XI.III.**). Elles se basaient sur le format d'une échelle de Likert, allant de 1 (aucune difficulté) à 5 (impossible).
- Enfin, l'annonce et l'explication de la condition suivante préalablement randomisée.

## 4.4. Variables et matériels

### 4.4.1. Critère de jugement principal

Pour rendre ce travail objectif, il nous fallait un paramètre représentatif de la flexibilité obtenue pour chaque modalité évaluée, tout en étant facilement mesurable. L'amplitude articulaire maximale (AAM) remplissant ces critères (28,34), a été retenue comme critère de jugement principal. Il faut rappeler qu'elle est généralement obtenue en fonction de la douleur que le sujet perçoit lors d'un l'étirement. Or dans cette étude, l'intensité de l'étirement était appliquée par les sujets eux-mêmes, ce qui rend ce critère de jugement d'autant plus pertinent. Cette amplitude doit s'obtenir dans les dernières secondes de l'étirement, c'est pourquoi il a été retenu l'AAM obtenue sur les 5 dernières secondes de chaque condition, et non sur toute la durée de l'étirement.

#### 4.4.2. Critères de jugement secondaires

L'impact du couplage étirement et IM ne doit pas se résumer à la modification de l'AAM. Il est judicieux d'élargir la recherche pour tenter de comprendre comment les sujets ont perçu l'adjonction d'IM à ces deux méthodes d'étirements. Il est aussi intéressant de connaître la qualité des IMK qu'ils ont produits. C'est pourquoi 3 critères ont été secondairement retenus pour chacune des conditions :

- La perception somatique et surtout psychologique
- L'intensité des sensations kinesthésiques perçues pendant les IM
- Les difficultés de compréhension et réalisation

Ces critères secondaires pourraient apporter des explications supplémentaires sur les résultats, en les comparant entre eux et/ou avec le critère de jugement principal.

#### 4.4.3. Goniomètre électronique et repères utilisés

L'outil le plus courant pour mesurer l'AAM est la goniométrie (48). Pour cette étude nous avons eu la possibilité d'utiliser un électrogoniomètre. Cela a permis la non-intervention de l'expérimentateur pour la prise de mesure ainsi qu'une bien meilleure précision qu'avec un goniomètre manuel. Nous disposons d'un modèle SG110 de Technologie Ergonomie Appliquées (TEA) (**Annexe IX.I.**). Ce modèle est particulièrement adapté aux prises de mesures d'angles articulaires du poignet et de la cheville. De plus, la série SG dite à axes jumelés permet la mesure simultanée d'angles dans deux plans différents. De cette manière nous avons pu d'avantage surveiller les mouvements d'inversion ou d'éversion, non souhaités lors de la prise de mesure.

L'appareil est constitué d'un ressort reliant deux capteurs. Lors d'un changement angulaire, le ressort est étiré et un phénomène de variation électrique traduit l'importance de ce changement et le sens. Les données recueillies sont envoyées à l'ordinateur par Bluetooth à l'aide d'un T-DAC. Leur enregistrement se fait en degré (°) par le logiciel CAPTIV®. La marge d'erreur de cet appareil est de 2°. Les capteurs sont collés sur la peau au niveau de repères précis et reproductibles entre les sujets. Le premier (branche fixe) se place au-dessus de la malléole latérale et aligné à l'axe reliant cette dernière à la tête fibulaire. Le deuxième (branche mobile) se place sur le 5<sup>e</sup> métatarsien, et en alignement avec l'axe passant par la tête et la base de ce dernier (**Annexe IX.II.**).

Un support standard en bois a été construit pour permettre un étalonnage reproductible et précis du goniomètre. Celui-ci correspond à la position anatomique de référence de l'ensemble

du pied et donc de la cheville, soit  $115^\circ$  (68). Cet angle est formé par l'axe passant par la fibula (de sa tête à la malléole) et le Ve métatarsien (de sa base à sa tête) (**Annexe IX**).

#### 4.4.4. Enregistrement électromyographique de surface

Les méthodes d'étirements choisies ne devaient pas mettre en jeu l'activité musculaire des antagonistes. Dans cette étude, le principal antagoniste était le TA, muscle facilement palpable et accessible. Afin d'avoir des renseignements sur son activité pendant la réalisation des conditions, nous avons pu utiliser un capteur d'électromyographie de surface (EMGs), plus objectif et précis qu'une palpation.

L'appareil est constitué d'un capteur sans fil de mesure EMGs de la même entreprise que le l'électro-goniomètre (TEA). Celui-ci vient se fixer sur une électrode bipolaire jetable, appliquée au contact de la peau. Comme pour le goniomètre, les données du capteur sont recueillies par Bluetooth sur l'ordinateur avec le T-DAC. L'enregistrement se faisait en micro-volt ( $\mu\text{V}$ ) dans le logiciel CAPTIV®, de manière simultanée avec le goniomètre.

Le positionnement de l'électrode conditionne la qualité du signal EMGs. Un placement autour d'une jonction myotendineuse ou neuromusculaire peut altérer celui-ci et donner des résultats trompeurs. Par conséquent, l'emplacement idéal pour positionner l'électrode d'enregistrement se situe dans la zone entre terminaisons tendineuses et terminaisons nerveuses (70). Concernant le TA, cette zone se situe dans la partie très proximale de son corps musculaire, plus exactement vers les 15% proximaux de la distance entre la tubérosité tibiale antérieure et la ligne inter-malléolaire antérieure (70) (**Annexe IX**). Cette rigueur a permis d'avoir un placement précis et reproductible inter-sujets. Toujours dans un objectif de qualité du signal, la zone de contact avec l'électrode a été rasée et nettoyée au préalable. Comme le goniomètre, le capteur EMGs a été conservé durant toute la durée de l'expérience pour avoir des données reproductibles intra-sujet.

Avant l'enregistrement des conditions, une mesure EMGs pendant une CMV de quelques secondes, a été effectuée. Lors de cette CMV, la moyenne obtenue en  $\mu\text{V}$  a été relevée. Ensuite, la moyenne EMGs des 5 dernières secondes de chaque condition a aussi été relevée. Cela a permis d'obtenir un pourcentage d'activation du TA par rapport à la CMV initiale. Le dépassement d'un seuil de 25% de la valeur moyenne obtenue lors de la CMV, permettait d'objectiver une implication trop importante de l'antagoniste (le TA) pendant la réalisation d'une condition. Or, comme dit précédemment, cette implication n'était pas souhaitée pour les méthodes choisies. Ce seuil s'appliquait indépendamment pour chaque condition : le dépassement de celui-ci dans une seule entraînait une exclusion de toutes les données du sujet à postériori.

#### **4.5. Modalités de traitement des données**

Toutes les données recueillies ont été rassemblées dans un unique tableur en ligne Google Sheets puis exportées dans Excel 2017 ®. Le tableur permettait d'obtenir les données descriptives (écart types, moyenne, extrêmes), mais aussi, de calculer automatiquement les pourcentages EMGs de chaque condition, ainsi que les variations angulaires entre celles-ci.

Les caractéristiques des sujets retenus et les critères de jugement secondaires sont présentés dans la partie suivante sous la forme de moyennes et écarts types ou de pourcentages.

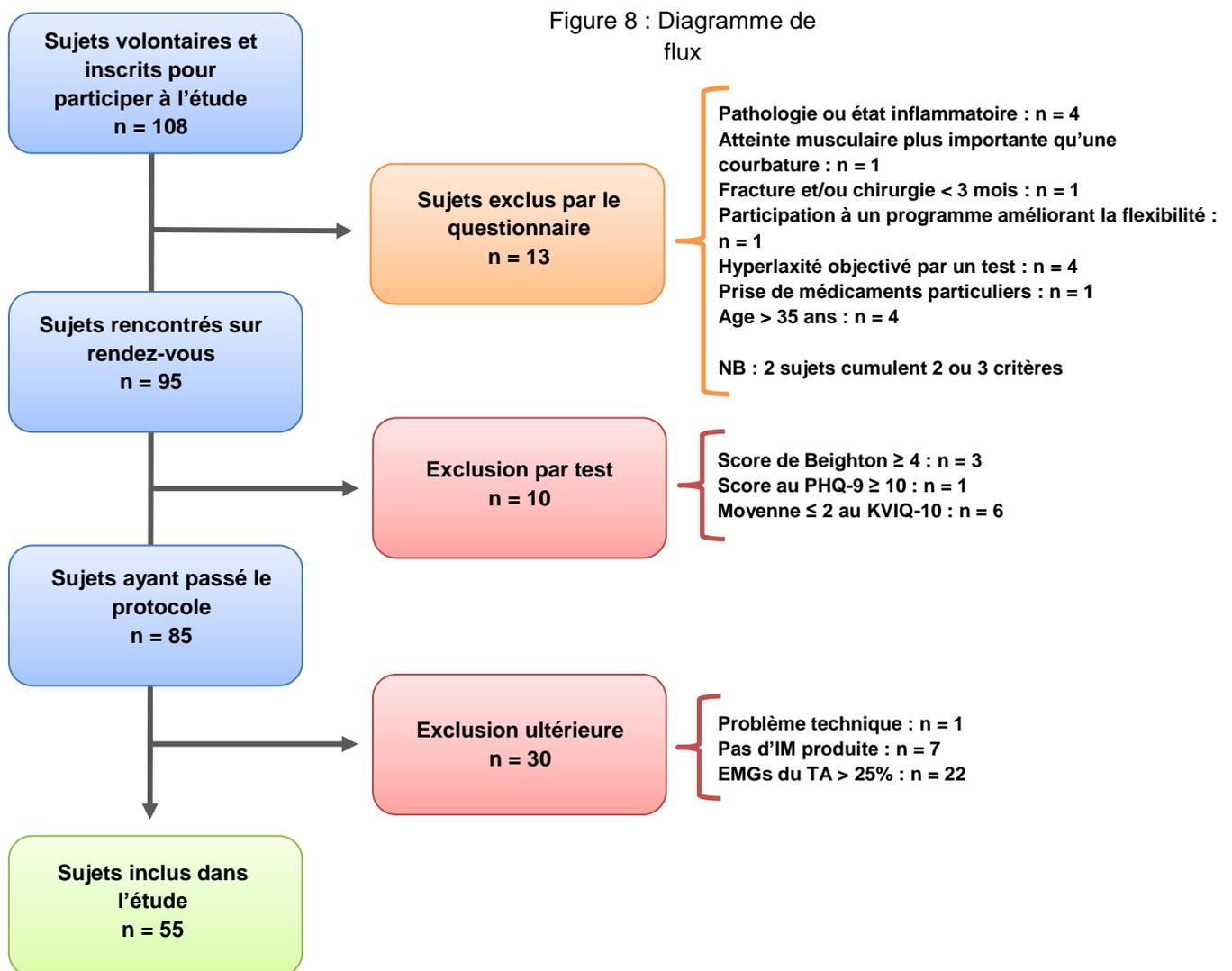
L'AAM, critère de jugement principal est une variable quantitative continue. Elle a été recueillie et analysée sur 55 sujets inclus, ce qui donne une distribution normale des résultats. L'analyse s'est faite par un test paramétrique : ANOVA à deux facteurs. Ce type d'analyse a permis de regarder l'existence d'un effet principal sur le type d'étirement et sur l'utilisation de l'IM. Le traitement a été réalisé par le logiciel Statistica. Une différence entre les moyennes était considérée comme significative si  $p < 0,05$ .

## 5. Résultats

### 5.1. Population « retenue »

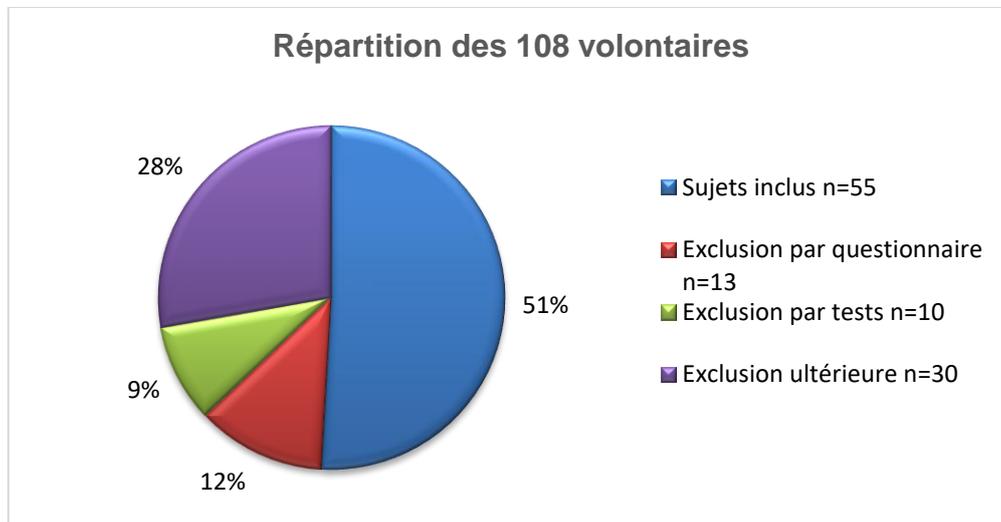
#### 5.1.1. Procédure d'inclusion

108 volontaires se sont inscrits sur le planning en ligne prévu pour l'étude. Sur ce nombre, seulement un peu plus de la moitié ont été définitivement retenus. La Figure 8 ci-dessous illustre la démarche d'inclusion, comportant trois phases d'exclusion. Les 13 sujets qui présentaient des critères d'exclusion mis en évidence par le questionnaire, ont eu leur rendez-vous annulé. Les 95 autres sujets ont été conviés à un rendez-vous.



La Figure 9 permet de visualiser l'importance de chaque étape d'exclusion par rapport au nombre de sujets total et au nombre de sujets inclus.

Figure 9 : Répartition de l'exclusion / inclusion



### 5.1.2. Caractéristiques des participants

55 sujets ont donc été sélectionnés et ont eu leurs résultats pris en compte pour l'étude. Les caractéristiques de cette population retenue sont présentées dans le Tableau 1. Elle était constituée de sujets jeunes (21,9 ans +/- 2,2) et principalement de droitiers (à 92,8%). Une majorité de sujets étaient féminins (à 59,2%), ce qui était représentatif de la population de l'institut de formation. Les moyennes obtenues au score de Beighton (1,0 +/- 1,1) et au PHQ-9 (2,8 +/- 2,2) caractérisent cette population comme peu laxte et avec bon état de santé mentale.

Malgré le fait que plus de la moitié des sujets (56%) ont renseigné ne pas avoir d'expérience en IM, la moyenne totale au KVIQ-10 était correcte (moy KVIQ-10 = 3,7 / 5). On remarque que les sujets ont eu une légère préférence pour modalité visuelle interne (moy IVI = 3,8 / 5) par rapport à la modalité kinesthésique (moy IMK = 3,5 / 5). Cependant les écarts types sont identiques (EC IVI et IMK +/- 0,7) témoignant d'une dispersion similaire pour l'évaluation des deux modalités.

Tableau 1 : Caractéristiques des participants

Effectif inclus	55
Age (année) moy ± EC [min - max]	21,9 ± 2,2 [19 – 30]
Ratio H/F	23/32 - 41,8%
Score de Beighton (sur 9 points) moy ± EC [min - max]	1,0 ± 1,1 [0 – 3]
PHQ-9 (sur 27)	2,8 ± 2,2 [0 – 8]
Latéralité D/G %	92,8 %
Expérience en IM %	44 %
KVIQ-10 IVI (sur 5 points) moy ± EC [min - max]	3,8 ± 0,7 [2,4 – 5]
KVIQ-10 IMK (sur 5 points) moy ± EC [min - max]	3,5 ± 0,7 [2,2 – 5]
Total au KVIQ-10 (sur 5 points) moy ± EC [min - max]	3,7 ± 0,6 [2,5 – 4,7]

**Moy** : moyenne ; **EC** : écart type ; **[min – max]** : extrêmes ; **PHQ-9** : Patient Health Questionnaire en 9 items ; **KVIQ-10** : Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire version courte (10 items) ; **IM** : Imagerie Motrice ; **IVI** : Imagerie Visuelle Interne ; **IMK** : Imagerie Motrice Kinesthésique

## 5.2. Données recueillies

La Tableau 2 est une synthèse de toutes les mesures effectuées concernant le critère de jugement principal, et les critères de jugement secondaires. Elles sont présentées sous la forme de moyennes ± écart type de l'ensemble des sujets inclus, et cela , pour chaque condition. Ces données sont ensuite reprises individuellement sous forme graphique, avec des échelles adaptées afin de mieux les visualiser. L'analyse statistique n'a été possible que pour le critère de jugement principal.

S'ajoutent à ces critères les données d'EMGs qui figurent à la dernière ligne de ce Tableau 2. Elles correspondent au pourcentage d'activation du TA, lors des 5 dernières secondes de chaque condition, par rapport à une mesure EMGs lors d'une CMV. Ces valeurs indiquent une activation légèrement plus importante du TA, lors des conditions comprenant de l'IM, par rapport à celles n'en comprenant pas, mais également lors des conditions avec du CRE par rapport à celles avec de l'étirement passif.

Tableau 2 : Récapitulatif des données recueillies par condition

Type d'étirement	Etirement passif court		Contracté relâché étiré (CRE)	
	Sans IM (A)	Avec IM (B)	Sans IM (C)	Avec IM (D)
AAM en °	28,15 ± 6,4	29,91 ± 6,34	28,58 ± 7,30	29,56 ± 6,79
Difficulté de compréhension	1,1 ± 0,3	1,1 ± 0,4	1,3 ± 0,5	1,3 ± 0,5
Difficulté de réalisation	1,9 ± 0,7	1,3 ± 0,5	1,9 ± 0,8	1,5 ± 0,6
Pénibilité / inconfort	2,0 ± 2,0	2,4 ± 2,2	2,0 ± 2,1	2,3 ± 2,0
Qualité d'IM produite		3,4 ± 0,9		3,1 ± 0,9
% d'EMGs de la condition / CMV (en µV)	8,9%	9,4%	10,7%	11,0%

### 5.2.1. Critère de jugement principal

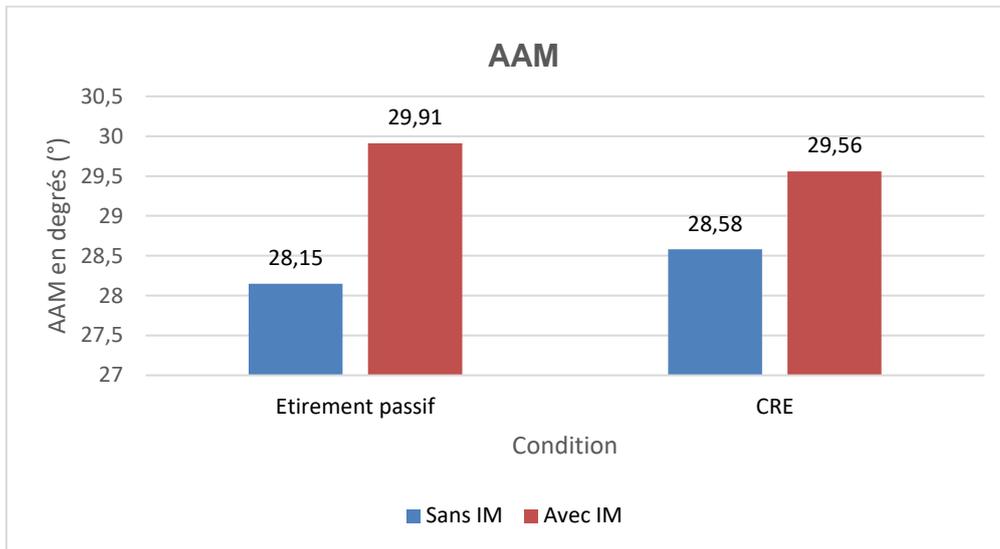
Les AAM obtenues dans les 5 dernières secondes, pour chaque condition et pour chaque sujet, ont été mises sous la forme de moyennes afin d'observer si une ou des conditions étaient plus efficaces que d'autres (Figure 10). La comparaison des deux types d'étirements n'a pas montré de différences significatives ( $p > 0,05$ ), ainsi que la comparaison des conditions avec ou sans IM ( $p > 0,05$ ). Sans la présence d'effet sur ces deux facteurs, il n'était pas possible de s'intéresser à une éventuelle interaction entre le type d'étirement et la présence ou non d'IM. En résumé, l'efficacité de chaque condition était similaire à celle des autres.

Malgré cela, en adaptant les échelles (Figure 10), il est tout de même possible d'observer, que :

- L'écart le plus important se fait entre les deux conditions d'étirements passifs. Effectivement la condition avec IM (B : 29,91°) a une moyenne d'AAM avec 1,76° de plus que celle sans IM (A : 28,15°)
- Les deux conditions sans IM (A et C : 28,15° et 28,58°) ont eu une AAM plus faible que les deux conditions avec IM (B et D : 29,91° et 29,56°).

- Les deux conditions d'étirements passifs (A + B :  $28,15^\circ + 29,91^\circ = 58,06^\circ$ ) avaient une moyenne d'AAM cumulées presque identique (à  $0,08^\circ$  près) par rapport à celle des deux conditions de CRE (C + D :  $28,58^\circ + 29,56^\circ = 58,14^\circ$ )

Figure 10 : Amplitude Articulaire Maximale mesurée



### 5.2.2. Critères de jugement secondaires

Afin de mieux comprendre les conséquences de l'adjonction de l'IM a ces tâches d'étirements, d'autres paramètres secondaires ont été recueillis. Pour rappel, ces évaluations ont été effectuées juste après la réalisation de chaque condition.

#### 1) La perception somatique et psychologique

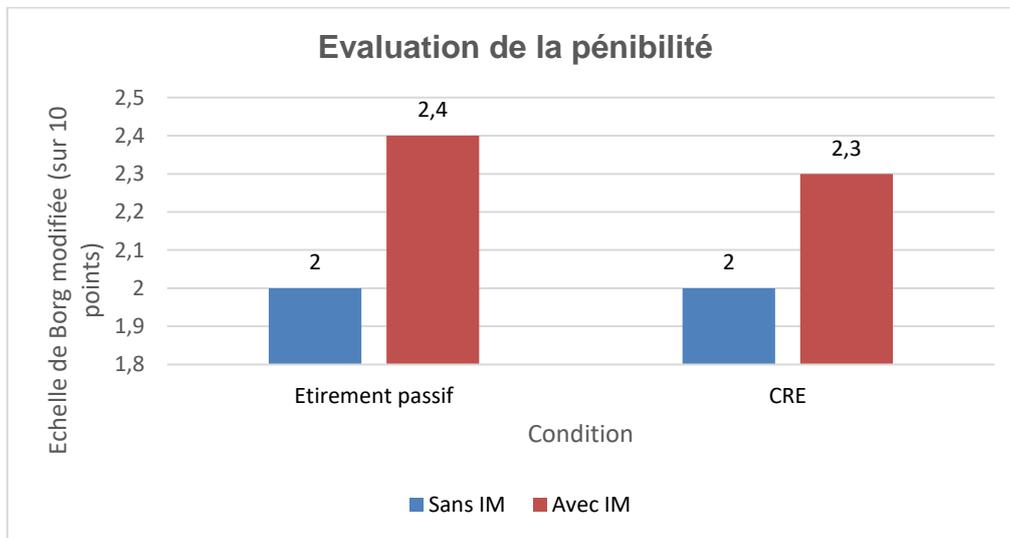
La Figure 11 met en avant la pénibilité (somatique et psychologique) ressentie lors de chaque condition. Cette dernière était évaluée sur une échelle de Borg modifiée de 0 (aucune) à 10 (très difficile). Les moyennes obtenues pour chaque condition correspondaient à un niveau allant de très peu à peu de pénibilité.

Les sujets ont rapporté un niveau d'inconfort similaire entre l'étirement passif (A : 2 et B : 2,4) et le CRE (C : 2 et D : 2,3). Cependant les conditions avec IM (B : 2,4 et D : 2,3) ont rendu un niveau de pénibilité légèrement supérieur que celles sans IM (A et C : 2) avec + 0,4 point pour l'étirement passif et + 0,3 point pour le CRE.

Les écarts types de ces données étaient similaires ( $\pm 2,0$  à  $2,2$  points) et montraient une dispersion homogène. De plus, le caractère subjectif de cette évaluation est à prendre en

compte. Certains sujets ont rapporté aucune pénibilité sur les 4 conditions alors que d'autres ont eu des écarts importants entre les conditions.

Figure 11 : Pénibilité / inconfort mesurée



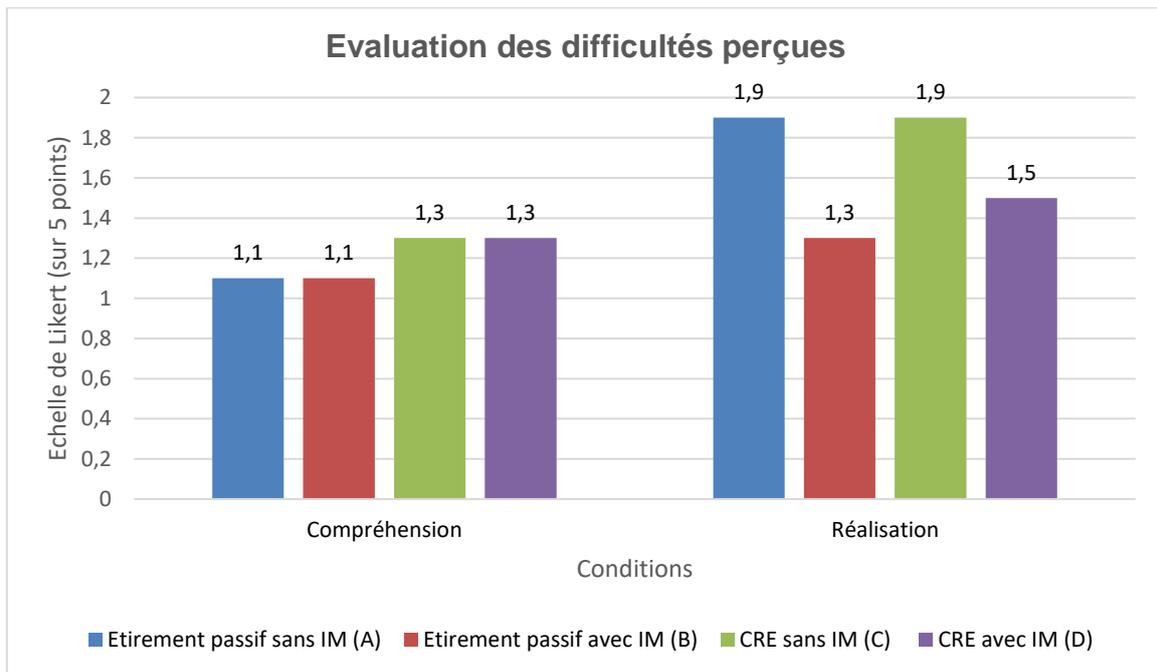
## 2) Les difficultés de compréhension et réalisation

La Figure 12 rapporte les difficultés de compréhension de réalisation pour chaque condition. Pour rappel, ces paramètres étaient évalués par une échelle de Likert (de 1 à 5 points). Sur ce graphique il est possible d'observer que :

- La difficulté de compréhension est légèrement influencée par le type d'étirement : elle est supérieure pour les CRE (C et D ; 1,3 / 5) par rapport aux étirements passifs (A et B ; 1,1 / 5)
- La difficulté de réalisation est légèrement influencée par la présence d'IM : elle est inférieure pour les conditions avec IM (B et D ; 1,3 et 1,5 / 5) que pour les conditions sans IM (A et C ; 1,9 / 5) .
- En revanche il ne semble pas y avoir eu d'impact de l'IM sur la difficulté de compréhension tout comme le type d'étirement n'a pas eu d'incidence sur la difficulté de réalisation.

Sur cette même figure, il est possible d'observer que les moyennes de difficulté de compréhension ont été toujours plus faibles que celles de difficulté de réalisation (de - 0,2 à - 0,8 points). De plus, on remarque un écart plus important entre la difficulté de compréhension et la difficulté de réalisation pour les conditions sans IM (A et C : écart de 0,8 et 0,6 point) en comparaison à celles avec IM (B et D : écart de 0,2 point).

Figure 12 : Difficultés de compréhension et de réalisation mesurées

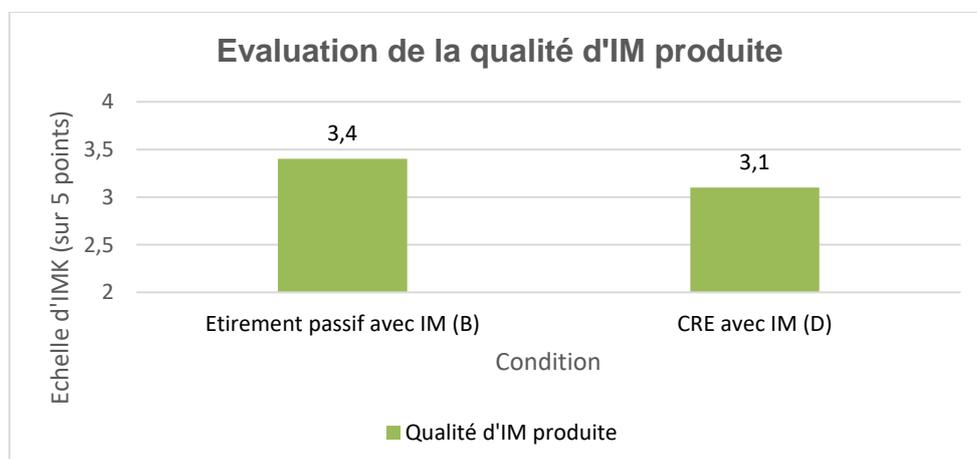


### 3) L'intensité des sensations kinesthésiques perçues pendant les IM

La Figure 13 illustre brièvement la qualité des IM produites pour les deux conditions en comprenant. Pour rappel l'IM demandée était de modalité kinesthésique. Sa qualité était évaluée par une échelle sur 5 points issus du KVIQ-10, s'intéressant à l'intensité des sensations perçues.

Quel que soit l'étirement, les sujets ont en moyenne indiqué avoir eu des sensations de modérément intenses (3 / 5) à intenses (4 / 5). Ces sensations ont été évaluées comme légèrement supérieures pour la condition d'étirement passif (B ; 3,4 / 5) par rapport à celles de CRE (D ; 3,1 / 5), supposant une meilleure qualité d'IMK pour ce premier type d'étirement.

Figure 13 : Qualité d'imagerie motrice produite

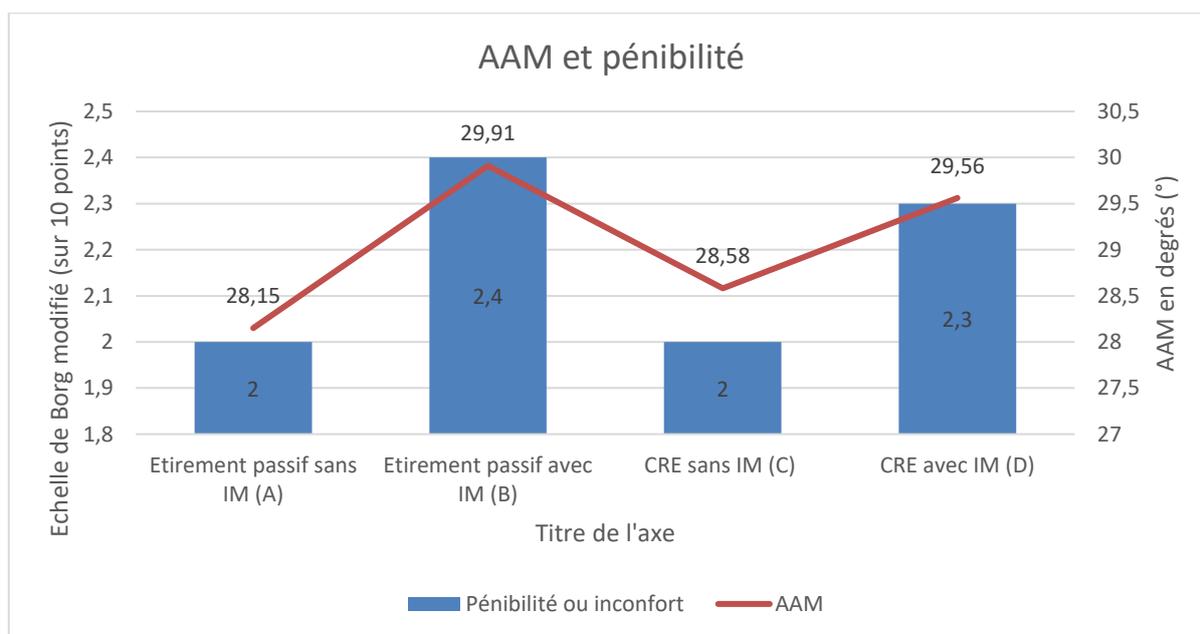


### 5.2.3. Hypothèses de corrélations

Maintenant que tous les critères de jugement ont été passés individuellement en revue, il faut voir s'il pourrait exister des liens entre ces critères. Cependant, ces résultats ne sont qu'observationnels. Pour ce faire, les trois figures suivantes illustrent successivement l'AAM avec chacun des paramètres secondaires.

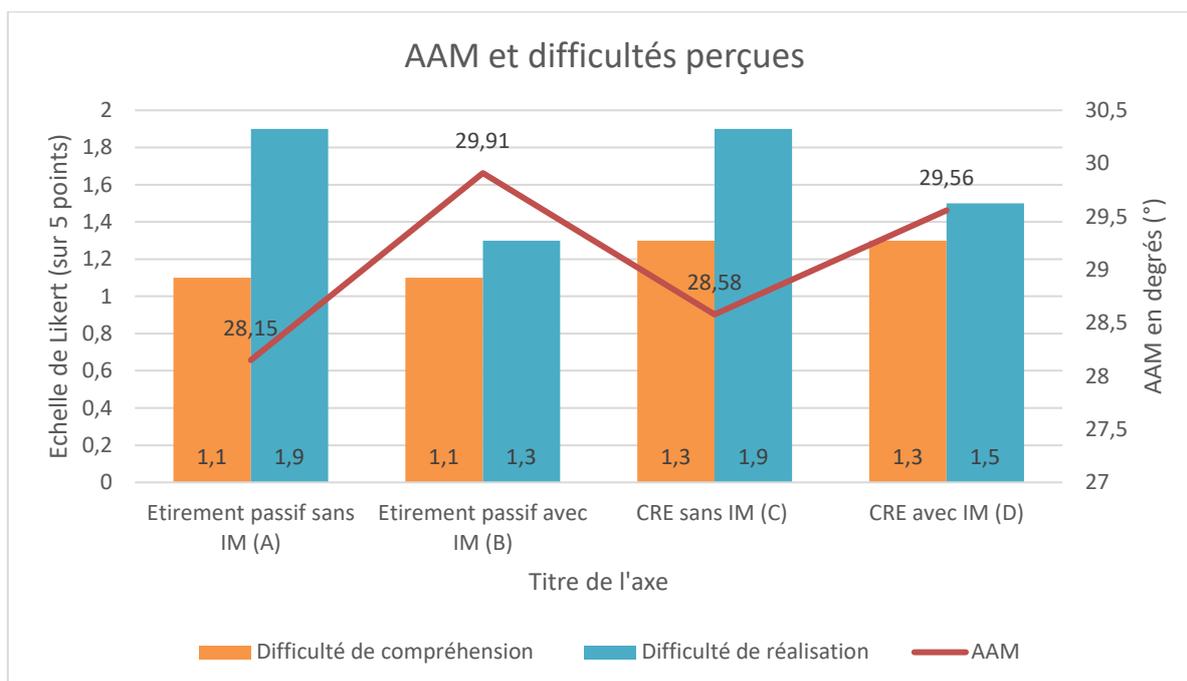
La Figure 14 superpose les valeurs moyennes de la pénibilité (vu sur la Figure 11) et celle de l'AAM (vu sur la Figure 10). Il est facile d'observer que lorsque l'une des variables augmente, l'autre augmente également de manière conjointe : la pénibilité augmente quand l'AAM augmente. De cette manière, la condition B possédait les moyennes d'AAM (29,91°) et de pénibilité (2,4 / 5) les plus élevées. A l'inverse, la condition A possédait les moyennes d'AAM (28,15°) et de pénibilité (2 / 5) les plus faibles.

Figure 14 : Amplitude Articulare Maximale et pénibilité



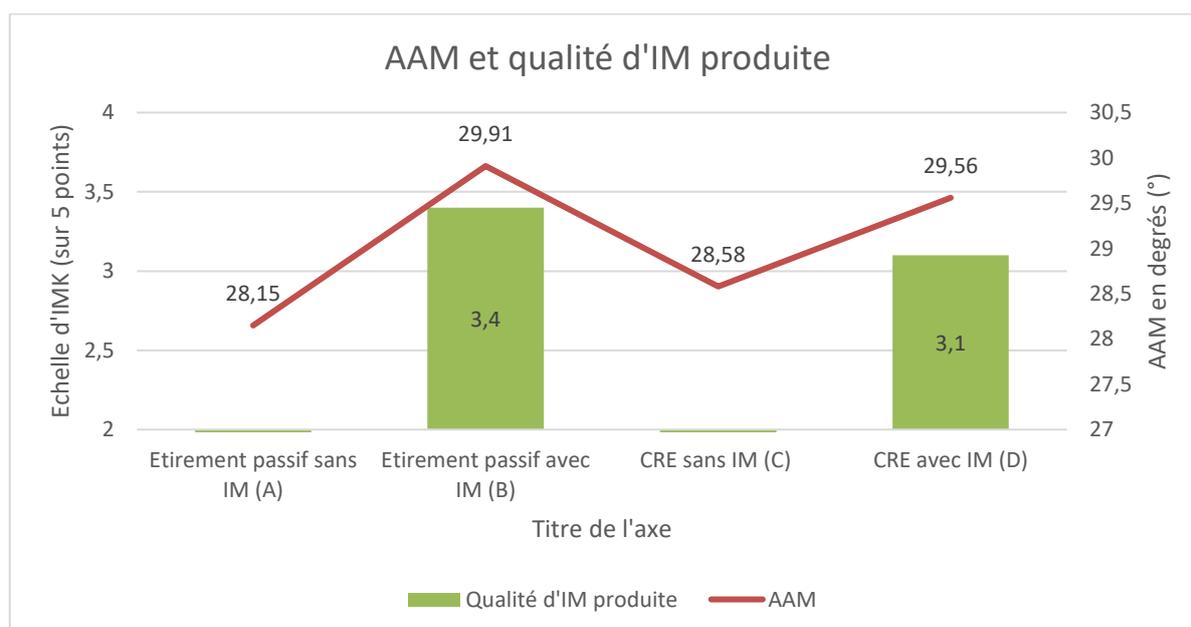
La Figure 15 superpose les moyennes des difficultés de compréhension et de réalisation (vu sur la Figure 12) et celle de l'AAM (Figure 10). La difficulté de réalisation perçue par les sujets semble inversement suivre l'augmentation de l'AAM : la condition B possédant la moyenne d'AAM la plus élevée (29,91°), possède également la moyenne de difficulté de réalisation la plus faible (1,3 / 5). En revanche il ne semble pas exister de lien entre l'AAM et la difficulté de compréhension.

Figure 15 : Amplitude Articulare Maximale et difficultés perçues



La Figure 16 superpose les moyennes de qualité d'IM produite (vu sur la Figure 13) avec celles de l'AAM (Figure 10). La condition avec la meilleure qualité d'IM produite (B ; 3,4) correspond à la condition ayant obtenu la plus grande AAM (B ; 29,91°). Les deux conditions sans IM (A et C) sont celles ayant eu les AAM les plus faibles (28,15° et 28,58°). Il pourrait donc exister un lien entre la qualité d'IM et l'augmentation de l'AAM.

Figure 16 : Amplitude Articulare Maximale et qualité d'imagerie motrice produite



## 6. Discussion

---

L'objectif principal de cette étude était d'observer l'impact de l'IM sur l'efficacité de deux méthodes d'étirements couramment utilisées en kinésithérapie : un étirement passif court et un étirement activo-passif, le CRE. Dans un second plan, le ressenti, la qualité des IM produites, ainsi que les difficultés de compréhension et de réalisation des techniques ont également été évaluées. Ces mesures secondaires ont permis d'étudier certaines conséquences de l'ajout de cette IMK, pendant les techniques d'étirements.

Des hypothèses ont été émises avant la mise en place de l'étude :

- ➔ Indépendamment de l'ajout de l'IM, le CRE devrait engendrer une AAM supérieure à celle de l'étirement passif.
- ➔ L'adjonction de l'IM devrait augmenter l'AAM de ces deux techniques d'étirements, et cela, de manière équivalente.
- ➔ Le confort devrait être meilleur pour les conditions avec IM.
- ➔ Les difficultés de compréhension et de réalisation des techniques devraient être inversement proportionnelles aux variations d'AAM.

Avant de voir l'impact de l'IM sur les deux méthodes d'étirements choisies, il semble essentiel de revenir en premier sur une comparaison des deux méthodes, indépendamment de l'utilisation de l'IM.

### 6.1. Analyse des résultats et confrontation avec la littérature

#### 6.1.1. Comparaison des deux méthodes d'étirements

Cette nouvelle comparaison des méthodes passives et activo-passives permet d'obtenir un avis supplémentaire sur le sujet. De plus, cela paraît essentiel avant de s'intéresser à l'impact de l'IM.

Les résultats exposés en 5.2.1. dans le Tableau 2 et la Figure 10, ne suggèrent aucune différence entre ces deux méthodes en terme d'AAM ( $p > 0,05$ ). Ces résultats inattendus ne vont pas dans le sens de la littérature évoquée en 2.2.2. Effectivement, la plupart des études

affirment une meilleure efficacité des méthodes activo-passives comme le CRE, et cela, quelle que soit la durée d'application (38,40–43).

Toutefois, il faut prendre en compte plusieurs facteurs propres à cette étude qui ont pu impacter les résultats de l'AAM. Tout d'abord, la mise en place du protocole s'est faite de manière transversale. Sur ce modèle, d'autres études ont pourtant trouvé une efficacité supérieure pour le CRE par rapport au passif (38,40,41,43). Une différence qui peut parfois dépasser les quatre degrés à l'articulation de la hanche (43). Ensuite, pour des raisons méthodologiques, le parti pris de ne pas faire intervenir l'expérimentateur a contraint les sujets à s'appliquer eux mêmes les étirements. À ce propos, Goeffroy stipule que le CRE « est difficile à utiliser par le particulier et doit être réservé aux pratiquants avertis » (30). Il souligne la difficulté d'une auto-administration de l'activo-passif, une méthode qui demande de l'écoute et du ressenti pour le sujet. Malgré cela, Zakaria et al. démontrent que le CRE en auto-étirement reste tout aussi efficace que celui appliqué par un thérapeute (35). Puis, dans un souci de durée du protocole, une seule prise de mesure par condition a été effectuée. Pourtant, d'autres études allant dans le sens d'une meilleure efficacité du CRE ont aussi fait ce choix d'une mesure unique (41,43)..

Si chaque facteur pris individuellement ne paraît pas responsable de l'incohérence des résultats au regard de la littérature, c'est leur association qui pourrait l'être. En effet, aucune étude référencée montrant une efficacité du CRE supérieure au passif associe ces trois facteurs. Certaines associent une prise de mesure unique et transversale (41,43), mais l'application des techniques est faite par un thérapeute. Celle de Zakaria et al., qui conforte l'idée qu'un auto-CRE, est aussi efficace qu'un CRE appliqué par un thérapeute, s'est faite de façon longitudinale, par un programme d'intervention sur six semaines (35). De surcroît, le type d'étirement semble avoir influencé la difficulté de compréhension. Les sujets ont trouvé le CRE légèrement plus compliqué à comprendre, ce qui peut contribuer à justifier les résultats d'AAM obtenus.

Contrairement à nos hypothèses, le CRE n'a pas permis d'engendrer une AAM supérieure que l'étirement passif, avec ou sans IM. Ces résultats peuvent se justifier par une association inédite de différents facteurs ainsi qu'une plus grande difficulté à comprendre les conditions de CRE. Maintenant, qu'en est-il pour les effets de l'IM ?

### **6.1.2. Impact de l'imagerie motrice sur l'efficacité des étirements**

Les résultats présentés en 5.2.1. montrent que les deux conditions avec IM (B et D : 29,91° et 29,56°) ont eu une AAM plus élevée que les deux conditions sans IM (A et C : 28,15° et 28,58°). Il y a donc un gain d'amplitude notable des conditions avec IM par rapport à celle sans IM. Malgré cela, l'analyse statistique indique que ces différences observables ne sont

pas significatives ( $p > 0,05$ ). C'est pourquoi il n'est pas possible d'exposer que l'IM a un réel impact sur l'AAM, et donc, sur l'efficacité instantanée des étirements choisis pour cette étude. Ces données ne peuvent pas être directement comparées à la littérature puisqu'aucune autre étude à ce jour ne s'y est intéressée. Contrairement à nos hypothèses, l'adjonction de l'IM à des méthodes d'étirements passifs et activo-passifs n'a pas permis d'augmenter leur efficacité. Si étudier l'impact instantané de l'IM sur des étirements à caractère passif est novateur, l'étude de l'IM avec les étirements ne l'est pas. Sur ce sujet Kantack et al. ont récemment démontré le bénéfice que peut apporter l'imagerie de mouvement en tant qu'adjuvant à des étirements actifs. Pour ce faire, ils ont constitué deux groupes et leurs ont demandé un étirement actif des ischio-jambiers lors d'une tâche de sit and reach (Figure 17), avec ou sans IM. Ce type de tâche respectait, comme dans cette étude, le principe de non-intervention de l'expérimentateur.

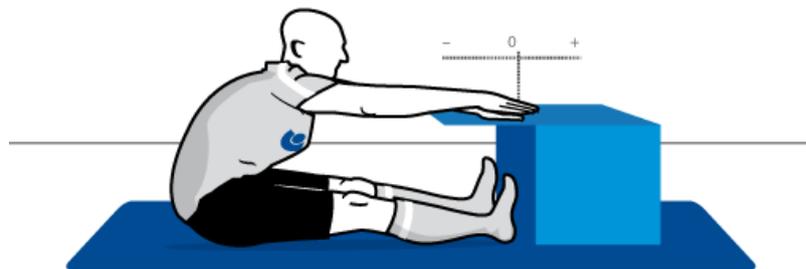


Figure 17 : Sit and reach test

Par ailleurs, nous avons relevé que l'écart le plus important se faisait entre les deux conditions d'étirements passifs. En effet, l'AAM a été augmentée de  $1,76^\circ$  en présence d'IM (B ;  $29,91^\circ$ ), plutôt que sans (A ;  $28,15^\circ$ ). En revanche, du côté du CRE, cet écart n'est que de  $0,98^\circ$  (D :  $29,56^\circ$  - C :  $28,58^\circ$ ). Ces variations traduisent l'effet de l'IM sur chaque méthode d'étirement. Cette constatation laisse croire qu'il peut exister une potentialisation variable par l'IM entre les méthodes d'étirements, dans la mesure où elle pourrait apporter un gain de l'AAM. L'étirement passif serait alors davantage valorisé que le CRE. Il faut tout de même prendre en compte que la durée d'application de l'IM n'a pas été identique pour les deux techniques : 20 secondes pour le passif contre 12 secondes pour le CRE. Cet écart des temps d'application peut être la source de cette variation plutôt qu'un manque de temps, puisque Kantack et al. ne l'avaient demandé que sur 10 secondes (60).

Outre la durée d'application, les sujets ont indiqué une bonne qualité d'IM produite pour les deux méthodes, avec des sensations apportées par l'imagerie allant en moyenne de modérément intenses (3 / 5) à intenses (4 / 5). Il faut rappeler que les sujets n'ayant pas eu de sensations (1 / 5 ;  $n = 7$ ) ont été exclus à posteriori. L'imagerie demandée était de modalité

kinesthésique, ce qui correspond au ressenti mental de toutes les sensations d'un mouvement réel y compris celles de l'étirement (3). Elle demande une forte concentration et une pleine conscience pour être réalisée, c'est donc une IM explicite (21). Sur ce modèle, seule la récente étude de Kantack et al. a utilisé ce type d'IM. Ils ont accentué les consignes sur le relâchement et l'acceptation de l'étirement pendant sa réalisation : « Imaginez la sensation que vos muscles postérieurs de la jambe se détendent et acceptent l'étirement » (60). Dans ce travail, elles étaient vouées à provoquer des sensations supplémentaires par l'IM : « Imaginez et ressentez votre muscle s'allonger comme deux points qui s'écartent » (**Annexe X**).

Ces sensations provoquées par l'IM ont été évaluées comme légèrement plus intenses pour la condition d'étirement passif (B ; 3,4 / 5) par rapport à celle de CRE (D ; 3,1 / 5). Cela peut traduire une meilleure qualité d'IMK pour ce premier type d'étirement. Cette légère supériorité va dans le même sens que celle de l'AAM, ce qui pourrait indiquer une éventuelle influence. Les sujets ont donc eu une préférence à produire l'IMK demandée pendant l'étirement passif, ce qui a pu d'avantage améliorer son efficacité (B : AAM la plus élevée). En revanche, le manque d'analyse ne nous permet pas de savoir si cette facilitation est directement liée à une meilleure compatibilité de l'IM avec la méthode d'étirement passif ou si elle est liée aux 8 secondes d'application supplémentaires. Contrairement à ce que nous pensions, l'IM pourrait avoir un effet différent entre les méthodes d'étirements.

Au-delà d'un souci d'efficacité et de performance, l'imagerie du mouvement appliqué pendant des étirements à caractères passifs a pu avoir d'autres conséquences.

### **6.1.3. Conséquences de l'ajout de l'imagerie motrice à des étirements**

Avant tout, il faut voir comment les sujets ont perçu ce couplage (étirement - IM) un peu particulier. L'évaluation de la pénibilité (**Annexe XI.I.**) que nous avons recueillie pour chacune des conditions, apporte les premiers éléments. Les sujets ont rapporté un niveau d'inconfort similaire entre les deux méthodes, mais ce n'est pas le cas avec l'ajout de l'IM dans chacune. En effet, les conditions avec IM ont rendu un niveau de pénibilité légèrement supérieur que celles sans. Ces résultats traduisent que l'IM a impacté le niveau de confort des deux méthodes, et cela, de façon équivalente. Cette augmentation de la pénibilité paraît suivre celle de l'AAM ainsi que celle de la qualité d'IM. Malgré tout, ces données descriptives ne permettent pas de savoir si ces variations d'augmentation de la pénibilité pour les conditions avec IM sont significatives. Elles ne permettent pas non plus d'en connaître l'origine. Nous pouvons tout de même émettre deux suggestions sur ce sujet :

- La variation pourrait être due directement par l'IM et sa qualité, soulignant alors les sensations supplémentaires qu'elle aurait apportées. Dans ce cas on pourrait penser à des conséquences plutôt psychologiques de l'imagerie.

- La variation pourrait être due indirectement par l'IM, dans le cas où l'augmentation de la pénibilité et de la qualité d'IM serait corrélée à celle de l'AAM. Dans ce cas on pourrait plutôt penser à des conséquences somatiques ou physiologiques.

Dans les deux cas, c'est bien l'IM qui serait responsable, soit directement, soit indirectement. Dans un cas, la pénibilité serait augmentée par des sensations imaginées. Dans l'autre, elle le serait par des sensations bien réelles, procurées par un gain de l'amplitude via l'imagerie. Il n'est pas possible de savoir si cela pourrait être en rapport avec des conséquences plutôt psychologiques ou plutôt physiologiques ou bien les deux conjointement. Les mécanismes sous-jacents sont encore inconnus et hypothétiques, mais à ce sujet Guillot et al. ont apporté des suggestions (11). Dans leur étude, ils ont considéré que l'IM aurait plutôt des conséquences psychologiques. Néanmoins, sur le plan physiologique, ils exposaient que l'IM pourrait avoir un impact sur les sarcomères en diminuant leurs chevauchements, mais aussi sur les tissus conjonctifs. Ce phénomène diminuerait donc les forces passives de la CES et de la CEP, les deux composantes qui résistent à l'étirement. S'en suivrait une diminution de la RMA, du couple passif et de l'énergie potentielle élastique emmagasinée. Par ailleurs, l'IM stimule des paramètres végétatifs qui permettent l'échauffement intramusculaire et qui ont un rôle sur la viscoélasticité (11). Enfin, elle régulerait le RM et réduirait l'activation musculaire pendant l'étirement (60).

Ce phénomène va à l'inverse des hypothèses de départ, stipulant que le ressenti ou confort devrait être meilleur pour les conditions avec IM. Cette hypothèse était construite sur celle de Guillot et al. qui, comme dit précédemment, suggérait un impact psychologique de l'imagerie sur les étirements. Cependant, leur étude était longitudinale sur huit semaines et l'imagerie n'était pas appliquée lors d'étirements réels. Elle était utilisée en dissociation, sous formes de répétitions mentales d'étirements (11). De plus, nous n'avons pas pris en compte que l'IMK demandée pourrait elle-même engendrer de l'inconfort en procurant des sensations imaginées d'étirement.

Concernant les niveaux de difficultés perçues par les sujets, la présence de l'IM semble, à première vue, avoir positivement influencé la réalisation des techniques. Les conditions avec IM (B et D ; 1,3 et 1,5 / 5) ont été évaluées moins difficiles à réaliser que les conditions sans IM (A et C ; 1,9 / 5). En revanche, il n'y a pas eu d'impact de l'imagerie sur la difficulté de compréhension. Les instructions qui sont données contribuent à la difficulté de compréhension et influencent les chemins corticaux qui permettent la formation de l'imagerie (4). Dans notre étude, ces niveaux de difficultés étaient faibles (entre 1,1 et 1,3 / 5) indiquant que les instructions étaient relativement claires. Cependant, les écarts entre les évaluations de la compréhension et de la réalisation (de -0,2 à -0,8 points) signalent tout de même une

difficulté supplémentaire pour mettre en application des consignes pourtant comprises. Un écart plus important, sans la présence d'IM, laisse penser que la TC a pu perturber la réalisation plutôt que l'IM ne l'a facilitée. La présence de cette tâche était pourtant indispensable pour empêcher la production d'IM lorsque la condition ne devait pas en comprendre. Cette hypothèse ne suit pas les résultats de Kantack et al. qui indiquaient que la TC n'apporte pas de charge mentale supplémentaire par rapport à l'IM (60).

Pour revenir sur la difficulté de réalisation perçue par les sujets, comme nous le pensions avant la mise en place de l'étude, elle semble inversement suivre l'augmentation de l'AAM. Une condition plus facile à réaliser serait donc plus efficace. Cette modification de la difficulté pourrait être soit liée à un bénéfice de l'IM, soit à une contrainte de la TC. En revanche, il n'y a pas eu de lien notable entre les difficultés de compréhension et les AAM obtenues.

## 6.2. Intérêt clinique

Notre étude a tenté de mettre en lumière les effets de l'imagerie du mouvement pendant la réalisation d'étirements passifs et activo-passifs. Bien que cet impact sur l'amplitude soit non significatif, les résultats sont encourageants. La tendance de l'ajout de l'IM est dans l'ensemble positive pour tous les critères évalués. Les participants ont renseigné des difficultés de compréhension et de réalisation correctes avec l'IM, mais aussi une bonne qualité d'imagerie produite. Cela indique qu'ils ont compris et bien perçu l'IMK demandée.

Au-delà d'un souci de performance, cela pourrait favoriser l'adhésion du sujet dans son exercice d'étirement. Un sujet qui se concentre sur ses sensations, au point de pouvoir s'en imaginer davantage, c'est un sujet qui s'implique. Même si l'effet de l'IM sur l'amplitude n'est pas reconnu dans ce travail, elle a tout de même la capacité de captiver l'attention sur l'étirement en train d'être réalisé. Elle apporte une personnalisation supplémentaire à un exercice d'étirement et demande une prise de conscience ainsi qu'une participation active du sujet. De cette façon, celui-ci devient le véritable acteur de son exercice et sa santé (30).

Les questionnements sur les effets délétères qu'aurait l'étirement sur le muscle, jusqu'au risque lésionnel, ont pu remettre son intérêt en cause (31). Si l'imagerie ne peut pas être encore considérée comme un adjuvant pour la performance de celui-ci, elle pourrait l'être pour la prévention. En effet, par les sensations supplémentaires qu'elle procure et la concentration qu'elle exige (2,3,5), l'IM pourrait permettre d'éviter les mauvaises habitudes lors d'auto-étirements, les plus courantes étant une vitesse excessive d'étirement et de l'inattention (32,50,52).

Ce couplage de l'IM, en tant qu'adjuvant à des techniques d'étirements, a la capacité de s'appliquer facilement. Aucune ressource n'est nécessaire, mise à part la connaissance des techniques. L'intérêt de cette facilité serait de tendre vers un apprentissage en autonomie pour les patients. Il serait tout à fait envisageable de l'accommoder à tout type de groupe musculaire pour des étirements ponctuels ou réguliers.

Enfin, si ses conséquences physiologiques sont encore peu connues, l'IM semble déjà offrir des bénéfices psychologiques marqués : amélioration du confort du patient (71), confiance en soi (11,15), diminution de la douleur (14), etc. A ce titre, et au vu de la positivité de nos résultats, l'utiliser pendant un étirement paraît toujours judicieux.

### **6.3. Choix, limites et difficultés rencontrées**

L'obtention des résultats et les interprétations précédentes découlent de nombreux choix méthodologiques. Malgré la volonté de maîtriser au mieux la mise en place du protocole, des difficultés ont été rencontrées et certaines limites sont inévitablement apparues. Ces dernières ne sont pas inéluctables et certains changements dans la méthode auraient pu permettre de les repousser.

#### **6.3.1. Concernant la méthode**

La conception de cette recherche a été soumise à des contraintes, les choix que nous avons faits ont permis d'y faire face. L'ordre de présentation ci-dessous, n'est ni chronologique ni exhaustif. Chacun de ces points a été important et a subi plus ou moins de modifications.

Tout d'abord, il n'y a pas eu de création de groupe, bien que d'autres études s'intéressant aux étirements en conçoivent le plus souvent (38–40,42,43,72,73). Ce choix s'est fondé sur l'inquiétude d'avoir un nombre insuffisant de participants dans chaque groupe et de se retrouver avec des résultats qui risquaient d'être peu exploitables.

Cette même appréhension a conduit à la décision d'une prise de mesure unique pour chaque condition, une option déjà adoptée par d'autres auteurs (42,43). Cependant, il est tout de même plus courant de prendre plusieurs mesures et d'en comparer les moyennes (11,38–40,42,60,72,73).

De plus, la mise en place du protocole s'est faite de manière transversale. Il n'y avait pas d'autres alternatives pour s'intéresser à des effets immédiats. Ce choix ne semble pas constituer une limite puisque d'autres recherches sont menées sur le même modèle (38,40,41,43).

Enfin, concernant l'auto-administration des étirements, cette option a permis de ne pas faire intervenir l'expérimentateur afin d'obtenir des résultats objectifs. Cette volonté de réaliser un CRE en auto-administration a fortement restreint le choix du groupe musculaire. C'est finalement pour une question de faisabilité, au vu du matériel disponible, que le choix d'application sur le TS a été fait.

Il a été vu précédemment que chacun de ces facteurs ne constitue pas nécessairement une limite, mais c'est plutôt leur association qui pourrait en être une.

### **6.3.2. Concernant la tâche d'imagerie motrice**

La qualité de production d'une IM est très dépendante des modalités qui la composent et de leur utilisation. Ainsi, l'association de différentes modalités et l'ordre de celles-ci régissent la qualité de l'imagerie que le sujet produit (74). De plus, l'association et le changement de modalité ne sont pas objectivement contrôlables par l'expérimentateur (23). Pour contourner au mieux ces contraintes, l'imagerie demandée était uniquement kinesthésique. Les consignes faisaient appel à des sensations et n'évoquaient aucun mouvement qui aurait pu être visualisé sous forme d'IV, à l'image de l'étude de Kantack et al. (60).

Parmi les tests préalables à l'étude, il y avait celui de l'IM. À ce propos, en 1.4. il était évoqué que l'évaluation de l'imagerie peut s'avérer complexe en tant que capacité multidimensionnelle (22). Il n'est pas pour autant indispensable d'évaluer toutes les dimensions auxquelles elle participe, mais bien celle qui sera la plus sollicitée dans une étude. Le choix d'une méthode d'évaluation adaptée à l'imagerie de chaque étude est donc de mise. De plus, une revue portant sur ce sujet suggérait que le caractère de l'IM (implicite ou explicite) devrait d'avantage être pris en compte (22). C'est pourquoi les tests de latéralité ou de rotation mentale n'avaient pas leur place ici puisqu'ils requièrent des IM implicites (24). Pour les tests de chronométrie, ils font certes appel à des IM explicites mais se consacrent surtout à l'isochronisme (16,23), une dimension non-présente dans cette étude. Il reste en vain les nombreux questionnaires d'évaluation de vivacité des représentations motrices. Parmi eux, il n'existe pas de test de prédilection, ainsi chaque auteur choisit en fonction de l'IM qu'il va utiliser mais aussi de ses préférences (11,22,60). Pour cette étude, c'est le KVIQ-10 (26) qui avait été sélectionné. Il était le seul à être rapide, précis, mesurant IV et IMK pour les mêmes mouvements, et cela, toujours après un essai réel. Les sujets pouvaient ainsi différencier aisément les modalités et s'aider si besoin du mouvement réel pour se familiariser avec l'IMK.

Comme indiqué précédemment, la durée d'application de l'IM était non-identique entre les deux techniques. Le CRE contient plusieurs phases, comme celle de contraction du muscle cible (30). Par conséquent, une application identique des temps d'IM impose que les conditions avec du CRE deviennent inévitablement plus longues. Le seul moyen de savoir si cet écart a

pu constituer une véritable limite serait de connaître l'influence du temps d'administration de l'IM sur les étirements passifs. Cependant, la précocité des recherches sur ce thème ne permet pas d'avoir ce type de données actuellement.

### **6.3.3. Concernant la passivité et l'électromyographie de surface**

Toujours dans les paramètres principaux de l'étude, l'établissement du seuil d'EMGs du TA s'est avéré complexe. Le dépassement de 25% de la valeur moyenne obtenue lors de la CMV, permettait d'objectiver une implication trop importante de l'antagoniste (le TA) pendant la réalisation d'une condition. Sur le TS, cette contraction pouvait engendrer une augmentation de l'IR et une diminution de son RM, et cela, dépendamment de son intensité (57,59). Un compromis a donc été fait entre les apports rassurants de la littérature et la complexité de respecter au mieux le caractère passif des étirements demandés. En effet, si un seuil aussi élevé a pu être toléré, il y a plusieurs raisons. Premièrement, les fléchisseurs comme le TS, sont moins excitables que leurs antagonistes, et cela est également valable pour des réflexes comme l'IR (57,59,75). Ce phénomène entraîne donc une inhibition plus faible du TA vers le TS que l'inverse (59). Ensuite, les effets de l'IR sont moindres pour le couple musculaire de la cheville (TA - TS) que sur d'autres comme à la hanche ou au genou (75). Enfin, les contractions statiques ont bien moins d'effets que les dynamiques sur ces voies réflexes (76). Or, si les sujets présentaient des contractions involontaires pendant les mesures, elles étaient nécessairement statiques.

Cependant, le respect de la passivité a pu être problématique. Quel que soit le contexte, il n'est pas facile d'être entièrement relâché. Malgré l'implication des sujets, les résultats en témoignent avec une exclusion de 22 sujets pour activité musculaire du TA dépassant le seuil défini. Outre cette importante exclusion, les sujets inclus ont eu en moyenne une activité EMGs du TA allant de 8,9% à 11% selon les conditions (Tableau 2). Bien que la littérature soit rassurante sur le sujet, le seuil de 25% défini et l'acceptation de ces résultats ne sont basés sur aucunes preuves scientifiques. Certains sujets ont par ailleurs rapporté verbalement que l'attention nécessaire pour respecter cette passivité a pu affecter la production conjointe de leur IM. Effectivement, une imagerie kinesthésique explicite comme celle qui a été demandée nécessite une concentration particulière pour être produite (2,3,5).

### **6.3.4. Autres limites mineures**

Outre ces principaux points, d'autres limites mineures ont été relevées. Premièrement au sujet de la population, qui était à dominante féminine (à 58,2%). Or, les amplitudes de cheville sont en moyenne plus importantes chez les femmes que chez les hommes (68). Cela a pu engendrer une plus importante hétérogénéité des données de l'AAM, pourtant désignée

comme critère de jugement principal. De plus, seulement 55 sujets ont pu être inclus sur les 95 rencontrés. Cette exigence dans l'inclusion était essentielle mais aurait nécessité un recrutement plus large.

Toujours en ce qui concerne l'AAM, d'autres facteurs ont peut-être pu l'influencer, tels que l'anxiété des sujets ainsi que leur préparation aux mesures (68), même si tout a été mis en œuvre pour un bon déroulement du protocole. En outre, malgré la standardisation et la rigueur d'application, une reproductibilité du protocole entre tous les sujets s'est avérée imparfaite. À ce sujet, un point important est celui du positionnement de l'électro-goniomètre. La précision des repères osseux utilisés à cet effet est contestable, notamment pour un matériel dont la marge d'erreur est de 2°.

Une autre limite réside dans les échelles de Likert (**Annexe XI.III.**). L'impact des mots sélectionnés pour celle-ci a été plus important que prévu. De surcroît, l'association de la valeur 5 avec le terme « impossible » a réduit cette échelle à 4 points. Effectivement, tout était mis en œuvre pour que chaque condition soit réussie. Aucun sujet n'a donc évalué la compréhension ou la réalisation comme impossible. Une simple EVA sur 10 points aurait pu éviter ces déconvenues et offrir une meilleure dispersion des données.

Enfin, il n'a pas été possible de faire une analyse statistique approfondie. Seulement le critère de jugement principal a pu être traité. En absence de données concernant les critères de jugement secondaire, ainsi que les potentielles corrélations entre ces critères, les résultats demeurent des observations subjectives. S'ajoute à cela le manque de données dans la littérature et dans cette étude, concernant la compréhension des mécanismes, à priori complexes.

## **6.4. Perspectives**

### **6.4.1. Propositions d'amélioration de l'étude**

En tenant compte des limites exposées précédemment, des modifications pourraient s'envisager. Comme déjà évoqué, mettre en place une série de mesures et en extraire la moyenne constituerait un moyen simple d'améliorer la qualité de l'étude. Cependant si l'on veut respecter les temps de repos préconisés entre chaque mesure (29,32), il faudra consacrer d'avantage de temps pour sa mise en place. Trois à cinq prises de mesures pour chaque condition sembleraient convenir (38,41,60).

La création de groupe permettrait d'avoir une référence : le groupe témoin. De plus, chaque sujet ne serait concerné que par une condition ou un type d'étirement (39,72,73). De cette manière l'étude pourrait se réaliser en simple aveugle, voire en double aveugle, ce qui

permettrait de nouvelles améliorations. En effet, en double aveugle, les expérimentateurs pourraient de nouveau administrer les étirements sans influencer les résultats. Il n'y aurait plus la problématique de l'auto-étirement et les sujets auraient toute leur concentration axée sur l'IM.

Dissocier une première séance d'évaluation avec une ou plusieurs autres pour les prises de mesures pourrait préserver les sujets d'une éventuelle fatigue mentale. Dans ce sens, le confort du sujet serait privilégié. Un point indispensable pour étudier correctement des processus mentaux comme l'imagerie du mouvement.

Enfin concernant le matériel utilisé, il existe dans la même marque (TEA) des outils plus précis associant un gyroscope et un accéléromètre. Ces modèles, tels que le CAPTIV Motion, seraient plus performants avec une marge d'erreur moindre, de seulement 1°. Ils offriraient également la possibilité d'étendre les mesures à bien d'autres groupes musculaires. Enfin, bien que la goniométrie soit un bon moyen de mesurer l'AAM (48), elle ne donne pas plus d'information. En 2.4. d'autres méthodes qui permettent l'évaluation de l'étirement ont été détaillées. Leur utilisation pourrait, entre autre, élargir les recherches sur ce sujet.

#### **6.4.2. Dans le prolongement de cette étude**

L'imagerie du mouvement est de plus en plus étudiée dans de nombreuses thématiques (2). Elle montre déjà un fort intérêt à être utilisée comme complément à des techniques de rééducation classique, notamment dans le champ neurologique (12,77). Elle permet d'optimiser la rééducation locomotrice (8), de soulager des douleurs de SRDC (14). Elle améliore également, sur un plan moteur, la confiance en soi et la capacité de contraction (11,15), à tel point que le remplacement de répétitions physiques par des répétitions mentales procure un gain significatif de la récupération musculaire (15).

Cependant, les nombreux bénéfices de l'IM ne sont pas tous connus (11,60), c'est ce que la présente étude a tenté de démontrer en s'intéressant à ses effets immédiats sur des étirements passifs et activo-passifs. Avec celles de Guillot et al. (11) et de Kantack et al. (60), elle constitue un pas supplémentaire dans l'étude de l'IM avec les étirements musculaires. Toutefois, les limites relevées et les propositions d'amélioration apportées doivent être prises en compte pour juger de la qualité des résultats obtenus. Dans ce cadre, l'étude de l'IM avec les étirements a tout intérêt à se diversifier :

- Par des études longitudinales s'intéressant aux effets durables. Si l'application de l'imagerie avec certaines techniques peut avoir un impact instantané sur la flexibilité, qu'en est-il dans le temps ?

- Par l'étude de son impact sur d'autres techniques d'étirements vues en 2.2.2. (CRAC, CREPI, passif long, ect.)
- Par une comparaison des effets sur des méthodes actives (60) par rapport à ceux sur des méthodes passives et/ou activo-passives.
- Par une application de ces protocoles sur différents groupes musculaires (11) afin d'obtenir un avis plus global sur l'effet de l'imagerie.
- Par de futurs projets qui pourraient s'attacher à trouver la place optimale de l'imagerie avec les étirements. Doit-elle être dissociée de ces derniers sous forme de répétitions mentales (11), ou plutôt coupler en tant qu'adjuvant à ceux-ci (60) ?
- Par la compréhension des mécanismes psychologiques et surtout physiologiques de ce couplage (11).

En outre, dans une démarche d'amélioration des pratiques en kinésithérapie, l'étude de l'IM avec les étirements ne doit pas se concentrer seulement sur des sujets jeunes et sains. Elle doit se prolonger sur des états pathologiques dans l'esprit de la recherche de Bovend'eerd et al. (78) et/ou sur des modifications d'états physiologiques (vieillesse, effort, etc.). Ces futures études seront alors confrontées à un aspect peu développé dans ce travail, celui de l'altération des capacités d'imagerie. Effectivement, en tant que processus complexe, l'IM peut s'altérer avec le vieillissement ou lors de certaines pathologies (5,8,15,16). Ces futurs travaux viendraient enrichir les connaissances sur cette capacité mentale qui n'a pas fini de nous surprendre.

## Conclusion

---

L'amélioration des pratiques en kinésithérapie passe indéniablement par l'évolution de ses techniques. Perfectionner celles que nous connaissons et en découvrir de nouvelles devient aujourd'hui un enjeu majeur dans le développement et la reconnaissance du métier. L'étirement fait partie des indispensables, très étudié, et pourtant, son utilisation est parfois décriée. Quant à l'IM, elle est définie comme utile si elle est un complément à d'autres techniques.

A ce propos, cette recherche s'est attachée à observer l'impact de l'IM sur l'efficacité de deux méthodes d'étirements couramment utilisées en kinésithérapie : un étirement passif court et un étirement activo-passif, le Contracter-Relâcher-Etirer (CRE). Bien que nos résultats soient globalement positifs concernant ce couplage, ils ne montrent pas d'intérêt à utiliser l'IM pendant ces types d'étirements, en vue d'améliorer leur performance. En revanche, les évaluations secondaires nous indiquent que cet ajout de l'imagerie n'altère ni la compréhension, ni la réalisation des techniques. De plus, elle semble bien perçue par les sujets et captive leur attention sur l'exercice qu'ils réalisent.

Au vu des intérêts cliniques potentiels qu'offre ce couplage, l'imagerie a tout pour apporter des bénéfices autres que celui d'une amplitude accrue. Nous pouvons donc conclure que, dans nos conditions expérimentales, l'adjonction de l'IM n'a pas apporté le gain attendu. Elle reste tout de même pertinente sur d'autres plans que celui de la performance.

Cette étude constitue l'un des premiers pas dans la recherche sur l'efficacité de la pratique de l'IM pour améliorer les étirements. De ce fait, les mécanismes neurophysiologiques sous-jacents sont encore, pour la plupart méconnus. L'IM reste un concept avec de nombreuses voies inexplorées. Il convient donc de poursuivre ces recherches afin d'en retirer le meilleur et le plus profitable pour la rééducation de nos patients.

## Références bibliographiques

---

1. Feltz DL, Landers DM. The Effects of Mental Practice on Motor Skill Learning and Performance: A Meta-analysis. mars 1983;5(1):25-57.
2. Guillot A, Collet C. Imagerie motrice : principes, concepts et méthodes. *Mov Sport Sci - Sci Mot.* 2013;(82):1-6.
3. Jeannerod M. Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia.* nov 1995;33(11):1419-32.
4. 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.
5. Lotze M, Halsband U. Motor imagery. *J Physiol-Paris.* juin 2006;99(4-6):386-95.
6. Mizuguchi N, Nakata H, Kanosue K. Motor imagery beyond the motor repertoire: Activity in the primary visual cortex during kinesthetic motor imagery of difficult whole body movements. *Neuroscience.* févr 2016;315:104-13.
7. Saimpont A, Mercier C, Malouin F, Guillot A, Collet C, Doyon J, et al. Anodal transcranial direct current stimulation enhances the effects of motor imagery training in a finger tapping task. Thut G, éditeur. *Eur J Neurosci.* janv 2016;43(1):113-9.
8. Malouin F, Saimpont A, Jackson PL, Richards CL. Optimiser la récupération locomotrice par l'imagerie motrice. *Mov Sport Sci - Sci Mot.* 2013;(82):129-41.
9. Guillot A, Lebon F, Collet C. Electromyographic activity during motor imagery. In: *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery.* Oxford University Press; 2010. p. 83-94.
10. Jeannerod M. Neural Simulation of Action: A Unifying Mechanism for Motor Cognition. *NeuroImage.* juill 2001;14(1):S103-9.
11. Guillot A, Tolleron C, Collet C. Does motor imagery enhance stretching and flexibility? *J Sports Sci.* févr 2010;28(3):291-8.
12. Haute Autorité de Santé. RECOMMANDATION DE BONNE PRATIQUE : Accident vasculaire cérébral : méthodes de rééducation de la fonction motrice chez l'adulte. 2012 juin.
13. Williams J, L. Odley J, Callaghan M. Motor imagery boosts proprioceptive neuromuscular facilitation in the retention of range-of-movement at the hip joint. 1 janv 2004;
14. Rulleau T, Toussaint L. L'imagerie motrice en rééducation. *Kinésithérapie Rev.* avr 2014;14(148):51-4.
15. Lebon F, Guillot A, Collet C. Increased Muscle Activation Following Motor Imagery During the Rehabilitation of the Anterior Cruciate Ligament. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* mars 2012;37(1):45-51.

16. Malouin F, Richards CL, Durand A, Doyon J. Reliability of Mental Chronometry for Assessing Motor Imagery Ability After Stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* févr 2008;89(2):311-9.
17. Vibert J-F. *Neurophysiologie: de la physiologie à l'exploration fonctionnelle.* Paris: Elsevier Masson; 2011.
18. Bear MF. *Neurosciences: à la découverte du cerveau.* 2015.
19. Makary MM, Eun S, Park K. Greater corticostriatal activation associated with facial motor imagery compared with motor execution: a functional MRI study. *NeuroReport.* juill 2017;28(10):610-7.
20. Makary MM, Eun S, Soliman RS, Mohamed AZ, Lee J, Park K. Functional topography of the primary motor cortex during motor execution and motor imagery as revealed by functional MRI: *NeuroReport.* août 2017;28(12):731-8.
21. Dietrich A. Imaging the imagination: The trouble with motor imagery. *Methods.* août 2008;45(4):319-24.
22. McAvinue LP, Robertson IH. Measuring motor imagery ability: A review. *Eur J Cogn Psychol.* mars 2008;20(2):232-51.
23. Guillot A, Collet C. Contribution from neurophysiological and psychological methods to the study of motor imagery. *Brain Res Rev.* déc 2005;50(2):387-97.
24. Hoyek N, Collet C, Guillot A. Représentation mentale et processus moteur : le cas de la rotation mentale. *Sci Mot.* 2010;(71):29-39.
25. Lorant J, Nicolas A. Validation de la traduction française du Movement Imagery Questionnaire-Revised (MIQ-R). *Sci Mot.* 2004;(53):57-68.
26. Malouin F, Richards CL, Jackson PL, Lafleur MF, Durand A, Doyon J. The Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ) for Assessing Motor Imagery in Persons with Physical Disabilities: A Reliability and Construct Validity Study: *J Neurol Phys Ther.* mars 2007;31(1):20-9.
27. Gregg M, Hall C, Butler A. The MIQ-RS: A Suitable Option for Examining Movement Imagery Ability. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2010;7(2):249-57.
28. Roberts R, Callow N, Hardy L, Markland D, Bringer J. Movement Imagery Ability: Development and Assessment of a Revised Version of the Vividness of Movement Imagery Questionnaire. *J Sport Exerc Psychol.* avr 2008;30(2):200-21.
29. Portero P, McNair P. Les étirements musculo-tendineux : des données scientifiques à une pratique raisonnée. *Kinésithérapie Rev.* août 2015;15(164-165):32-40.
30. Geoffroy C. Méthodes et positions d'étirements : logique, précision et individualisation pour plus d'efficacité. *Kinésithérapie Rev.* août 2015;15(164-165):41-52.
31. Gedda M. Les étirements musculo-tendineux : vérités et réalités d'experts. *Kinésithérapie Rev.* août 2015;15(164-165):23-4.

32. Nordez A. Caractérisation et modélisation du comportement mécanique du complexe musculo-articulaire en conditions passives. Influence de protocoles d'étirements cyclique et statique. Nantes; 2006.
33. Cuissard N, Duchateau J, Hainaut K. Muscle stretching and motoneuron excitability. *Eur J Appl Physiol.* 1988;58(1-2):47-52.
34. Nishikawa Y, Aizawa J, Kanemura N, Takahashi T, Hosomi N, Maruyama H, et al. Immediate effect of passive and active stretching on hamstrings flexibility: a single-blinded randomized control trial. *J Phys Ther Sci.* 2015;27(10):3167-70.
35. Zakaria A, Rao G, Buragadda M and S. Efficacy of Pnf Stretching Techniques on Hamstring Tightness in Young Male Adult Population. *World J Med Sci.* 2012;7(1):23-6.
36. Nelson KC, Cornelius WL. The relationship between isometric contraction durations and improvement in shoulder joint range of motion. *J Sports Med Phys Fitness.* sept 1991;31(3):385-8.
37. Feland JB. Effect of submaximal contraction intensity in contract-relax proprioceptive neuromuscular facilitation stretching. *Br J Sports Med.* 1 août 2004;38(4):e18-e18.
38. Bonnar BP, Deivert RG, Gould TE. The relationship between isometric contraction durations during hold-relax stretching and improvement of hamstring flexibility. *J Sports Med Phys Fitness.* sept 2004;44(3):258-61.
39. Schmitt GD, Pelham TW, Holt LE. A comparison of selected protocols during proprioceptive neuromuscular facilitation stretching. Vol. 53. 1999. 16 p.
40. Funk DC, Swank AM, Mikla BM, Fagan TA, Farr BK. Impact of prior exercise on hamstring flexibility: a comparison of proprioceptive neuromuscular facilitation and static stretching. *J Strength Cond Res.* août 2003;17(3):489-92.
41. Etnyre BR, Abraham LD. Gains in range of ankle dorsiflexion using three popular stretching techniques. *Am J Phys Med.* août 1986;65(4):189-96.
42. Ferber R, Osternig L, Gravelle D. Effect of PNF stretch techniques on knee flexor muscle EMG activity in older adults. *J Electromyogr Kinesiol Off J Int Soc Electrophysiol Kinesiol.* oct 2002;12(5):391-7.
43. O'Hora J, Cartwright A, Wade CD, Hough AD, Shum GL. Efficacy of Static Stretching and Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretch on Hamstrings Length After a Single Session: *J Strength Cond Res.* juin 2011;25(6):1586-91.
44. Portero P, Farcy S, Rabita G. Évaluation de l'extensibilité du système musculo-articulaire humain in vivo. *Kinésithérapie Rev.* août 2015;15(164-165):25-31.
45. Zajac FE. Muscle and tendon: properties, models, scaling, and application to biomechanics and motor control. *Crit Rev Biomed Eng.* 1989;17(4):359-411.
46. Axelson HW, Hagbarth K-E. Human motor control consequences of thixotropic changes in muscular short-range stiffness. *J Physiol.* août 2001;535(1):279-88.

47. Farley CT, Morgenroth DC. Leg stiffness primarily depends on ankle stiffness during human hopping. *J Biomech.* mars 1999;32(3):267-73.
48. Morse CI, Degens H, Seynnes OR, Maganaris CN, Jones DA. The acute effect of stretching on the passive stiffness of the human gastrocnemius muscle tendon unit: Stretching and muscle stiffness. *J Physiol.* 1 janv 2008;586(1):97-106.
49. Guissard N, Duchateau J, Hainaut K. Mechanisms of decreased motoneurone excitation during passive muscle stretching. *Exp Brain Res.* 19 mars 2001;137(2):163-9.
50. Prevost P. La souplesse. Technique d'amélioration : fondements physiologiques. juin 2002;(39).
51. McNair PJ, Hewson DJ, Dombroski E, Stanley SN. Stiffness and passive peak force changes at the ankle joint: the effect of different joint angular velocities. *Clin Biomech Bristol Avon.* août 2002;17(7):536-40.
52. Gajdosik RL, Vander Linden DW, McNair PJ, Riggin TJ, Albertson JS, Mattick DJ, et al. Viscoelastic properties of short calf muscle-tendon units of older women: effects of slow and fast passive dorsiflexion stretches in vivo. *Eur J Appl Physiol.* oct 2005;95(2-3):131-9.
53. Purves D, éditeur. *Neuroscience.* 5th ed. Sunderland, Mass: Sinauer Associates; 2012. 1 p.
54. Bhattacharyya K. The stretch reflex and the contributions of C David Marsden. *Ann Indian Acad Neurol.* 2017;20(1):1.
55. *Physiologie humaine: les mécanismes du fonctionnement de l'organisme.* Paris: Maloine; 2012.
56. Collet C. *Mouvements & cerveau: neurophysiologie des activités physiques et sportives.* Paris: De Boeck Université; 2002.
57. Shindo M, Harayama H, Kondo K, Yanagisawa N, Tanaka R. Changes in reciprocal Ia inhibition during voluntary contraction in man. *Exp Brain Res [Internet].* janv 1984 [cité 9 mars 2019];53(2). Disponible sur: <http://link.springer.com/10.1007/BF00238170>
58. Nielsen J, Kagamihara Y. The regulation of disynaptic reciprocal Ia inhibition during co-contraction of antagonistic muscles in man. *J Physiol.* 1 oct 1992;456(1):373-91.
59. Berthe J. Contrôle corticospinal sur les circuits neuronaux spinaux au cours de la locomotion chez l'homme [Internet] [Neurosciences [q-bio.NC]]. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI; 2014. Disponible sur: <NNT : 2014PA066171>. <tel-01087146>
60. Kanthack TFD, Guillot A, Papaxanthis C, Guizard T, Collet C, Rienzo FD. Neurophysiological insights on flexibility improvements through motor imagery. *Behav Brain Res.* juill 2017;331:159-68.
61. Cueff V. *Les étirements musculaires: garder et retrouver la forme après quarante ans.* 2017.

62. Chen J, Yang L, Zhang Z, Ma W, Xing-qu W, Zhang X, et al. The association between the disruption of motor imagery and the number of depressive episodes of major depression. *J Affect Disord.* sept 2013;150(2):337-43.
63. Bennabi D, Monnin J, Haffen E, Carvalho N, Vandel P, Pozzo T, et al. Motor Imagery in Unipolar Major Depression. *Front Behav Neurosci* [Internet]. 4 déc 2014 [cité 5 nov 2018];8. Disponible sur: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnbeh.2014.00413/abstract>
64. Heremans E, D'hooge A-M, De Bondt S, Helsen W, Feys P. The relation between cognitive and motor dysfunction and motor imagery ability in patients with multiple sclerosis. *Mult Scler J.* sept 2012;18(9):1303-9.
65. Prevost P. Intérêt et limites des étirements lors de la préparation physique dans les activités gymniques. 1 déc 2003;
66. Physiopedia contributors. Beighton score [Internet]. Physiopedia. 2017. Disponible sur: [https://www.physio-pedia.com/index.php?title=Beighton\\_score&oldid=174264](https://www.physio-pedia.com/index.php?title=Beighton_score&oldid=174264)
67. Kroenke K, Spitzer RL, Williams JB. The PHQ-9: validity of a brief depression severity measure. *J Gen Intern Med.* sept 2001;16(9):606-13.
68. Delbarre Grossemy I. Goniométrie: manuel d'évaluation des amplitudes articulaires des membres et du rachis. Issy-les-Moulineaux (Hauts-de-Seine): Elsevier Masson; 2008.
69. Borg G, Ljunggren G, Ceci R. The increase of perceived exertion, aches and pain in the legs, heart rate and blood lactate during exercise on a bicycle ergometer. *Eur J Appl Physiol.* oct 1985;54(4):343-9.
70. Rainoldi A, Melchiorri G, Caruso I. A method for positioning electrodes during surface EMG recordings in lower limb muscles. *J Neurosci Methods.* mars 2004;134(1):37-43.
71. Bovend'Eerdt TJ, Dawes H, Sackley C, Izadi H, Wade DT. Mental techniques during manual stretching in spasticity — a pilot randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* févr 2009;23(2):137-45.
72. Davis DS, Ashby PE, McCale KL, McQuain JA, Wine JM. The Effectiveness of 3 Stretching Techniques on Hamstring Flexibility Using Consistent Stretching Parameters. *J Strength Cond Res.* 2005;19(1):27.
73. Fasen JM, O'Connor AM, Schwartz SL, Watson JO, Plastaras CT, Garvan CW, et al. A Randomized Controlled Trial of Hamstring Stretching: Comparison of Four Techniques: *J Strength Cond Res.* mars 2009;23(2):660-7.
74. Callow N, Roberts R. Imagery research: An investigation of three issues. *Psychol Sport Exerc.* juill 2010;11(4):325-9.
75. Pierrot-Deseilligny E, Morin C, Bergego C, Tankov N. Pattern of group I fibre projections from ankle flexor and extensor muscles in man. *Exp Brain Res* [Internet]. mai 1981 [cité 9 mars 2019];42-42(3-4). Disponible sur: <http://link.springer.com/10.1007/BF00237499>

76. Boorman GI, Lee RG, Becker WJ, Windhorst UR. Impaired “natural reciprocal inhibition” in patients with spasticity due to incomplete spinal cord injury. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Mot Control.* avr 1996;101(2):84-92.
77. Bae Y-H, Ko Y, Ha H, Ahn SY, Lee W, Lee SM. An efficacy study on improving balance and gait in subacute stroke patients by balance training with additional motor imagery: a pilot study. *J Phys Ther Sci.* 2015;27(10):3245-8.
78. Bovend'Eerdt TJ, Dawes H, Sackley C, Izadi H, Wade DT. Mental techniques during manual stretching in spasticity -- a pilot randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 1 févr 2009;23(2):137-45.

## Annexes

---

Annexe I. Questionnaire sur les critères d'exclusions .....	78
Annexe II. Score de Beighton .....	79
Annexe III. PHQ-9.....	80
Annexe IV. Test de latéralité .....	81
Annexe IV.I. Test de latéralité de Waterloo.....	81
Annexe IV.II. Test de latéralité dynamique .....	82
Annexe V. KVIQ-10.....	83
Annexe V.I. Directives .....	83
Annexe V.II. Description du test .....	84
Annexe VI. Echauffement .....	87
Annexe VII. Répartition aléatoire des conditions .....	88
Annexe VIII. Visualisation du protocole .....	89
Annexe IX. Matériel utilisé pour l'expérimentation .....	90
Annexe IX.I. Description.....	90
Annexe IX.II. Utilisation .....	91
Annexe X. Description standardisée des conditions.....	92
Annexe XI. Evaluations secondaires.....	95
Annexe XI.I. Evaluation du ressenti somatique et psychologique .....	95
Annexe XI.II. Evaluation de la qualité d'imagerie (vivacité).....	96
Annexe XI.III. Evaluation de la difficulté de compréhension et de réalisation.....	97

## Annexe I. Questionnaire sur les critères d'exclusions

### Questionnaire sur les critères d'exclusions

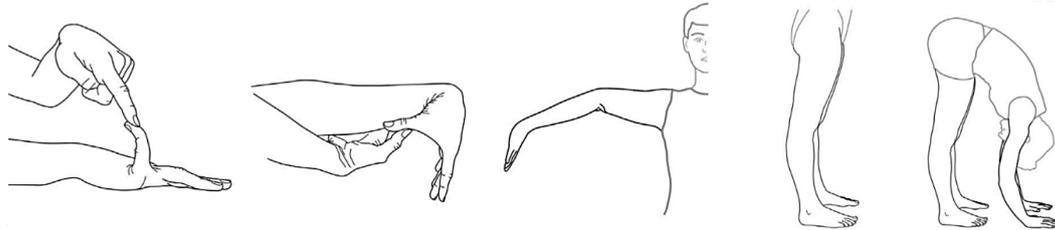
- Veuillez indiquer votre **NOM, Prénom, classe** et **âge**
- Présentez-vous un des états suivants au niveau de vos jambes ? **OUI / NON**
  - Pathologie ou état inflammatoire
  - Douleurs de type neurologiques (sensation de brûlure, d'électricité, picotements, fourmillements, hypersensibilité anormale, etc.)
  - Atteinte musculaire plus importante qu'une courbature
  - Fracture et/ou chirurgie il y a moins de 3 mois
- Participez-vous ou avez-vous participé récemment, à un programme sportif (type postures et sur plusieurs semaines) qui améliore significativement vos capacités d'étirements des membres inférieurs ? **OUI / NON**
- Présentez-vous une hyperlaxité déjà **objectivé** (par un score ou un test spécifique) ?  
**OUI / NON**
- Prenez-vous des myorelaxants ? **OUI / NON**

Si vous avez un doute sur un médicament, veuillez indiquer son nom : **MEDICAMENT**
- Prenez-vous des médicaments particuliers de types hypnotiques, benzodiazépines, morphiniques, opiacés, etc. ? **OUI / NON**

Si vous avez un doute sur un médicament, veuillez indiquer son nom : **MEDICAMENT**
- Avez-vous subi une anesthésie récemment ? **OUI / NON**

**Si OUI, il y a combien de temps ?** *Un décalage du rendez-vous est possible dans ce cas*

## Annexe II. Score de Beighton



**Figure 2.** The Beighton scoring system. Each joint is measured using a goniometer and each side is scored independently as outlined [Juul-Kristensen et al., 2007]. (A) With the palm of the hand and forearm resting on a flat surface with the elbow flexed at 90°, if the metacarpal-phalangeal joint of the fifth finger can be hyperextended more than 90° with respect to the dorsum of the hand, it is considered positive, scoring 1 point. (B) With arms outstretched forward but hand pronated, if the thumb can be passively moved to touch the ipsilateral forearm it is considered positive scoring 1 point. (C) With the arms outstretched to the side and hand supine, if the elbow extends more than 10°, it is considered positive scoring 1 point. (D) While standing, with knees locked in genu recurvatum, if the knee extends more than 10°, it is considered positive scoring 1 point. (E) With knees locked straight and feet together, if the patient can bend forward to place the total palm of both hands flat on the floor just in front of the feet, it is considered positive scoring 1 point. The total possible score is 9. Figure courtesy of Dr. Juul-Kristensen.

CLINICAL MANEUVER	UNABLE TO PERFORM (0 POINTS)	ABLE TO PERFORM (1 POINT)
Apposition of thumb to forearm		
Right	0	1
Left	0	1
Extension of fifth finger beyond 90 degrees		
Right	0	1
Left	0	1
Extension of elbow beyond 10 degrees		
Right	0	1
Left	0	1
Extension of knee beyond 10 degrees		
Right	0	1
Left	0	1
Forward flexion of trunk, legs straight, palms touching floor	0	1
<b>Total Beighton Score</b> (sum of points for each maneuver)	0 to 9 points	

## Annexe III. PHQ-9

# QUESTIONNAIRE SUR LA SANTÉ DU PATIENT – 9 (PHQ-9)

Au cours des 2 dernières semaines, selon quelle fréquence avez-vous été gêné(e) par les problèmes suivants ?

(Veuillez cocher (✓) votre réponse)

	Jamais	Plusieurs jours	Plus de la moitié du temps	Presque tous les jours
1. Peu d'intérêt ou de plaisir à faire les choses	0	1	2	3
2. Être triste, déprimé(e) ou désespéré(e)	0	1	2	3
3. Difficultés à s'endormir ou à rester endormi(e), ou dormir trop	0	1	2	3
4. Se sentir fatigué(e) ou manquer d'énergie	0	1	2	3
5. Avoir peu d'appétit ou manger trop	0	1	2	3
6. Avoir une mauvaise opinion de soi-même, ou avoir le sentiment d'être nul(le), ou d'avoir déçu sa famille ou s'être déçu(e) soi-même	0	1	2	3
7. Avoir du mal à se concentrer, par exemple, pour lire le journal ou regarder la télévision	0	1	2	3
8. Bouger ou parler si lentement que les autres auraient pu le remarquer. Ou au contraire, être si agité(e) que vous avez eu du mal à tenir en place par rapport à d'habitude	0	1	2	3
9. Penser qu'il vaudrait mieux mourir ou envisager de vous faire du mal d'une manière ou d'une autre	0	1	2	3

FOR OFFICE CODING   0   +        +        +         
=Total Score:       

Si vous avez coché au moins un des problèmes évoqués, à quel point ce(s) problème(s) a-t-il (ont-ils) rendu votre travail, vos tâches à la maison ou votre capacité à vous entendre avec les autres difficile(s) ?

Pas du tout difficile(s)	Assez difficile(s)	Très difficile(s)	Extrêmement difficile(s)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Développé par les Dr Robert L. Spitzer, Janet B.W. Williams, Kurt Kroenke et leurs collègues grâce à une allocation d'études de Pfizer Inc. La reproduction, la traduction, l'affichage ou la distribution de ce document sont autorisés.

## Annexe IV. Test de latéralité

### Annexe IV.I. Test de latéralité de Waterloo

ITEMS	Gauche toujours	Gauche souvent	Equivalent	Droite souvent	Droite toujours
1- Quel pied utilisez-vous pour frapper un ballon fixe afin de l'envoyer dans une cible en face de vous ?	<input type="checkbox"/>				
2- Si vous devez vous tenir sur un pied, lequel utiliseriez-vous ?	<input type="checkbox"/>				
3- Avec quel pied lissez-vous le sable à la plage ?	<input type="checkbox"/>				
4- Si vous devez monter sur une chaise, quel pied allez-vous poser en premier sur la chaise ?	<input type="checkbox"/>				
5- Avec quel pied écrasez-vous un insecte qui avance rapidement ?	<input type="checkbox"/>				
6- Si vous aviez à tenir en équilibre sur une poutre, quel pied utiliseriez-vous ?	<input type="checkbox"/>				
7- Si vous avez à attraper quelque chose avec vos orteils, quel pied utiliseriez-vous ?	<input type="checkbox"/>				
8- Si vous avez à sauter sur un pied, lequel utiliseriez-vous ?	<input type="checkbox"/>				
9- Quel pied utiliseriez-vous pour enfoncer une pelle dans le sol ?	<input type="checkbox"/>				
10- Vous êtes debout et vous vous mettez dans une position moins fatigante où vous transférez votre poids sur une jambe pour soulager l'autre. Sur quelle jambe mettez-vous le plus de poids ?	<input type="checkbox"/>				

## Annexe IV.II. Test de latéralité dynamique

### Test de latéralité dynamique (basé sur le test de Waterloo)

Répondez à chacune des questions suivantes du mieux que vous le pouvez.

- Si vous utilisez **toujours le même pied** pour réaliser l'activité décrite, cocher la colonne **droite toujours** ou **gauche toujours**.
- Si vous utilisez **souvent un pied** plus que l'autre cocher la **colonne droite souvent** ou **gauche souvent**.
- Si vous utilisez les **deux pieds régulièrement**, cocher la **colonne équivalent**.

Imaginez-vous effectuer chaque activité à tour de rôle, puis marquer la réponse appropriée. Si nécessaire, vous pouvez mimer l'activité.

ITEMS	Gauche toujours (2)	Gauche souvent (1)	Equivalent (0)	Droite souvent (1)	Droite toujours (2)
1- Quel pied utilisez-vous pour frapper un ballon fixe afin de l'envoyer dans une cible en face de vous ?	<input type="checkbox"/>				
3- Avec quel pied lissez-vous le sable à la plage ?	<input type="checkbox"/>				
5- Avec quel pied écrasez-vous un insecte qui avance rapidement ?	<input type="checkbox"/>				
7- Si vous avez à attraper quelque chose avec vos orteils quel pied utiliseriez-vous ?	<input type="checkbox"/>				
9- Quel pied utiliseriez-vous pour enfoncer une pelle dans le sol ?	<input type="checkbox"/>				

#### Si pas de dominance dynamique explicite (égalité droite-gauche) :

2- Si vous devez vous tenir sur un pied, lequel utiliseriez-vous ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--	--------------------------	--------------------------	---	--------------------------	--------------------------

## Annexe V. KVIQ-10

### Annexe V.I. Directives

## Questionnaire d'Imagerie Visuelle et Kinesthésique (QVIK)

(Directives adaptées par A. Saimpont)

### **Familiarisation :**

*Cette phase ne fait pas partie du questionnaire proprement dit mais nous la rajoutons car elle permet au sujet de se familiariser avec l'imagerie. Prendre le temps ici de questionner le sujet sur ses impressions.*

*Le sujet est en position assise, les avant-bras sur une table, les coudes fléchis. Un objet (ex portable) est placé à environ 40 cm devant lui.*

### *Imagerie visuelle*

« Touchez l'objet avec votre main droite puis revenez à votre position de départ, trois fois de suite, à votre rythme. Regardez votre main lorsque vous faites ce mouvement »

« Imaginez maintenant que vous faites le même mouvement en essayant de visualiser le déplacement de votre main, comme si vous observiez votre main faire le mouvement. »

« Est-ce que vous y arrivez? » *Si non, refaire un essai*

« Que-est ce que vous voyez? »

### *Imagerie kinesthésique*

« Touchez l'objet avec votre main droite puis revenez à votre position de départ, trois fois de suite, à votre rythme. Concentrez-vous sur vos sensations (contractions, étirements au niveau de l'épaule, du bras, etc.) lorsque vous faites ce mouvement »

« Imaginez maintenant que vous faites le même mouvement en essayant de percevoir les sensations que vous ressentez lors que vous faites ce mouvement »

« Est-ce que vous y arrivez? » *Si non, refaire un essai*

« Que-est ce que vous percevez? »

### **Directives :**

« L'imagerie motrice consiste à se représenter mentalement des gestes sans qu'aucun mouvement ne soit produit. Ce questionnaire tente de déterminer la façon dont les gens sont capables de visualiser et ressentir des mouvements lorsqu'ils les imaginent. Il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse.

Pour chacun des mouvements que vous aurez à imaginer, nous procéderons de la façon suivante. D'abord on vous demandera d'effectuer physiquement un mouvement une seule fois, selon des consignes précises, et tel que je vous le démontrerai. Ensuite, vous devrez imaginer le mouvement que vous venez de faire, sans l'exécuter.

Dans un premier temps vous imaginerez les mouvements en essayant de visualiser ce que vous voyez lorsque vous effectuez physiquement ces mouvements. Il vous sera demandé d'évaluer sur une échelle la clarté de vos images.

Dans un deuxième temps vous imaginerez les mouvements en essayant de percevoir les tensions, étirements, contractions musculaires que vous ressentez quand vous effectuez physiquement ces mouvements. Il vous sera demandé d'évaluer sur une échelle l'intensité de vos sensations. »

## Annexe V.II. Description du test

### Liste des items du KVIQ-10 ou QVIK en comparaison au KVIQ-20 :

<u>KVIQ-20</u>	<u>Mouvements</u>	<u>KVIQ-10</u>
1V 1K	Flexion/extension de la tête	
2V 2K	Haussement des épaules	
3Vnd 3Knd	Élévation du bras à la verticale	3Vnd 3Knd
4Vd 4Kd	Flexion du coude	
5Vd 5Kd	Opposition pouce-doigts	5Vd 5Kd
<i>*Répétez les gestes #3, #4, #5 du côté opposé*</i>		
6V 6K	Flexion antérieure du tronc	6V 6K
7Vnd 7Knd	Extension du genou	
8Vd 8Kd	Abduction de la jambe	8Vd 8Kd
9Vnd 9Knd	Taper du pied	9Vnd 9Knd
10Vd 10Kd	Rotation externe du pied	
<i>*Répétez les mouvements #7, #8, #9, #10 du côté opposé*</i>		

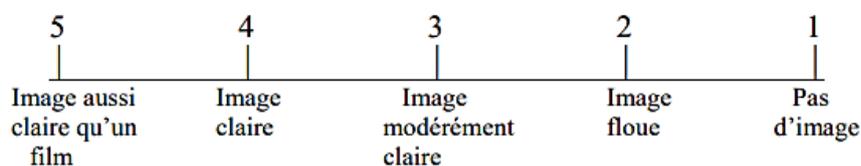
*d: dominant nd: non-dominant*

*\* Si évaluation bilatérale des gestes des membres*

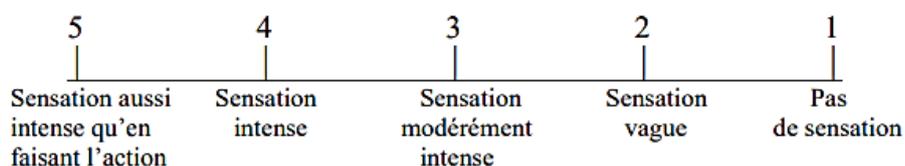
### Pour la réalisation de chaque item :

1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses.
2. Exécutez le mouvement demandé (exemple de l'item 3Vnd) :  
Levez votre bras non-dominant (ex: le bras gauche si vous êtes droitier et vice-versa) vers le haut en le gardant tendu et devant vous jusqu'à ce qu'il soit à la verticale.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez ce mouvement. Concentrez-vous sur les images (si IVI) ou les sensations (si IMK).
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez d'imaginer :

### Échelle d'imagerie visuelle



### Échelle d'imagerie kinesthésique



Projet \_\_\_\_\_

ID participant : \_\_\_\_\_

Date: \_\_/\_\_/\_\_

Dominance manuelle G  D

Dominance pédestre G  D

## ÉCHELLE VISUELLE

Vous allez imaginer différents mouvements en essayant de visualiser ce vous voyez quand vous effectuez physiquement ces mouvements. Vous coterez la clarté des images que vous aurez formées selon l'échelle suivante :



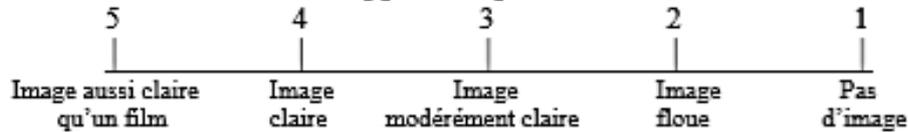
**Item 3Vnd Élévation du bras à la verticale**

G  D

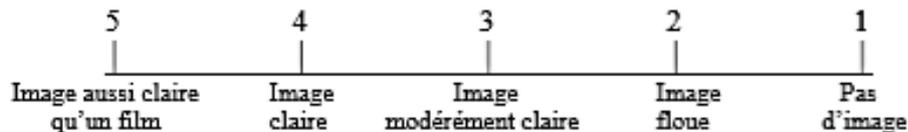


**Item 5Vd Mouvement d'opposition pouce-index**

G  D



**Item 6V Flexion antérieure du tronc**



**Item 8Vd Abduction de la jambe**

G  D



**Item 9Vnd Taper du pied**

G  D



Projet \_\_\_\_\_

ID participant : \_\_\_\_\_

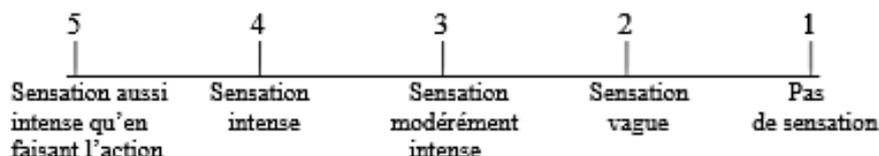
Date: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Dominance manuelle G  D

Dominance pédestre G  D

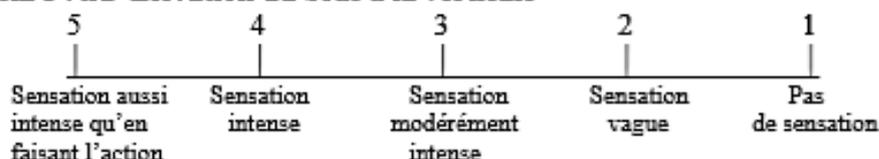
## ÉCHELLE KINESTHÉSIQUE

Vous allez maintenant imaginer les différents mouvements en essayant de percevoir les sensations que vous ressentez quand vous effectuez physiquement ces mouvements. Vous coterez l'intensité des sensations que vous aurez perçues selon l'échelle suivante :



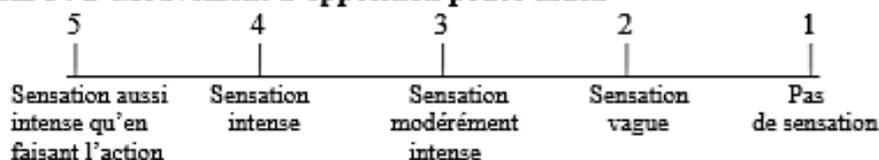
**Item 3Vnd Élévation du bras à la verticale**

G  D

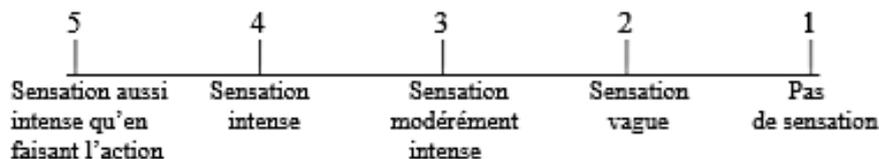


**Item 5Vd Mouvement d'opposition pouce-index**

G  D

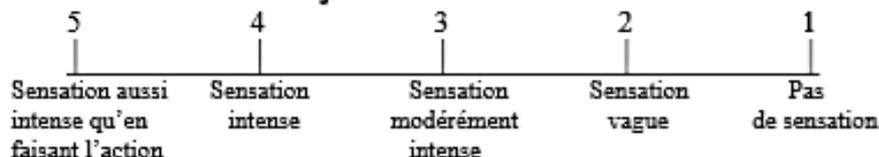


**Item 6V Flexion antérieure du tronc**



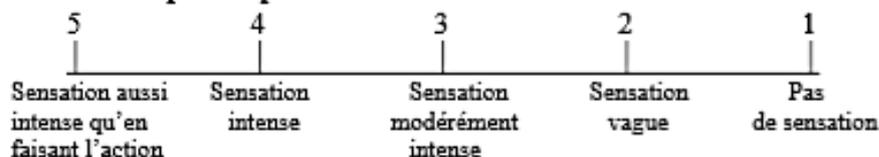
**Item 8Vd Abduction de la jambe**

G  D



**Item 9Vnd Taper du pied**

G  D



## Annexe VI. Echauffement

### Echauffement

Il se constitue d'une série d'exercices sans temps de pause. Il est répété 2 fois avec 1min de pause entre les 2 séries.

- Talon fesse : x20
- Montée de genou : x20
- Squat : x10
- Jumping Jack: x20
- Fente avant : x10
- Gainage antérieur : 30s
- Pompe mur facile : x10
- Saut pliométrique à pied joint : x6

## Annexe VII. Répartition aléatoire des conditions

### Répartition aléatoire des conditions

Chaque condition doit être présente une seule fois par répartition, la combinaison des 4 doit être différente à chaque fois. Ce qui donne 24 possibilités :

<b>ABCD</b>	<b>BCDA</b>	<b>CDAB</b>	<b>DABC</b>
<b>ABDC</b>	<b>BCAD</b>	<b>CDBA</b>	<b>DACB</b>
<b>ADBC</b>	<b>BACD</b>	<b>CBAD</b>	<b>DBAC</b>
<b>ADCB</b>	<b>BADC</b>	<b>CBDA</b>	<b>DBCA</b>
<b>ACDB</b>	<b>BDAC</b>	<b>CADB</b>	<b>DCBA</b>
<b>ACBD</b>	<b>BDCA</b>	<b>CABD</b>	<b>DCAB</b>

- ❖ **Condition A** : étirement passif court avec tâche cognitive
- ❖ **Condition B** : étirement passif court avec IM
- ❖ **Condition C** : CRE avec tâche cognitive
- ❖ **Condition D** : CRE avec IM

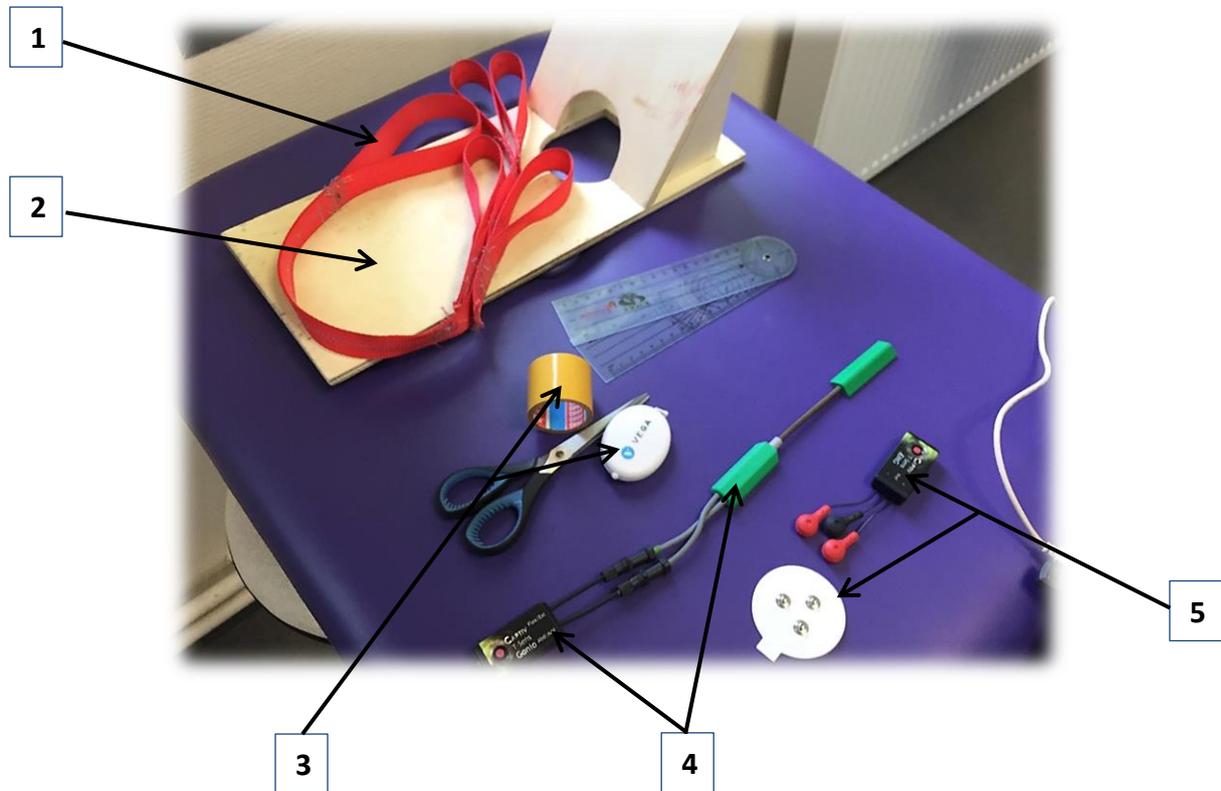
## Annexe VIII. Visualisation du protocole



1. Ordinateur avec le logiciel CAPTIV® pour l'enregistrement simultané des données d'AAM et d'EMGs.
2. Le T-DAC réceptionne les informations des capteurs et les transmet au logiciel CAPTIV®.
3. Ordinateur avec un tableur (Google Sheets) pour le recueil des données.

## Annexe IX. Matériel utilisé pour l'expérimentation

### Annexe IX.I. Description



1. Sangle rigide artisanale. La partie distale était positionnée sur l'avant pied (tête des métatarsiens). La partie proximale était composée de 2 niveaux de poignées.

2. Support d'étalonnage avec un angle de  $115^\circ$  (position anatomique de référence).

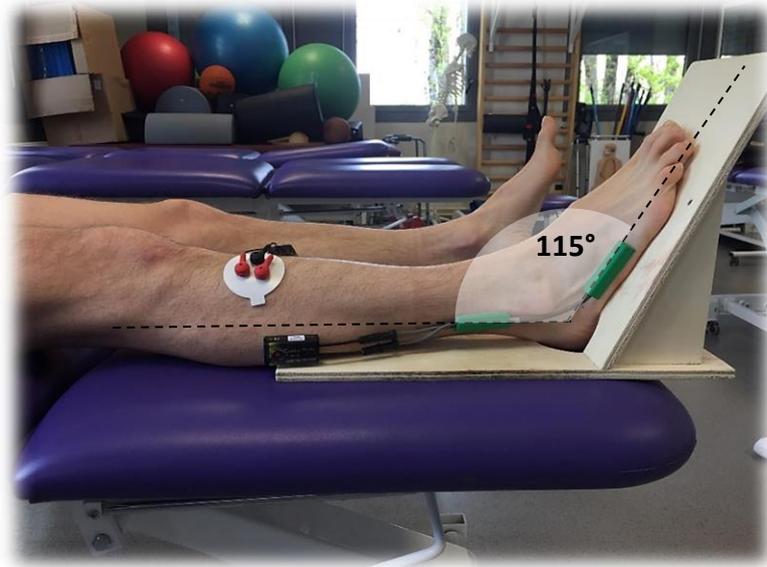
3. Scotch double face pour la fixation du goniomètre électronique. Mètre ruban pour mesurer la distance entre la tubérosité tibiale antérieure et la ligne inter-malléolaire antérieure afin de calculer le positionnement de l'électrode d'EMGs.

4. Goniomètre électronique SG110 de TEA. Il se compose d'un boîtier d'enregistrement (en noir) et d'un capteur (en vert) fixé à l'aide du scotch double face sur les repères osseux.

5. Capteur d'électromyographie de surface (EMGs) de TEA. Il se compose d'un boîtier d'enregistrement venant se brancher sur une électrode bipolaire jetable.

## Annexe IX.II. Utilisation

Cette première image illustre un étalonnage du goniomètre, à l'aide du support prévu à cet effet. Le capteur d'EMGs est positionné sur la partie proximale du corps musculaire du TA. Le goniomètre a sa branche fixe positionnée au-dessus de la malléole latérale (alignée à l'axe reliant cette dernière à la tête fibulaire). Sa branche mobile est fixée sur le Ve métatarsien. Lors de l'étalonnage, l'angle entre ses deux branches est de 115°.



Cette seconde image expose un sujet en train de réaliser un auto-étirement du TS à l'aide de la sangle rigide. Durant celui-ci, les capteurs (EMGs et goniomètre) enregistrent simultanément l'amplitude articulaire de la cheville et l'activité musculaire de son TA.



## Annexe X. Description standardisée des conditions

### Consignes :

#### Avant de poursuivre vous devez savoir que :

- Une condition est une technique d'étirement particulière que vous allez vous-même réaliser au niveau de votre mollet.
- Les conditions durent chacune 20 secondes et sont espacées de 5 min de pause.
- Le papier que vous venez de tirer contient l'ordre de réalisation des conditions.
- Vous aurez connaissance d'une condition seulement avant de la réaliser.
- Votre objectif sera à chaque fois d'aller du mieux possible, rejoindre votre amplitude articulaire maximale (de la cheville en flexion dorsale). Cette amplitude s'obtient en fonction de la douleur perçue et dans les dernières secondes.
- Pour les conditions contenant de l'imagerie motrice, **vous devrez garder les yeux fermés (comme lors du test)**. L'imagerie demandée est de modalité kinesthésique, c'est-à-dire qu'elle est axée sur des sensations, du ressenti.

**Nous commencerons la condition quand celle-ci sera bien comprise**

## Description des conditions

### ❖ Condition A : étirement passif court de 20 secondes avec tâche cognitive :

Durant 20 secondes, vous allez devoir vous étirer passivement votre mollet à l'aide de cette sangle. Passivement signifie qu'il ne doit y avoir aucune contraction musculaire au niveau de votre jambe. C'est seulement la traction exercée par vos bras sur la sangle qui doit le permettre.

Le mouvement doit être une flexion dorsale stricte, et doit donc s'effectuer seulement au niveau de la cheville. L'étirement doit être progressif et constant.

#### ***Démonstration***

Pendant toute la durée de l'étirement, vous allez devoir effectuer un décompte de 3 en 3 à partir de 100. Cependant, veillez à effectuer au mieux l'étirement demandé.

### ❖ Condition B : étirement passif de 20 secondes avec imagerie motrice :

Durant 20 secondes, vous allez devoir vous étirer passivement votre mollet à l'aide de cette sangle. Passivement signifie qu'il ne doit y avoir aucune contraction musculaire au niveau de votre jambe. C'est seulement la traction exercée par vos bras sur la sangle qui doit le permettre.

Le mouvement doit être une flexion dorsale stricte, et doit donc s'effectuer seulement au niveau de la cheville. L'étirement doit être progressif et constant.

#### ***Démonstration***

Pendant toute la durée de l'étirement, vous devrez également fermer les yeux et réaliser une imagerie motrice kinesthésique allant dans le sens de l'étirement :

- **Tout au long de l'étirement, fermer les yeux et concentrez-vous sur les sensations réelles que celui-ci vous procure. Puis, imaginez et ressentez votre muscle s'allonger comme deux points qui s'écartent.**

### ❖ Condition C : Contracté-Relâché-Etiré de 20 secondes avec tâche cognitive :

Pour effectuer cette technique vous allez devoir mettre votre mollet en tension à l'aide de cette sangle, puis à partir de cette position réaliser une contraction isométrique (c'est-à-dire sans mouvement) de 8 secondes. Cette contraction n'a pas besoin d'être maximale.

Il vous faudra ensuite relâcher lentement (environ 2 secondes), puis étirer passivement votre mollet pendant 10 secondes. Passivement signifie qu'il ne doit y avoir aucune contraction musculaire au niveau de votre jambe. C'est seulement la traction exercée par vos bras sur la sangle qui doit le permettre.

Le mouvement doit être une flexion dorsale stricte, et doit donc s'effectuer seulement au niveau de la cheville. L'étirement doit être progressif et constant.

### ***Démonstration***

#### **Les différents temps de cette technique vous seront rappelés**

Pendant la durée de l'étirement (c'est-à-dire les 10 dernières secondes), vous allez devoir effectuer un décompte de 3 en 3 à partir de 100. Cependant veillez à effectuer au mieux l'étirement demandé

#### **❖ Condition D : Contracté-Relâché-Etiré de 20 secondes avec imagerie motrice :**

Pour effectuer cette technique vous allez devoir mettre votre mollet en tension, puis à partir de cette position réaliser une contraction isométrique (c'est-à-dire sans mouvement) de 8 secondes. Cette contraction n'a pas besoin d'être maximale.

Il vous faudra ensuite relâcher lentement (environ 2 secondes), puis étirer passivement votre mollet pendant 10 secondes. Passivement signifie qu'il ne doit y avoir aucune contraction musculaire au niveau de votre jambe. C'est seulement la traction exercée par vos bras sur la sangle qui doit le permettre.

Le mouvement doit être une flexion dorsale stricte, et doit donc s'effectuer seulement au niveau de la cheville. L'étirement doit être progressif et constant.

### ***Démonstration***

#### **Les différents temps de cette technique vous seront rappelés**

Pendant la durée de l'étirement (c'est-à-dire les 10 dernières secondes), vous devrez également fermer les yeux et réaliser une imagerie motrice kinesthésique allant dans le sens de l'étirement :

- **Pendant l'étirement (les 10 dernières secondes), fermer les yeux et concentrez-vous sur les sensations réelles que celui-ci vous procure. Puis, imaginez et ressentez votre muscle s'allonger comme deux points qui s'écartent.**

## Annexe XI. Evaluations secondaires

### Annexe XI.I. Evaluation du ressenti somatique et psychologique

#### Echelle de Borg modifiée sur la pénibilité ou l'inconfort ressenti

Veillez noter de 0 à 10 la pénibilité / l'inconfort ressenti(e) durant l'étirement que vous venez d'effectuer.

Cela comprend votre ressenti corporel/somatique ainsi que votre ressenti psychologique.

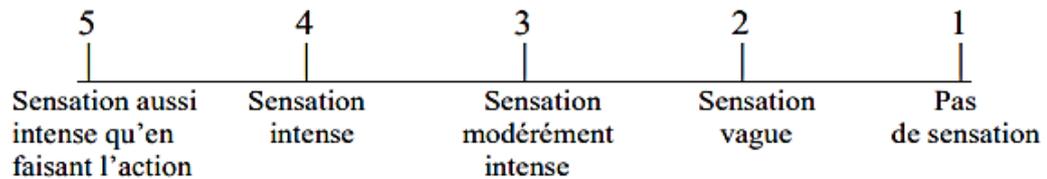
<b>Cote</b>	<b>Pénibilité</b>
<b>0</b>	<b>Aucune</b>
<b>1</b>	<b>Très très peu</b>
<b>2</b>	<b>Très peu</b>
<b>3</b>	<b>Peu</b>
<b>4</b>	<b>Modéré</b>
<b>5</b>	<b>Moyenne</b>
<b>6</b>	<b>Un peu élevée</b>
<b>7</b>	<b>Élevée</b>
<b>8</b>	<b>Très élevée</b>
<b>9</b>	<b>Très très élevée</b>
<b>10</b>	<b>Maximale</b>

## Annexe XI.II. Evaluation de la qualité d'imagerie (vivacité)

### Evaluation de la qualité d'imagerie produite

Sur cette échelle que vous avez déjà utilisée lors de l'évaluation initiale, veuillez coter l'intensité des sensations que vous venez de percevoir (acceptation de l'étirement et relâchement du muscle)

#### Échelle d'imagerie kinesthésique



## Annexe XI.III. Evaluation de la difficulté de compréhension et de réalisation

### Evaluation de la compréhension et de la réalisation

Concernant l'étirement que vous venez d'effectuer, veuillez cocher le niveau de difficulté ressenti pour sa compréhension et pour sa réalisation :

	<b>Aucune difficulté</b>	<b>Un peu difficile</b>	<b>Difficile</b>	<b>Très difficile</b>	<b>Impossible</b>
<b>La compréhension</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>La réalisation</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

## L'utilisation de l'imagerie du mouvement dans l'étirement musculaire

---

**Introduction :** L'imagerie motrice (IM) est un processus mental qui permet, entre autres, de procurer des sensations kinesthésiques, notamment celles de l'étirement musculaire. Elle a de nombreux effets psychologiques et physiologiques qui font d'elle un bon complément à d'autres techniques. A ce propos, le couplage avec l'étirement musculaire s'avère judicieux, puisque ces deux outils interviennent chacun à leur façon sur des mécanismes communs.

**Objectif :** Observer l'impact de l'IM sur l'efficacité de deux méthodes d'étirements couramment utilisées en kinésithérapie : un étirement passif court et un étirement activo-passif, le Contracter-Relâcher-Etirer (CRE).

**Méthode :** Sur 108 volontaires, 55 sujets ont été inclus (âge moyen  $21,9 \pm 2,2$  ans et 41,8% d'hommes). Leur laxité a été évaluée par un score de Beighton et leur vivacité d'IM par un KVIQ-10. Ils ont réalisé 4 conditions d'auto-étirement du triceps sural (TS) : passif et CRE, avec et sans IM. Le critère de jugement principal était l'amplitude articulaire maximale (AAM). Secondairement, la pénibilité, les difficultés de compréhension et de réalisation, ainsi que la qualité d'imagerie produite ont été recueillies. Une électromyographie de surface (EMGs) du tibial antérieur (TA) a permis de vérifier la passivité.

**Résultats :** Il n'y a pas eu de différences significatives ni entre les types d'étirements, ni avec la présence ou non d'IM. Malgré cela, l'utilisation de l'imagerie semble être positive car les sujets ont indiqué une bonne compréhension et perception de celle-ci.

**Conclusion :** Dans nos conditions expérimentales, l'utilisation de l'IM n'a pas apporté le gain attendu. Elle reste tout de même pertinente sur d'autres plans que celui de la performance. Cette étude constitue l'un des premiers pas dans la recherche de l'utilisation de l'imagerie avec les étirements.

---

Mots-clés : imagerie du mouvement, imagerie motrice, étirement

## The use of movement imagery in muscle stretching

---

**Introduction :** Motor imagery (MI) is a mental process that allows, among other things, to provide kinesthetic sensations, especially those of muscle stretching. It has many psychological and physiological effects that make it a good complement to other techniques. Therefore, coupling MI with muscle stretching makes sense because each of these tools operates in specific ways on common mechanisms.

**Objective :** To observe the impact of MI on the effectiveness of two stretching methods commonly used in physiotherapy: short passive stretching and activo-passive stretching, the Contract Relax-Stretch (CRS).

**Method :** Out of 108 volunteers, 55 subjects were included (average age  $21.9 \pm 2.2$  years and 41.8% male). Their laxity was assessed by a Beighton score and their IM vivacity by a KVIQ-10. They realized 4 conditions of self-stretching of the triceps surae (TS) : passive and CRS, with and without MI. The main judgement criterion was the maximum joint amplitude. Second, the difficulty, the difficulties of comprehension and realization, as well as the quality of the imagery produced were collected. Surface electromyography (EMGs) of the tibialis anterior (TA) was used to verify passivity.

**Results :** There was no significant difference between the types of stretching and neither with or without MI. Despite this, the use of imaging appears to be positive because subjects indicated a good understanding and perception of it.

**Conclusion :** In our experimental conditions, the use of MI did not provide the expected benefit. It is still relevant in other areas than performance. This study is one of the first steps in the search for the use of imaging with stretching.

---

Keywords : movement imagery, motor imagery, stretching

