

Mémoire d'initiation à la recherche et d'ingénierie en kinésithérapie
(Unité d'Enseignement : 28)



2^{ème} Cycle : 2019-2021

Efficacité de la neurodynamique comparée à l'étirement statique
dans l'amélioration de la flexibilité du genou : Essai Contrôlé

Randomisé

RONDÉ Ilan

Mémoire dirigé par VERRIER Joseph

Résumé :

Introduction : L'extensibilité musculaire dépend de facteurs anatomiques et sensoriels. La mobilité du nerf semble être un potentiel facteur limitant de celle-ci. Ainsi, la neurodynamique pourrait avoir un rôle important à jouer lorsque l'objectif est l'amélioration de la flexibilité musculaire.

Objectif : Evaluer l'effet des sliders et des tensioners du nerf sciatique et les comparer à l'étirement statique, pour améliorer la flexibilité des ischio-jambiers (IJ).

Méthode : 14 personnes présentant une hypo-extensibilité des ischio-jambiers ont été aléatoirement réparties en trois groupes : Un groupe neurodynamique qui effectuait des « sliders » en position Slump, un autre groupe neurodynamique qui réalisait des « tensioners » en position Slump et enfin un groupe contrôle qui réalisait un étirement statique des IJ. L'intervention a duré 6 semaines à raison de 5 séances par semaine. L'extensibilité des IJ a été mesurée à l'aide du test Knee Extension Angle (KEA) et la mécanosensibilité du nerf sciatique par le test Straight Leg Raise (SLR).

Résultats : Malgré une efficacité significative des trois techniques ($p < 0,05$), on ne retrouve aucune différence significative ($p = 0,45$) entre les gains articulaires moyens des trois groupes mesurés au KEA, avec un intervalle de confiance à 95%.

Discussion : Les deux types de mobilisation neurodynamique semblent constituer un traitement efficace pour la prise en charge de l'hypo-extensibilité des IJ. Cependant, nous ne pouvons conclure à partir de ces résultats de la supériorité d'un des traitements. D'autres études, de meilleure qualité méthodologique, sont nécessaires afin d'apporter davantage de preuve.

Avertissement

Ce document est le fruit d'un long travail de formation et d'initiation à la recherche en vue de l'obtention de l'UE 28, Unité d'enseignement intégrée à la formation initiale de masseur kinésithérapeute.

L'École Nationale de Kinésithérapie et Rééducation, en tant qu'IFMK, n'est pas garant du contenu de ce mémoire mais le met à la disposition de la communauté scientifique élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : secretariat@enkre.fr et enkre@gth94n.fr

Liens utiles

Code de la propriété intellectuelle. Article L 122.4.

Code de la propriété intellectuelle. Article L 335.2 – L 335.10.

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F23431>

École Nationale de Kinésithérapie et Rééducation

12-14 rue du Val d'Osne 94410 Saint Maurice

tel : 01 43 96 64 64

secretariat@enkre.fr et enkre@gth94n.fr

<http://www.hopitaux-saint-maurice.fr/Presentation/2/142>

UE 28 – MEMOIRE

DECLARATION SUR L'HONNEUR CONTRE LE PLAGIAT

Je soussigné, RONDÉ Ilan

Certifie qu'il s'agit d'un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie, de surcroît, que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément l'origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Conformément à la loi, le non-respect de ces dispositions me rend passible de poursuite devant le conseil de discipline de l'ENKRE et les tribunaux de la République Française. Dans la mesure où je souhaiterais publier, ou inscrire pour un concours, le présent travail, je m'engage à en demander l'autorisation à l'ENKRE qui en est le partenaire.

Fait à La Queue-en-brie, le 01/04/2021

Signature :



Remerciements

Ce mémoire d'initiation a pu être réalisé grâce aux soutiens sans faille de nombreuses personnes, à qui je souhaiterais rendre grâce aujourd'hui.

Tout d'abord, je tiens à remercier solennellement mon directeur de mémoire, monsieur Joseph VERRIER, pour ses précieux conseils et sa disponibilité lors de ces deux années. Je le remercie tout particulièrement pour son écoute, sa franchise et son analyse critique, qui m'ont conduit à donner le meilleur de moi-même dans les moments clefs de ce projet.

Je souhaiterais exprimer ma reconnaissance envers les professeurs, mes amis de promotion et les participants à cette étude, qui par leurs paroles ou leur participation, ont contribué à sa réalisation.

Je souhaite ensuite adresser ma reconnaissance envers mes parents et ma famille, qui m'ont soutenu et qui ont toléré mes absences. Je leur en serai éternellement reconnaissant.

Je remercie ma chérie, Marie, qui a prêté oreille à maintes reprises lors de mes nombreuses interrogations. Je la remercie de m'avoir soutenu dans les moments les plus difficiles, ceux qui ont causé tant de stress et de frustration. Merci infiniment d'avoir été là.

Enfin, merci à mes amis qui ont toujours été là pour moi lors de ces deux années si particulières, leurs encouragements et leur présence m'auront été d'une grande aide.

A toutes ces personnes, je vous exprime mes plus sincères remerciements, mon plus profond respect et toute ma gratitude.

Table des matières

1	Introduction :	1
2	Cadre théorique	2
2.1	Déficit d'extensibilité des ischio-jambiers	2
2.1.1	Prévalence de l'hypo-extensibilité des IJ au sein de la population	2
2.1.2	Hypo-extensibilité et enjeux de santé	3
2.2	Anatomie Fonctionnelle	4
2.2.1	Anatomie des ischio-jambiers	4
2.2.2	Biomécanique de l'étirement :	4
2.2.3	Anatomie du nerf sciatique :	8
2.2.4	Biomécanique du nerf sciatique	9
2.2.5	Evaluation clinique de l'hypo-extensibilité	10
2.3	Prises en charge de l'hypoextensibilité de la loge postérieure de la cuisse	11
2.3.1	L'étirement	11
2.3.2	Effet de l'étirement sur l'amplitude de mouvement :	13
2.3.3	Le travail excentrique	14
2.3.4	La Neurodynamique	15
2.3.5	Neurodynamique et amplitude de mouvement	16
2.4	Problématique et hypothèses	17
3	Présentation du sujet d'étude	18
3.1	Présentation de la population	18
3.2	Matériel nécessaire pour l'étude :	19
3.3	Méthodologie de l'étude	19
3.3.1	Randomisation :	19
3.3.2	Critères de jugement	20
3.3.3	Outils statistiques	20
3.4	Protocole détaillé	20
4	Réflexion éthique	23
5	Résultats de l'étude	24
5.1	Analyse statistique	24
5.2	Résultats du critère de jugement principal : Amplitude au test KEA	26
5.2.1	Homogénéité des trois groupes : pré-intervention	26
5.2.2	Résultats du groupe neurodynamique sliders : pré-intervention versus post-intervention	26
5.2.3	Résultats du groupe neurodynamique tensioners : pré-intervention versus post-intervention	27
5.2.4	Résultats du groupe comparateur : pré-intervention versus post-intervention	27
5.2.5	Résultats des trois groupes : post-intervention	28
5.3	Résultats du critère de jugement secondaire : Amplitude au test SLR	28

5.3.1	Homogénéité des trois groupes : pré-intervention	28
5.3.2	Résultats du groupe neurodynamique sliders : pré-intervention versus post-intervention.....	28
5.3.3	Résultats du groupe neurodynamique tensioners : pré-intervention versus post-intervention	29
5.3.4	Résultats du groupe contrôle : pré-intervention versus post-intervention.....	29
5.3.5	Résultats des trois groupes : post-intervention.....	30
6	Discussion.....	31
6.1	Interprétation des résultats.....	31
6.1.1	Analyse des résultats pour le critère de jugement principal : KEA.....	31
6.1.2	Analyse des résultats pour le critère de jugement secondaire : SLR.....	33
6.2	Biais et limites	35
6.3	Perspectives d'évolution des pratiques et des connaissances en kinésithérapie	36
7	Conclusion.....	37
	Bibliographie.....	38
	Annexes.....	42

INDEX DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1 : Course externe d'un muscle polyarticulaire.....p5 (<i>Dufour et al. 2017</i>)	
Figure 2 : Courbe théorique de la longueur en fonction de la tension appliquée sur un muscle : théorie mécanique.....p6 (<i>Weppeler & Magnusson, 2010</i>)	
Figure 3 : Courbe théorique de la longueur en fonction de la tension appliquée sur un muscle : Théorie sensorielle.....p7 (<i>Weppeler & Magnusson, 2010</i>)	
Figure 4 : Anatomie du nerf périphérique.....p9 (<i>Tortora & Grawboski, 2004</i>)	
Figure 5 : Contraction transversale du nerf.....p10 (<i>Topp & Boyd, 2006</i>)	
Figure 6 : Test KEA.....p21 (<i>Etudiant en charge du mémoire</i>)	
Figure 7 : Test SLR.....p21 (<i>Etudiant en charge du mémoire</i>)	
Figure 8 : Flow chart de l'étude.....p24 (<i>Etudiant en charge du mémoire</i>)	
Figure 9 : Comparaison pré/post intervention des 3 groupes au test KEA.....p27 (<i>Etudiant en charge du mémoire</i>)	
Figure 10 : Comparaison des gains moyens des 3 groupes au test KEA.....p28 (<i>Etudiant en charge du mémoire</i>)	
Figure 11 : Comparaison pré/post intervention des groupes au test SLR.....p29 (<i>Étudiant en charge du mémoire</i>)	
Figure 12 : Comparaison des gains moyens des 3 groupes au test SLR.....p30 (<i>Étudiant en charge du mémoire</i>)	
Figure 13 : Position initiale Neurodynamique Glissement.....Annexe IV (<i>Étudiant en charge du mémoire</i>)	
Figure 14 : Position finale Neurodynamique Glissement.....Annexe IV (<i>Étudiant en charge du mémoire</i>)	
Figure 15 : Position initiale Neurodynamique Tension.....Annexe IV (<i>Étudiant en charge du mémoire</i>)	
Figure 16 : Position finale Neurodynamique Tension.....Annexe IV (<i>Étudiant en charge du mémoire</i>)	
Figure 17 : Position de départ Etirement Statique.....Annexe V (<i>Etudiant en charge du mémoire</i>)	

Figure 18 : Position d'arrivée Etirement Statique.....	Annexe V
<i>(Etudiant en charge du mémoire)</i>	
Tableau I : Caractéristiques anthropologique des trois groupes de sujets.....	p18
Tableau II : Résumé du protocole et des techniques utilisées.....	p22
Tableau III : Résultats pré-intervention (critères de jugement principal et secondaire).....	p25
Tableau IV : Test ANOVA pour l'homogénéité des trois groupes concernant l'âge, la taille et le poids.....	p26

1 Introduction :

Le sujet de ce mémoire m'est venu lors d'un cours de travaux pratiques portant sur la neurodynamique. Lors de celui-ci, j'ai pu expérimenter le principe de différenciation structurelle qui est l'un des fondements de l'examen neurodynamique. Je me suis aperçu lors d'un test d'élévation jambe tendue, aussi appelé SLR (Straight Leg Raise) qui s'apparente à un étirement statique des ischio-jambiers, que la douleur perçue lors de l'étirement pouvait être due au système nerveux. En effet, lorsque l'on ajoute un mouvement à distance des ischio-jambiers, telle qu'une adduction ou une rotation médiale de hanche homolatérale, les symptômes s'intensifient suggérant ainsi que l'origine de la gêne est autre que les ischio-jambiers.

Dès lors une interrogation a émergé en moi : si la douleur perçue lors d'un mouvement mettant en tension les ischio-jambiers peut être influencée par la mécanosensibilité du nerf, alors il se peut que cette dernière puisse limiter l'allongement musculaire. Ainsi je me suis demandé s'il n'existait pas une technique visant à augmenter l'extensibilité musculaire prenant en compte ce potentiel facteur limitant.

J'ai alors entrepris une revue de la littérature sur ce sujet et il s'avère que quelques études visant à évaluer l'efficacité des mobilisations neurodynamiques pour améliorer l'extensibilité apparente des ischio-jambiers, ont déjà été publiées. Malgré des preuves d'efficacité, certaines questions concernant les modalités de réalisation et les effets à long terme de la technique sont encore en suspens. En effet, deux techniques neurodynamiques différentes sont décrites dans la littérature. Chacune d'entre elles influe différemment sur le système nerveux périphérique. Une étude a notamment cherché à comparer l'effet des deux techniques sur l'extensibilité des ischio-jambiers en complément de l'étirement statique, mais étant donné son protocole, il est difficile de comparer directement ces deux techniques neurodynamiques.

Dans ce mémoire nous essaierons d'apporter une réponse à cette question, en mettant en place un essai contrôlé randomisé auprès d'étudiants en kinésithérapie.

2 Cadre théorique

2.1 Déficit d'extensibilité des ischio-jambiers

2.1.1 *Prévalence de l'hypo-extensibilité des IJ au sein de la population*

L'hypo-extensibilité des ischio-jambiers est un phénomène intéressant à évaluer chez plusieurs de nos patients. De multiples études ont cherché à étudier le sujet, en s'interrogeant notamment sur différentes thématiques, tels que sa prévalence au sein de différentes populations, l'impact éventuel du sexe, ou encore l'effet de l'âge sur la flexibilité de la loge postérieure de la cuisse.

La recherche de littérature sur ce sujet et en particulier auprès de sujets sains, fait état d'un manque de données et la diversité des tests de mesure, ou des termes pour définir l'hypo-extensibilité au sein des études récoltées, rend l'interprétation des résultats difficile.

Néanmoins, d'après les données obtenues, il semblerait que la prévalence de l'hypo-extensibilité soit plus importante chez les hommes que chez les femmes, les femmes présentant une plus grande amplitude de mouvement que les hommes et cela tout au long de leur vie (Shakya & Manandhar, 2018; Youdas et al., 2005). La flexibilité musculaire diminuerait en moyenne de 10% à chaque décennie (Thomas et al., 2018).

L'hypo-extensibilité de la loge postérieure de la cuisse est un phénomène que l'on retrouve dans toutes les tranches d'âge, avec un déclin progressif de la flexibilité à mesure que l'âge augmente (Garber et al., 2011; Youdas et al., 2005). Cette baisse de l'extensibilité en fonction de l'âge résulterait à la fois d'une modification des caractéristiques mécaniques du collagène mais aussi d'une baisse généralisée du niveau d'activité physique constatée chez de nombreuses personnes âgées (Youdas et al., 2005).

Tout type de population semble être sujet à l'hypo-extensibilité de la loge postérieure de la cuisse. En effet, au sein d'une population d'athlètes issue de différents sports tels que le football américain, le baseball, le basketball, le football, la course à pied, le tennis, la natation ou encore le golf, il a été constaté que 54% des athlètes de sexe masculin (n=131) présentaient une hypo-extensibilité de la loge postérieure de la cuisse (Krivickas & Feinberg, 1996).

Ce phénomène est également présent au sein d'une population étudiante (Koli & Anap, 2018; Shakya & Manandhar, 2018). La seconde étude citée a retenu notre attention, puisqu'elle visait à évaluer la prévalence de la raideur des ischio-jambiers chez des étudiants de 2^{ème} cycle en kinésithérapie, tout comme notre population d'étude pour ce mémoire. Les résultats de l'étude indiquent que sur un échantillon de 107 participants, 40.17% présentaient une raideur des

ischio-jambiers. Une fois encore les auteurs relèvent une prédominance pour les sujets masculins (Shakya & Manandhar, 2018).

2.1.2 *Hypo-extensibilité et enjeux de santé*

L'extensibilité musculaire est une composante de la condition physique reconnue comme un des marqueurs essentiels de la santé et de la qualité de vie, au même titre que l'endurance cardio-respiratoire, la force musculaire, l'endurance musculaire et la composition corporelle (Garber et al., 2011). Une altération de cette extensibilité pourrait influencer la fonction des articulations croisées par les structures de la loge postérieure de la cuisse. Une diminution de l'amplitude de mouvement (ROM) des articulations peut engendrer une altération de la mécanique et un dysfonctionnement des articulations (Sharma et al., 2016). L'incapacité à réaliser des tâches de la vie quotidienne tels que s'agenouiller, s'étirer ou faire de l'activité physique en raison d'une restriction de l'amplitude de mouvement, peut être perçue comme une diminution de la qualité de vie (Moltubakk, 2019).

L'hypo-extensibilité musculaire a été régulièrement associée à des troubles musculo-squelettiques tels que la lombalgie, les lésions myo-aponévrotiques ou en encore la tendinopathie rotulienne. En effet, l'hypo-extensibilité de la chaîne postérieure peut limiter les mouvements de la hanche et du rachis lombaire et favoriser ainsi l'apparition de douleur au niveau lombaire (Balagué et al., 2012). Il en va de même concernant les blessures musculaires ou les tendinopathies rotulienne, pour lesquelles un déficit de flexibilité des ischio-jambiers constitue un des facteurs de risque d'apparition, régulièrement cité dans la littérature (Heiderscheit et al., 2010; van der Worp et al., 2011).

Comme nous venons de le développer plus haut, l'extensibilité réduite des structures postérieures de la cuisse, en particulier celle des ischio-jambiers, pourrait constituer un facteur de risque d'apparition de nombreuses affections musculo-squelettiques. Un sujet avec un déficit de flexibilité de la partie postérieure de sa cuisse s'exposerait donc potentiellement à un risque accru de blessure. Pour l'ensemble des individus, une blessure peut avoir un impact dans la vie de tous les jours en occasionnant un arrêt de travail, un arrêt scolaire ou bien simplement en engendrant une difficulté à réaliser les activités quotidiennes (Edouard et al., 2011).

En ayant pris connaissance de ces résultats, il semblerait pertinent d'améliorer l'extensibilité du compartiment postérieur de la cuisse des sujets chez qui nous constatons ce type de déficit et cela dans l'optique d'améliorer leur confort de vie, leur amplitude de

mouvement, leur capacité fonctionnelle et de potentiellement prévenir l'apparition de troubles musculo-squelettiques.

Un rappel anatomique du compartiment postérieur de la cuisse et une présentation du comportement des structures lors de mouvements poly-articulaires, s'avère nécessaire afin de comprendre les facteurs pouvant limiter l'amplitude de mouvement du genou.

2.2 Anatomie Fonctionnelle

Présentons maintenant les structures de la loge postérieure de la cuisse, essentielles à notre raisonnement.

2.2.1 Anatomie des ischio-jambiers

Le groupe musculaire des ischio-jambiers est composé de trois grands muscles, à savoir : le biceps fémoral, le semi-tendineux et le semi-membraneux. Ces trois muscles ont pour origine la tubérosité ischiatique de l'os coxal et se terminent au niveau du genou. Le biceps fémoral se termine sur la tête de la fibula, le semi-tendineux au niveau de la patte d'oie et le semi-membraneux se termine quant à lui sur la face postérieure de l'épiphyse supérieure du tibia, à sa partie antéromédiale. Du fait de leur insertion, les ischio-jambiers sont des muscles polyarticulaires agissant sur l'articulation de la hanche en tant qu'extenseurs et sur le genou en tant que fléchisseurs (Dufour, 2017).

Les ischio-jambiers sont des muscles striés. Un muscle strié est l'organe de la force. Il est celui qui répond le mieux aux contraintes en traction. Il contient une partie contractile, composée par les myofibrilles, qui forme le volume charnu, et des points d'ancrage tendineux qui sont peu ou pas extensibles (Dufour et al. 2017). Les myofibrilles sont enveloppées de sarcolemme et regroupées en faisceaux, qui sont eux même recouverts par un périnysium. Ainsi le muscle est composé de parties contractiles, à savoir les myofibrilles pour qui l'unité fonctionnelle est le sarcomère, et de parties non contractiles, (composantes élastiques série et parallèle) représentées par le tissu conjonctif et les enveloppes fibreuses du muscle (Dufour et al. 2017).

2.2.2 Biomécanique de l'étirement :

L'étirement d'un muscle polyarticulaire, comme l'ischio-jambier, est réalisé en épuisant la course articulaire d'une articulation et en dosant l'étirement restant avec la seconde ou les autres (**fig. 1**). Ce genre de mouvement impose une contrainte en tension à l'unité myotendineuse qui s'adapte en s'allongeant.

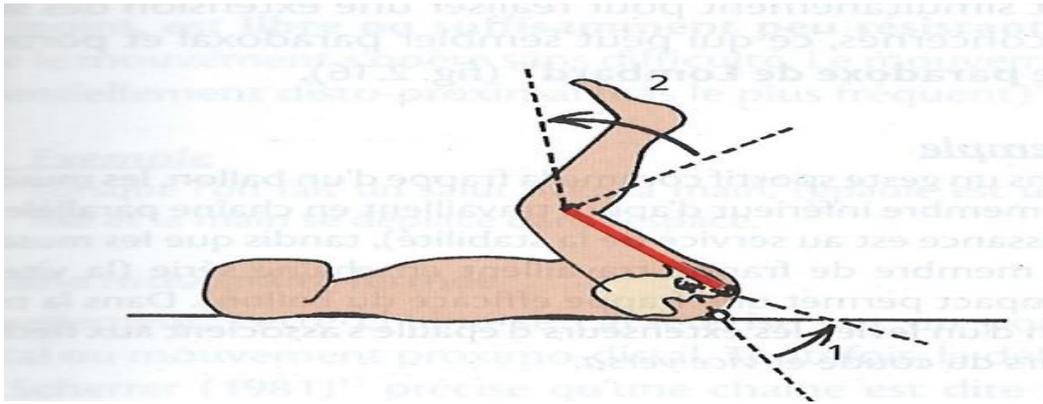


Figure 1 : Course externe d'un muscle poly-articulaire (Dufour et al. 2017)

Lorsqu'une mise en tension est appliquée à un muscle, l'analyse de la courbe Force-allongement, qui représente la force résistive du complexe myotendineux en fonction de son allongement, indique que la raideur varie avec le degré d'étirement.

Ainsi, à mesure que l'amplitude de mouvement en extension du genou s'accroît, l'unité myotendineuse des ischio-jambiers génèrera une force de résistance plus importante, jusqu'à un point où il n'est plus possible d'aller au-delà, sans rupture du tissu. Ce comportement à l'étirement varie en fonction de la constitution structurelle du système myo-tendineux.

En outre, il est admis que les causes d'une hypo-extensibilité musculaire peuvent être classées en causes anatomiques et en causes physiologiques, comme le souligne Kuilart et al. 2005 :

Les **causes anatomiques** sont de deux types :

- Le raccourcissement musculaire : Entraîne une baisse de la capacité d'allongement de l'unité musculotendineuse, due à une réduction du nombre de sarcomères ou à un manque d'élasticité tissulaire.
- La raideur musculaire : n'affecte pas la longueur du tissu mais renvoie à la force nécessaire pour produire une élongation du muscle.

Les **causes physiologiques** sont quant à elles rattachées à la contractilité des fibres musculaires, sous l'action des motoneurones alpha, des neurones de type Ia et des faisceaux neuro-musculaire (FNM), qui augmentent la tension musculaire et diminuent la flexibilité. L'hypo-extensibilité d'un muscle pourrait donc résulter de l'une de ces causes ou de l'intrication entre elles (Kuilart et al., 2005).

Ainsi, il semblerait logique d'avancer l'hypothèse selon laquelle la modification des propriétés de ce tissu et de son organisation interne, puisse avoir un impact sur la mobilité de l'individu. Cette réflexion fait partie de la théorie mécanique décrite par Weppeler et Magnusson

afin d'expliquer l'amélioration de l'extensibilité musculaire observée à l'issue d'une session d'étirement ou d'un programme d'étirement sur plusieurs semaines. Cette théorie mécanique suppose que des modifications structurelles au sein du complexe musculo-tendineux (CMT) ont lieu à la suite de l'application de contraintes répétées. Les modifications en question seraient des changements au niveau de la longueur des fibres, de l'angle de pennation ou encore de la teneur en collagène (Moltubakk, 2019; Weppeler & Magnusson, 2010). Une adaptation viscoélastique et une relaxation neuromusculaire sont des mécanismes qui ont également été associées à cette théorie (Medeiros & Martini, 2018; Weppeler & Magnusson, 2010).

Une augmentation de la longueur des muscles se traduit sur le graphique par un décalage vers la droite de la courbe entière couple/angle, indiquant une longueur plus élevée du muscle pour un même niveau de tension. Ainsi selon la théorie mécanique, les gains articulaires à l'issue d'un étirement s'expliqueraient par une augmentation de la longueur du CMT et d'une diminution de la raideur (**fig. 2**).

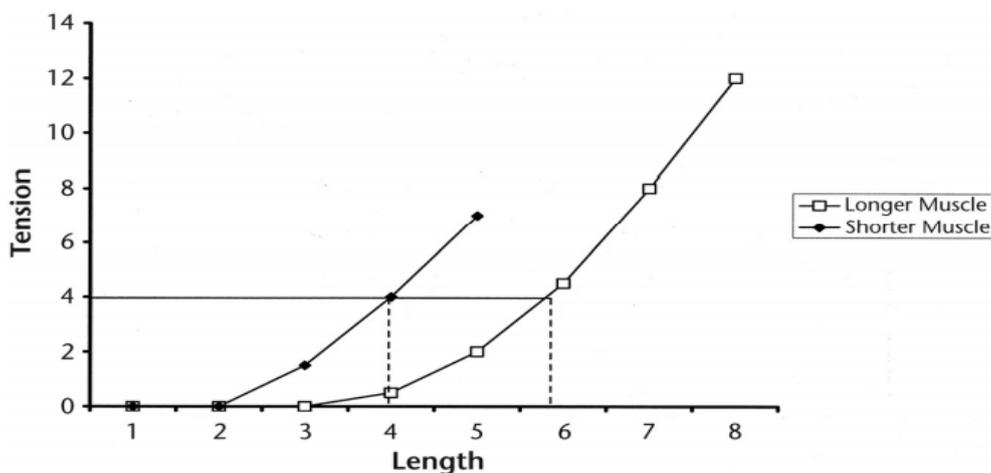


Figure 2 : Courbe théorique de la longueur en fonction de la tension appliquée sur un muscle : Théorie mécanique (Weppeler & Magnusson, 2010).

Cependant, une autre théorie permettant d'expliquer l'augmentation de l'extensibilité musculaire, visible immédiatement après un étirement et à la suite de programmes d'étirements, avance l'idée selon laquelle les gains perçus sont dus à une modification de la sensation du sujet et non pas à un changement dans la structure musculaire (Weppeler & Magnusson, 2010). Cette théorie dite « sensorielle » signifie en d'autres termes, que la personne qui reçoit les interventions d'étirements a adopté un nouveau point d'arrêt pour la limitation de l'extensibilité, basé sur des sensations modifiées de l'étirement ou de la douleur. Cette

modification de la gène associée à l'étirement résulterait d'une modification du système nerveux périphérique et ou centrale (Konrad & Tilp, 2014; Moltubakk, 2019).

Lors de l'analyse isocinétique du comportement du CMT, nous pouvons constater que la courbe se prolonge vers la droite, indiquant que l'extensibilité musculaire augmente sans modification de la longueur musculaire ou de la raideur, mais simplement par augmentation de la tension appliquée, reflétant la tolérance accrue du sujet à l'étirement (**fig. 3**).

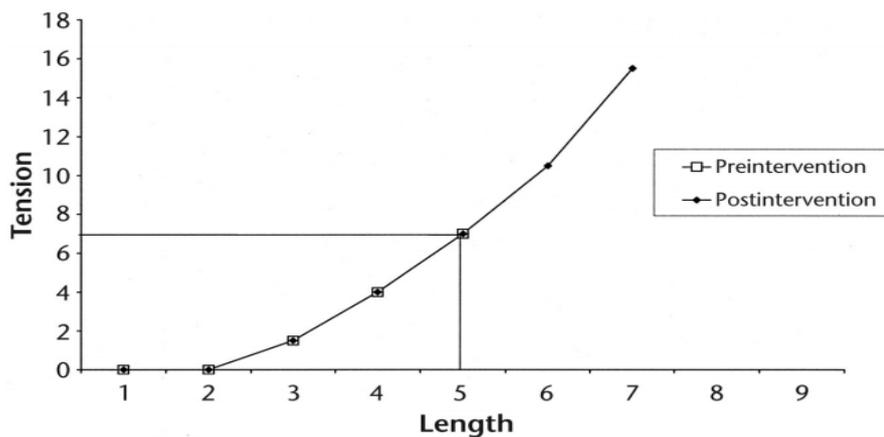


Figure 3 : Courbe théorique de la longueur en fonction de la tension appliquée sur un muscle : Théorie sensorielle (Weppeler & Magnusson, 2010)

De nos jours, la littérature semble accorder davantage de crédit à la théorie sensorielle. En effet, énormément d'études ne constatent aucun changement dans l'architecture musculaire ou dans les propriétés viscoélastiques, tels que la raideur passive ou l'angle de pennation, à l'issue de programme d'étirements chroniques et cela malgré une amélioration de l'amplitude maximale de mouvement (Blazevich, 2019; Freitas et al., 2018; Konrad & Tilp, 2014; Medeiros & Martini, 2018; Weppeler & Magnusson, 2010). Dans une méta-analyse parue en 2018 et qui inclus 28 articles, Freitas et al. soulignent qu'un protocole d'étirement chronique intensif de moins de 8 semaines n'entraîne pas de changement dans la longueur des fascicules musculaires, bien que l'amplitude de mouvement du genou ait augmenté. Ainsi les résultats de la présente étude appuient la théorie sensorielle comme principal argument du changement dans l'amplitude de mouvement, lors d'un protocole d'étirement de moins de 8 semaines. Toutefois, les auteurs soulignent qu'il est possible qu'une durée minimale d'un protocole d'étirement, qui reste à déterminer, soit requise pour induire des adaptations structurelles du CMT. La sarcomérogenèse induite par l'étirement statique n'a, à notre connaissance, été démontrée que dans le modèle animal (De Jaeger et al., 2015).

Ainsi, plusieurs facteurs que nous avons décrits plus haut, à savoir les propriétés viscoélastiques du muscle, la longueur musculotendineuse et la tolérance à l'étirement peuvent contribuer à l'extensibilité des ischio-jambiers.

Cependant, le nerf sciatique est une structure cheminant également à la face postérieure de la cuisse et qui est capable de produire une douleur lorsque les contraintes en traction qu'il subit sont importantes (Kuilar et al., 2005). La mécanosensibilité du nerf sciatique s'est avérée entraîner un déficit de flexibilité des ischio-jambiers chez des sujets sains et chez des individus souffrant de blessure aux ischio-jambiers (Turl & George, 1998).

2.2.3 Anatomie du nerf sciatique :

Le nerf sciatique est le nerf le plus volumineux du corps humain avec un diamètre de 14 millimètres. Il prend son origine des racines nerveuses L4, L5, S1 et plus ou moins S2 et S3. Sa terminaison se situe au genou, plus précisément au niveau de la fausse poplitée, où il se divisera en deux branches terminales (le nerf fibulaire commun et le nerf tibial). Il possède une innervation motrice qui permet la flexion du genou en innervant le groupe musculaire des ischio-jambiers. Notons que son trajet au niveau de la partie profonde de la loge postérieure de la cuisse, le fait descendre entre les ischio-jambiers médiaux et latéraux (Dufour, 2017).

Comme pour un muscle, un nerf est une structure anatomique qui se compose de plusieurs fascicules, eux même composés de plusieurs axones. Comme leurs terminaisons sont assez éloignées des corps cellulaires, les axones sont isolés les uns des autres, regroupés et protégés par trois couches de tissu conjonctif : l'endonèvre, le périnèvre et l'épinèvre (**fig. 4**). L'épinèvre se rattache à un tissu conjonctif appelé le fascia paraneural. Ce tissu paraneural peut contenir une quantité importante de tissu adipeux, qui servira à protéger le nerf aux sites de compression récurrente et facilitera le glissement transversal et longitudinal du nerf dans le lit nerveux (Nee & Butler, 2006; Topp & Boyd, 2006).

Le nerf périphérique est lui-même muni d'une innervation par l'intermédiaire du « nervi-nervorum ». Ce dernier prend racine au sein des enveloppes de tissu conjonctif du nerf (tel que l'épinèvre par exemple) et est sensible aux déformations mécaniques et à la nociception (Nee & Butler, 2006; Topp & Boyd, 2006). Grâce au nervi-nervorum, les nerfs périphériques disposent de la faculté de « mécanosensibilité ». La mécanosensibilité est caractérisée par des symptômes de type neurologique comme : des paresthésies, de la douleur, une brûlure, des picotements (Schmid et al., 2009). Chaque nerf possède donc une mécanosensibilité, même lorsque celui-ci est sain puisqu'elle constitue en réalité un mécanisme de protection, indiquant la tolérance maximale

du nerf à la déformation (Driscoll et al., 2002). Un nerf est d'autant plus mécanosensible, que la tension nécessaire pour déclencher son activité est faible (Topp & Boyd, 2006).

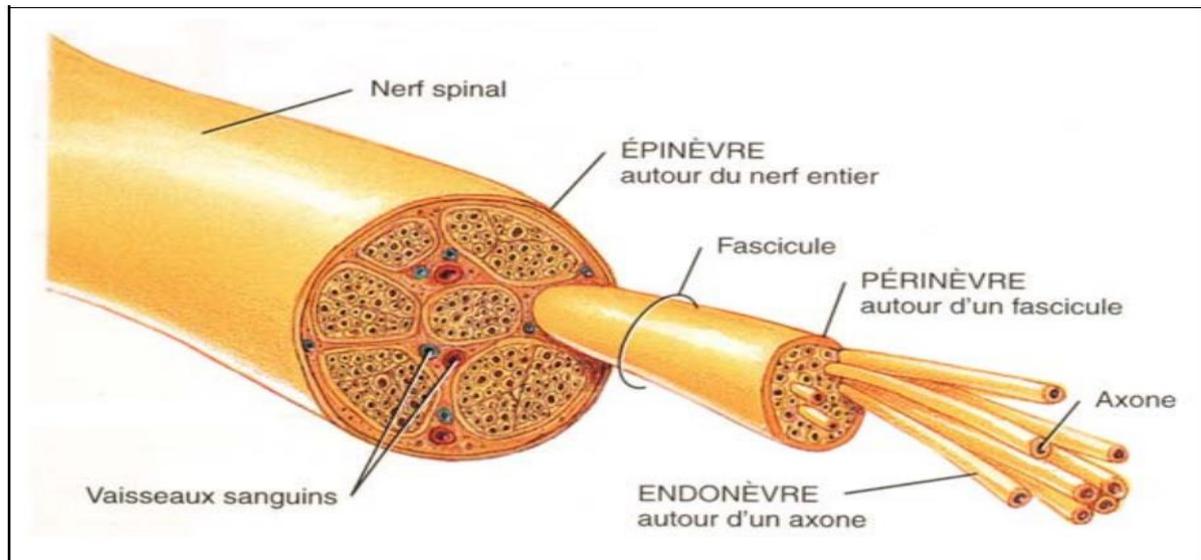


Figure 4 : Illustration tirée de Tortora et Grawboski (2004) : Anatomie du nerf périphérique

2.2.4 Biomécanique du nerf sciatique

Le nerf possède des propriétés mécaniques qui lui permettent de s'adapter aux contraintes mécaniques, imposées par les postures et les mouvements de la vie quotidienne ou sportive (Nee & Butler, 2006). Dans la vie de tous les jours, nos mouvements articulaires peuvent soumettre nos nerfs à diverses contraintes telles que : la compression, la traction, la friction ou encore la vibration (Ellis & Hing, 2008). Ces différentes contraintes sont souvent appliquées aux nerfs de façon combinée in vivo. Le mouvement d'une articulation provoque un allongement du lit nerveux (tissus non neuronal adjacents au nerf), le nerf est alors intrinsèquement soumis à une contrainte de traction longitudinale, et s'adapte en s'allongeant et en glissant au sein de son lit nerveux (Coppieeters & Butler, 2008; Shacklock, 1995; Topp & Boyd, 2006).

On qualifie la modification de longueur (ou allongement) du nerf par le terme de « déformation », que l'on quantifie en pourcentage d'allongement, et on nomme « excursion » le glissement du nerf par rapport à son lit nerveux (Topp & Boyd, 2006). La direction de l'excursion peut être longitudinale, transversale ou bien les deux par rapport à la voie nerveuse, et elle se mesure en millimètres.

Il est important de noter que l'allongement du nerf entraîne une réduction de sa section transversale (c'est-à-dire de son diamètre). Cette propriété que l'on appelle « contraction transversale » entraîne une augmentation de la pression dans le compartiment endo-neural (**fig. 5**) (Topp & Boyd, 2006).

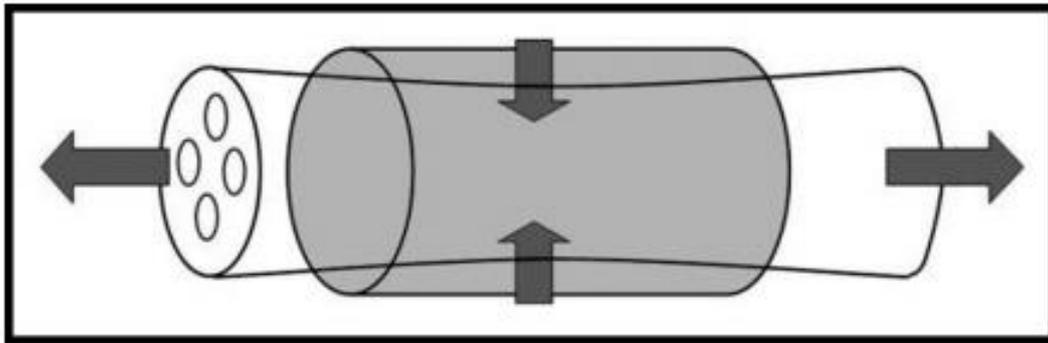


Figure 5 : Contraction transversale du nerf. (Topp & Boyd, 2006).

Comme nous l'avons vu auparavant, le système musculosquelettique agit comme un contenant formant une interface avec le système nerveux. Un environnement aussi sain que possible est primordial pour le système nerveux, afin de favoriser sa fonction optimale (Shacklock, 2012). Dès lors, une excursion nerveuse altérée à la suite d'adhérences entre les ischio-jambiers et le nerf sciatique, peut provoquer une mécanosensibilité de ce dernier. Si tel est le cas, la flexibilité des ischio-jambiers pourrait être limitée car la mécanosensibilité entraînerait un début plus précoce de la sensation d'inconfort durant l'élongation musculaire, provoquant ainsi une contraction protectrice (McHugh et al., 2012).

2.2.5 Evaluation clinique de l'hypo-extensibilité

Cliniquement, l'extensibilité musculaire s'évalue à l'aide de tests cliniques qui utilisent l'amplitude de mouvement articulaire pour déterminer de façon indirecte la longueur musculaire. En réalité, trois concepts distincts sont évalués lors des tests d'extensibilité des ischio-jambiers (Kuilar et al., 2005):

1. La flexibilité de l'articulation : à savoir l'amplitude de mouvement disponible (au niveau de la hanche en flexion et du genou en extension) puisque c'est ce qui est mesurée objectivement avec l'angle d'extension du genou par exemple.
2. L'extensibilité des tissus (ou changement réel de longueur des structures postérieures aux axes de rotation des articulations) : est déduite par les mesures de la flexibilité articulaire ou ROM.
3. La sensation : à savoir la perception d'une tension, d'une gêne ou d'une douleur, il s'agit ici d'une mesure subjective.

Les tests de longueur musculaire nécessitent souvent une réponse subjective de la part du sujet. La tension neurale associée à certains de ces tests, constitue potentiellement une menace dans l'obtention de mesures précises de l'amplitude des mouvements, notamment par la

mécanosensibilité des nerfs, qui résulte de la mise en tension du nerf sciatique lors de ces tests (Davis et al., 2008). En outre, la perception ou la sensation au niveau de la loge postérieure de la cuisse, qui constitue un des critères lors des tests d'extensibilité musculaire, pourrait être due à des sensations issues du muscle ischio-jambier, d'un nerf mécaniquement sensible, ou bien à une association des deux (Kuilar et al., 2005).

Plusieurs tests cliniques sont décrits dans la littérature afin d'évaluer l'extensibilité des ischio-jambiers. Parmi eux, deux sont particulièrement utilisés, à savoir le test Knee Extension Angle (KEA) et le Straight Leg Raise (SLR). Le KEA est considéré comme étant le test de référence pour l'évaluation de l'extensibilité des ischio-jambiers en raison de son excellente fiabilité intra-testeur (0,99) et en raison du fait que d'autres tests, notamment le SLR, présentent un nombre important de facteurs confondants (Davis et al., 2008). Le KEA se réalise avec le patient allongé sur le dos, l'évaluateur place la hanche homolatérale à 90° de flexion puis vient tendre progressivement le genou vers l'extension jusqu'à ce que, soit l'évaluateur ressente une résistance, soit le sujet ressente une sensation d'étirement « forte mais tolérable ». L'individu testé est défini comme étant hypo-extensible des ischio-jambiers si un écart supérieur ou égal à 20° entre la verticale 180° et l'extension finale de genou est présent. (Davis et al., 2008).

Le test SLR est quant à lui avant tout un test qui a pour objectif d'évaluer la mécanosensibilité du nerf sciatique mais qui a aussi été utilisé comme outil d'évaluation de la flexibilité des ischio-jambiers. Il se réalise avec le patient allongé sur le dos, le genou homolatéral en extension complète. L'évaluateur fléchit la hanche et mesure l'amplitude de flexion à l'apparition de la sensation d'étirement (Boyd et al., 2009). En raison de son ambiguïté concernant l'interprétation que l'on peut faire de ce test, il est suggéré de privilégier le KEA lorsque l'on souhaite évaluer la flexibilité des ischio-jambiers.

Nous allons désormais aborder les techniques à disposition des kinésithérapeutes pour améliorer l'extensibilité de la loge postérieure de la cuisse. En effet, le rôle du kinésithérapeute est crucial afin d'aider le corps à retrouver une certaine souplesse. Les étirements sont souvent décrits comme outil thérapeutique de première intention, que le patient ait un profil sain, pathologique ou sportif.

2.3 Prises en charge de l'hypoextensibilité de la loge postérieure de la cuisse

2.3.1 L'étirement

Les étirements constituent une routine pour de nombreux programmes de réhabilitation. Les programmes d'étirements sont initialement conçus afin d'augmenter la longueur des

muscles pour permettre une plus grande amplitude de mouvement des articulations (Covert et al., 2010). Trois principaux types d'étirements sont généralement utilisés en pratique et dans la recherche. Il s'agit de : l'étirement statique (SS), la facilitation neuromusculaire proprioceptive (PNF) et l'étirement dynamique (DS) (Medeiros & Martini, 2018).

L'étirement statique consiste à allonger un muscle jusqu'à l'apparition d'une sensation d'étirement ou d'une gêne et à maintenir le muscle dans cette position allongée pendant une période de temps déterminée (Behm et al., 2016). L'étirement statique est une technique ne nécessitant pas spécialement l'aide d'une tierce personne, et est donc facile d'utilisation (Medeiros & Martini, 2018). On recense deux méthodes d'étirements passifs (Geoffroy, 2015) :

1. Le passif court : Etirement statique inférieur à 20 secondes. Souvent utilisé en fin de séance afin de permettre un retour au calme et d'entretenir la souplesse.
2. Posture passive : Se réalise à amplitude maximale avec maintien dans le temps. La tension est importante et le muscle doit être relâché au maximum. L'objectif de cet étirement est le gain d'amplitude articulaire. Il est aussi utilisé en bien être.

La technique de facilitation neuromusculaire proprioceptive ou PNF, associe quant à elle l'étirement à la contraction musculaire. Il existe essentiellement deux méthodes issues du PNF : Le Contracté-Relâché-étiré (CRE) et la méthode Contracté-Relâché-Antagoniste-Contraction (CRAC). Le PNF est utilisé pour le gain d'amplitude articulaire, les levées de tension musculaire et est dit favorable à la cicatrisation. Il nécessite cependant l'utilisation d'une tierce personne, ce qui peut constituer une limitation à son utilisation. Lors du CRE, le muscle à étirer est placé dans sa position d'allongement maximal dans laquelle une contraction isométrique est réalisée par ce muscle. A l'issue de cette contraction, une phase de relâchement a lieu durant laquelle il faudra allonger lentement le muscle jusqu'à la limite du supportable. Pour le CRAC, la démarche est identique à celle du CRE mais il faudra, sur la dernière phase d'allongement, contracter les muscles antagonistes au muscle étiré. Cette méthode se base sur le réflexe musculaire d'inhibition réciproque. (Kay et al., 2015).

Les étirements dynamiques se divisent également en deux types d'étirements : l'activo-dynamique et l'étirement balistique. L'activo-dynamique se déroule en deux étapes : Premièrement, la mise en tension du muscle à étirer s'effectue de façon sous maximale. Il s'ensuit une phase de contraction concentrique et excentrique du muscle ciblé. Dans un second temps, après une courte période de relâchement, le muscle est sollicité dans une position similaire à celle de l'activité, telle que du « talon-fesse » dans le cadre des ischio-jambiers :

c'est la phase dynamique (Geoffroy, 2015). L'étirement balistique est un des types d'étirements dynamiques qui implique l'exécution de mouvements de rebondissement ou pendulaires globaux en rythme, afin d'obtenir une plus grande amplitude de mouvement (Medeiros & Martini, 2018). Le réflexe myotatique joue ici un rôle important car il permettrait d'accroître la vigilance des muscles et des tendons.

Pour ce mémoire, l'objectif est l'amélioration de l'extensibilité apparente des ischio-jambiers au travers de l'amplitude de mouvement. Ainsi, parmi les effets potentiels des étirements, nous nous concentrerons sur leur capacité à améliorer l'amplitude de mouvement.

2.3.2 Effet de l'étirement sur l'amplitude de mouvement :

L'utilisation des différents types d'étirements repose sur l'objectif recherché par le sujet et le praticien. Dans le cadre d'une préparation à l'effort, d'un programme d'amélioration de l'extensibilité musculaire, ou d'une volonté d'entretien, le type d'étirement, sa fréquence et son intensité varieront en conséquence.

Lorsque l'on utilise les étirements sur les ischio-jambiers en aigu, en dehors d'une notion de préparation à l'effort, toutes les techniques d'étirements décrites, à savoir le SS, PNF et DS améliorent immédiatement la flexibilité des ischio-jambiers. Dans leur revue systématique, Decoster et al. ont analysé 4 ECR cherchant à comparer les effets des étirements entre eux pour améliorer la flexibilité des ischio-jambiers. Decoster et al. ont conclu que toutes les techniques d'étirement présentes dans ces études ont augmenté significativement l'amplitude de mouvement, mais aucune n'a été significativement supérieure aux autres. En outre, cela suggère que toutes les techniques d'étirement peuvent améliorer l'amplitude de mouvement (Decoster et al., 2005).

Etant donné que les gains perçus en amplitude de mouvement immédiatement après un étirement ne sont que transitoires (Weppeler & Magnusson, 2010), la littérature s'est attachée à évaluer l'effet de programme d'étirement chronique sur l'amplitude de mouvement. A l'issue d'un protocole d'étirement chronique, c'est-à-dire comprenant plusieurs séances réparties sur plusieurs semaines, l'amplitude de mouvement et donc la flexibilité musculaire sont également améliorées (Cipriani et al., 2012; Decoster et al., 2005; Medeiros & Martini, 2018; Thomas et al., 2018). Dans leur revue de littérature (23 articles), Thomas et al. ont cherché à déterminer l'efficacité entre les différents types d'étirements et l'influence de la durée de maintien d'un étirement pour améliorer l'amplitude de mouvement, dans le cadre de protocole de longue durée. Les résultats suggèrent que quel que soit le type d'étirement, une amélioration de l'amplitude de mouvement

est obtenue après une période d'au moins 4 semaines d'étirements. Cependant, des gains plus importants dans l'amplitude de mouvement ont été observés avec l'étirement statique (+20,9%), par rapport à l'étirement balistique (+11,65%) ou à l'étirement PNF (+15%) (Thomas et al., 2018).

Il n'existe pour l'heure aucun protocole d'étirement phare permettant de maximiser l'amélioration de l'amplitude de mouvement. Néanmoins, plusieurs variables de l'étirement ont été étudiées dans la littérature. Il semblerait que la durée optimale d'un étirement lors d'une série soit de 30 secondes. En effet, Bandy et al. ont constaté des gains de flexibilité aux ischio-jambiers similaires entre un étirement de 30 secondes et un de 60 secondes. Toutefois, 30 secondes d'étirement semblent plus efficaces que 15 secondes (Bandy et al., 1997). De plus, il semblerait que pour un même temps total d'étirement sur une semaine, une fréquence d'étirement hebdomadaire plus élevée, tel que cinq fois par semaine, présente des gains supérieurs par rapport aux fréquences plus basses (Thomas et al., 2018).

2.3.3 *Le travail excentrique*

De nos jours, il est reconnu que l'entraînement excentrique constitue un puissant stimulus à l'hypertrophie musculaire, ainsi qu'à l'augmentation de la force car il favorise une plus grande activation neurale par rapport aux autres modes de contraction, que sont l'isométrique et le concentrique (Abdel-aziem et al., 2018). Lors des vingt dernières années, l'hypothèse selon laquelle le renforcement excentrique permettrait une amélioration de la flexibilité musculaire a été étudiée et étayée au sein de la littérature.

Une revue systématique, publiée en 2012 par O'Sullivan et al., avait pour objectif d'examiner les preuves démontrant l'efficacité de l'entraînement excentrique pour améliorer la flexibilité des membres inférieurs. Cette revue systématique inclut 6 ECR avec un score minimal de 6 sur 10 à l'échelle PEDro. Les auteurs de cette revue soutiennent l'hypothèse selon laquelle l'entraînement excentrique est une méthode efficace pour augmenter la flexibilité musculaire (O'Sullivan et al., 2012). Ils précisent également que 6 semaines d'entraînement excentrique semblent entraîner une amélioration significative de la flexibilité musculaire, mais que celle-ci est similaire aux gains de flexibilité perçus à la suite d'un programme d'étirement statique.

Ainsi, l'entraînement excentrique semble être efficace pour améliorer de façon pertinente la flexibilité musculaire. Il semble être un peu moins efficace ou, au mieux, tout aussi performant que l'étirement statique pour améliorer la flexibilité des muscles. Cependant, les mécanismes sous-jacents à l'amélioration de la flexibilité musculaire à la suite d'un travail

excentrique semblent différent de ceux de l'étirement statique. Il semblerait que l'amélioration résulte d'une augmentation du nombre de sarcomère (Brockett et al., 2001; Guex et al., 2016).

2.3.4 *La Neurodynamique*

Comme exposé précédemment, il semblerait que l'effet d'un étirement aigu ou d'un protocole d'étirement régulier sur le gain en amplitude de mouvement articulaire, soit essentiellement dû à la théorie sensorielle. Ainsi, il se peut que le traitement de la mécanosensibilité du nerf puisse également influencer l'amplitude du genou. En clinique, les troubles de la mécanosensibilité sont généralement traités par la neurodynamique.

La neurodynamique est constituée de différentes techniques de mobilisations neurales que nous allons maintenant présenter. Les techniques neurodynamiques utilisent des séquences de mouvements et se basent sur la notion de convergence et de divergence. La mobilisation des articulations engendre une tension sur les nerfs avoisinants et produit un déplacement de ces derniers par rapport à l'interface mécanique.

Il existe différentes méthodes de mobilisation nerveuse. Parmi elles, deux sont particulièrement intéressantes car produisent des effets biomécaniques différents sur le système nerveux. Il s'agit de la technique de glissement neurodynamique ou « sliders » (NS) et de la technique de tension neurodynamique ou « tensioners » (NT). La technique NS correspond à une combinaison de mouvements lors desquels, l'allongement du lit nerveux au niveau d'une articulation est simultanément contrebalancé par une réduction de la longueur du lit nerveux, au niveau d'une articulation adjacente (Coppieters et al., 2009; Ellis et al., 2012). Avec une technique NT, le glissement des nerfs est obtenu en déplaçant une ou plusieurs articulations, de façon à ce que le lit nerveux soit simultanément allongé au niveau des articulations adjacentes (Coppieters et al., 2009; Ellis et al., 2012).

Les études *in vivo* et cadavériques (Coppieters et al., 2009; Coppieters & Butler, 2008; Ellis et al., 2012) montrent que les techniques en glissement (NS) mobilisent un nerf avec une augmentation minimale de la tension ce qui permet une excursion longitudinale plus importante, comparativement aux techniques de tension (NT). Ces dernières allongent simplement le lit nerveux avec très peu d'excursion et une tension nerveuse accrue. De façon globale, les exercices de neurodynamique peuvent limiter l'activité fibroblastique et minimiser la formation de cicatrice. Ils peuvent donc empêcher la formation d'adhérences entre le nerf et son lit nerveux (Millesi et al., 1995), qui comme nous l'avons précisé précédemment, peuvent être à l'origine d'une mécanosensibilité accrue du nerf.

2.3.5 Neurodynamique et amplitude de mouvement

La neurodynamique est donc une méthode de mobilisation neurale, dans laquelle la force est appliquée aux structures nerveuses par la posture et le mouvement. Elle a pour objectif principal de restaurer l'équilibre dynamique entre les tissus neuraux et les interfaces mécaniques environnantes, ce qui permet de réduire les pressions intrinsèques sur les tissus neuronaux et de promouvoir une fonction physiologique optimale (Ellis & Hing, 2008).

La neurodynamique a récemment été étudiée au travers d'essais contrôlés randomisés, afin d'analyser ses capacités à améliorer la flexibilité des ischio-jambiers (Bonser et al., 2017; Castellote-Caballero et al., 2013, 2014; De Ridder et al., 2019; Satkunskiene et al., 2020; Sharma et al., 2016; Waldhelm et al., 2019). Une méta-analyse sur ce sujet réalisée par Lopez et al. (2019) regroupant 6 ECR (N=294) est parue récemment. Les articles intégrés à cette méta-analyse ont cherché à comparer le traitement neurodynamique à l'absence de traitement, à un placebo, à diverses techniques de thérapie manuelle comme par exemple l'étirement actif et passif, à l'inhibition musculaire et à la facilitation neuromusculaire proprioceptive. Ils ont été également étudiés en tant que complément à l'étirement statique, lors de protocoles allant d'une durée de un jour à deux semaines. D'après les auteurs, le traitement neurodynamique semble être l'option la plus appropriée pour améliorer l'extension passive du genou et l'extensibilité des muscles ischio-jambiers et pourrait donc s'avérer plus efficace que d'autres méthodes tel que l'étirement (López et al., 2019). Néanmoins, dans leur discussion, les auteurs soulignent une hétérogénéité des études incluses et précisent que des essais contrôlés randomisés (ECR) de bonne qualité méthodologique sont nécessaires à l'avenir, afin de normaliser le nombre de séance, d'étudier l'efficacité lors d'un protocole de plus longue durée et d'ajouter un suivi pour déterminer les avantages du traitement neurodynamique à long terme. De plus, l'effet de la neurodynamique en tension pour améliorer la flexibilité des ischio-jambiers n'a pas encore été étudié de façon précise.

2.4 Problématique et hypothèses

L'hypo-extensibilité des ischio-jambiers est un phénomène fréquemment observable dans la population. Elle peut concerner aussi bien le sportif que la personne âgée. L'hypo-extensibilité semble être majoritairement présente chez les individus de sexe masculin et s'accroître avec l'avancée en âge. En raison de son association avec divers troubles musculo-squelettiques et de son impact sur les amplitudes de mouvement pouvant occasionner une perte de fonction pour les personnes âgées, le traitement de l'hypo-extensibilité est souvent un objectif pour un kinésithérapeute.

Les causes de cette hypo-extensibilité musculaire peuvent résulter d'une longueur des tissus insuffisante, d'une rigidité musculaire importante ou d'une tolérance à l'étirement limitant l'amplitude de mouvement maximale. Il a été démontré qu'une altération de la mobilité du nerf sciatique au sein de son interface mécanique, constituée par les ischio-jambiers, pourrait engendrer une sensation d'inconfort plus précoce lors de l'allongement musculaire. De ce fait, la flexibilité des ischio-jambiers s'en retrouverait limitée.

Habituellement, l'étirement est le traitement utilisé par l'ensemble des acteurs de la réhabilitation. Toutefois à la lumière des éléments avancés, il s'avèrerait d'après certaines études, que les mobilisations neurodynamiques pourraient améliorer la flexibilité des ischio-jambiers de façon aussi efficace, si ce n'est davantage que les étirements. Des études supplémentaires sont nécessaires afin de déterminer quels sont les effets d'un protocole de longue durée, composé de mobilisations neurodynamiques, et quel type de mobilisation entre les glissements et les tensions neurodynamiques est le plus efficace pour améliorer la flexibilité des ischio-jambiers.

Ainsi, nous essaierons au travers de ce mémoire de répondre à la question suivante : « La neurodynamique en glissement ou en tension est-elle plus efficace que l'étirement statique pour améliorer l'extensibilité des ischio-jambiers chez des étudiants hypo-extensibles en bonne santé ? ».

Nos hypothèses sont les suivantes :

H0 : Il n'existe pas de différence ou les différences constatées ne sont pas significatives entre les deux types de mobilisations neurodynamiques et l'étirement statique pour améliorer l'extensibilité des ischio-jambiers.

H1 : Il existe une différence significative entre les mobilisations neurodynamiques et l'étirement statique pour améliorer l'extensibilité des ischio-jambiers.

3 Présentation du sujet d'étude

L'étude présentée ci-dessous est une étude interventionnelle monocentrique, réalisée de façon randomisée. L'étude vise à évaluer les effets de deux protocoles de 6 semaines de techniques de neurodynamique du nerf sciatique, à raison de 5 fois par semaine par rapport à un protocole d'étirement statique, pour l'amélioration de l'extensibilité apparente des ischio-jambiers.

3.1 Présentation de la population

Etudiants universitaires recrutés initialement par un formulaire google forms publié sur les réseaux sociaux, contenant les informations générales permettant de décrire l'échantillon (âge, poids, taille) (**tab. I**) ainsi que des critères de non-inclusion. Les informations récoltées à partir des google forms sont confidentielles, comme l'impose le respect du secret professionnel. Le jour de la rencontre, une fiche d'informations concernant les objectifs de l'étude a été distribuée à chacun des sujets (annexe I). Les participants ont daté et signé un formulaire de consentement pour leur participation à l'étude (annexe II).

Tableau I : Caractéristiques anthropologiques des trois groupes de sujets.

Moyenne (σ = écart-type)	NS (n = 5)	NT (n = 4)	ES (n = 4)
Attribution par dé	Faces 1 et 2	Faces 3 et 4	Faces 5 et 6
Age	22.2 ans ($\sigma = 0.84$)	22.25 ans ($\sigma = 0.96$)	21.25 ans ($\sigma = 1.5$)
Taille	171.2 cm ($\sigma = 7.79$)	173.75 cm ($\sigma = 8.77$)	169.5 cm ($\sigma = 10.47$)
Poids	62 kg ($\sigma = 10.34$)	64.5 kg ($\sigma = 8.81$)	64.5 kg ($\sigma = 12.94$)
Genre	4 H et 1 F	2 H et 2 F	2 H et 2 F

Les variables présentées dans ce tableau ont été soumises au test de Shapiro-Wilk afin de s'assurer qu'elles suivent une loi normale ($p > 0,05$).

Les critères d'inclusion :

- Personne présentant une réduction de la flexibilité des ischio-jambiers, caractérisée par un test KEA \geq à 20° (Sharma et al., 2016).
- Avoir entre 18 et 30 ans (De Ridder et al., 2019).

Les critères de non-inclusion :

- Antécédents de blessure musculotendineuse aux ischio-jambiers au cours de l'année précédente (Castellote-Caballero et al., 2014).
- Antécédents de trouble neurologique ou orthopédique affectant les membres inférieurs (Castellote-Caballero et al., 2013).
- Présence d'une lombalgie ou de douleur aux jambes (Sharma et al., 2016).
- Symptôme douloureux au niveau de la nuque (Castellote-Caballero et al., 2014).
- Sujet impliqué dans d'autres programmes de flexibilité (Sharma et al., 2016).

Les critères d'exclusion :

- Sujet présentant des complications telles que des paresthésies au repos.
- Souhait du sujet de se retirer de l'étude.
- Sujet subissant un traumatisme important au cours de l'étude.
- Mauvaise observance du protocole.

3.2 Matériel nécessaire pour l'étude :

Afin de mener à bien cette étude, il a été utilisé une paire d'inclinomètres ainsi qu'une sangle pour réaliser les mesures des tests KEA et SLR. Pour la randomisation, un dé à 6 faces a été utilisé. Un carnet d'exercice et une vidéo ont été fournis aux sujets de l'étude afin de s'assurer que les informations concernant les modalités de réalisation de leur exercice n'ont pas été sujettes à la détérioration tout au long des 6 semaines d'intervention.

3.3 Méthodologie de l'étude

3.3.1 Randomisation :

Dans l'optique d'augmenter la validité interne de l'étude, les sujets inclus ont été aléatoirement distribués entre les groupes expérimentaux et le groupe comparateur lors de la première rencontre. Cette randomisation a été effectuée par l'intermédiaire d'un lancer de dé à 6 faces. Le sujet est attribué au groupe correspondant à la face du dé obtenue (**tab. I**).

Les rôles de kinésithérapeute en charge de la réalisation du protocole et de statisticien sont les missions assurées par l'étudiant en charge de ce mémoire.

3.3.2 Critères de jugement

L'objectif de ce mémoire d'initiation à la recherche est de comparer l'efficacité de deux interventions neurodynamiques, afin d'améliorer l'extensibilité apparente des ischio-jambiers, par rapport à l'étirement statique. Pour cela, plusieurs critères de jugement ont été mis en place :

Le critère de jugement principal : est évalué par l'amplitude d'extension du genou en degré, mesurée lors du test KEA. Le KEA a été mesuré pour les deux membres inférieurs. Dans le cas où l'angle obtenu au KEA est différent entre les deux côtés, le côté pour lequel le KEA était le plus grand fut utilisé comme membre expérimental. En revanche, lorsque les deux côtés avaient la même valeur au KEA, le côté dominant (membre avec lequel le sujet tape dans un ballon) fut choisi comme membre expérimental (Sharma et al., 2016).

Le critère de jugement secondaire : Correspond à l'angle obtenu lors du test Straight Leg Raise (SLR). Celui-ci a pour but d'évaluer la mécanosensibilité du système nerveux (Boyd, 2012). Il fut réalisé sur la jambe expérimentale.

Ces critères de jugement ont été évalués par deux examinateurs : l'étudiant en charge de ce mémoire et un second étudiant, tous deux préalablement formés à la réalisation de ces différents tests.

3.3.3 Outils statistiques

Les logiciels Excel version 2009 et JASP, ont été utilisés afin de calculer les données statistiques de chacun des groupes. Les variables des critères de jugement ont été analysées en pré et post intervention en intra-groupe, puis en extra-groupe afin de comparer les résultats des groupes expérimentaux entre eux et par rapport au groupe contrôle.

3.4 Protocole détaillé

L'évaluation initiale est identique à tous les participants de l'étude et est réalisée avant la randomisation.

Elle se déroule en 2 étapes :

Lors de la rencontre avec les chercheurs :

1. Réalisation du test KEA pour évaluer l'extensibilité apparente des ischio-jambiers, comme décrit par (Davis et al., 2008) (annexe III) (**fig 5**).
2. Evaluation de la mécanosensibilité du nerf sciatique par le test SLR tel que décrit par (Boyd, 2012) (annexe III) (**fig 6**).

L'évaluation finale comprend la mesure des critères de jugements en 2 étapes, avec l'évaluation de l'extensibilité des ischio-jambiers (KEA) et la mécanosensibilité du nerf sciatique (SLR). Les interventions réalisées dans les deux groupes expérimentaux et le groupe comparateur ainsi que les détails du protocole sont décrits dans le tableau ci-dessous (**tab. II**).



Figure 6 : Test KEA (Source étudiant)

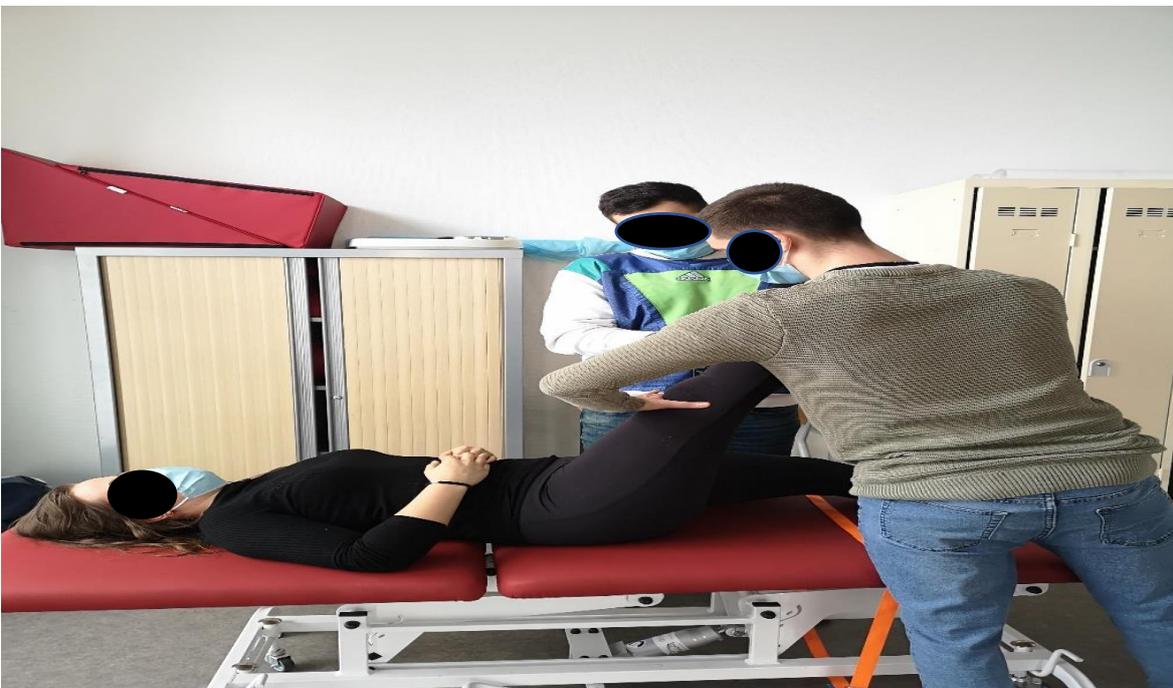


Figure 7 : Test SLR (Source étudiant)

Tableau II : Résumé du protocole et des techniques utilisées

GROUPES	EXPERIMENTAUX		COMPARATEUR
1^{ère} Séance	Evaluation des critères 1 ^{er} et 2 nd + Affectation des patients aux différents groupes		
Protocole	<u>Dans les locaux de l'ENKRE :</u> Education des participants à la bonne pratique de leur protocole. Les sujets réalisent une séance complète supervisée par l'intervenant.		
	<u>A domicile :</u> Neurodynamique en glissement (annexe IV). 3 séries de 10, 15, puis 20 répétitions (Sharma et al., 2016), 5/sem. La position finale est maintenue 1 seconde. Le mouvement est réalisé à une vitesse permettant de réaliser le déplacement en 2s (Sharma et al., 2016)	<u>A domicile :</u> Neurodynamique en tension (annexe IV). 3 séries de 10, 15, puis 20 répétitions (Sharma et al., 2016), 5/sem. La position finale est maintenue 1 seconde. Le mouvement est réalisé à une vitesse permettant de réaliser le déplacement en 2s (Sharma et al., 2016)	<u>A domicile :</u> Étirement statique des ischio-jambiers (annexe V). 3 séries de 30 secondes avec 30 secondes de pause entre chaque série, 5/sem (Cipriani et al., 2012; De Ridder et al., 2019).
Suivi	Sujets en autonomie à domicile avec un guide d'instruction contenant des photos ainsi qu'une vidéo de leur exercice. Les sujets sont chargés de noter sur un planning d'exercice les séances réalisées et les évènements inattendus. Chaque semaine, les participants seront contactés par mail, afin de s'assurer de la bonne tenue du protocole.		
Durée de l'étude	6 semaines		
Fin de l'étude	Evaluation des critères 1 ^{er} et 2 nd		
But	Connaitre l'efficacité des mobilisations neurodynamiques en glissement et en tension sur l'extensibilité des ischio-jambiers, comparativement à l'étirement statique		

4 Réflexion éthique

Puisque nous avons réalisé une étude expérimentale, il nous semblait important de respecter un certain devoir moral envers les participants de cette étude. A ce titre, nous avons appliqué des méthodologies de traitement ayant déjà fait preuve d'efficacité et ne présentant pas de risques associés. De plus, chaque participant a été sensibilisé sur ses droits au cours de cette étude, et notamment sur le fait qu'il était en mesure de cesser l'intervention à tout instant et cela sans justification. Un formulaire de consentement pour la participation au projet a été remis et fut signé par les patients avant le commencement de l'étude.

Les données personnelles récoltées pour les besoins de l'étude sont restées confidentielles afin de respecter le secret professionnel.

Des mesures ont été prises lors des rendez-vous avec les sujets afin de faire appliquer les gestes barrières et limiter au maximum les risques de contamination à la Covid-19. Premièrement, les rendez-vous étaient programmés de façon à ce que les sujets se succèdent sans se croiser dans les locaux. En outre, le port du masque était bien évidemment obligatoire et les participants étaient incités à se désinfecter les mains au gel hydroalcoolique. Enfin, la table d'examen et le matériel utilisé furent désinfectés entre chaque rendez-vous.

5 Résultats de l'étude

Lors de la pré-étude, 32 personnes se sont portées volontaires par l'intermédiaire d'un google forms publié sur les réseaux sociaux, afin de participer à l'expérimentation. Lors de la 5^{ème} semaine du protocole, un sujet du groupe comparateur a été exclu de l'étude pour cause de blessure aux ischio-jambiers acquise lors de la pratique de son sport. L'analyse statistique s'est donc réalisée sur les participants restants de ces trois échantillons. La figure ci-dessous représente le diagramme de flux.

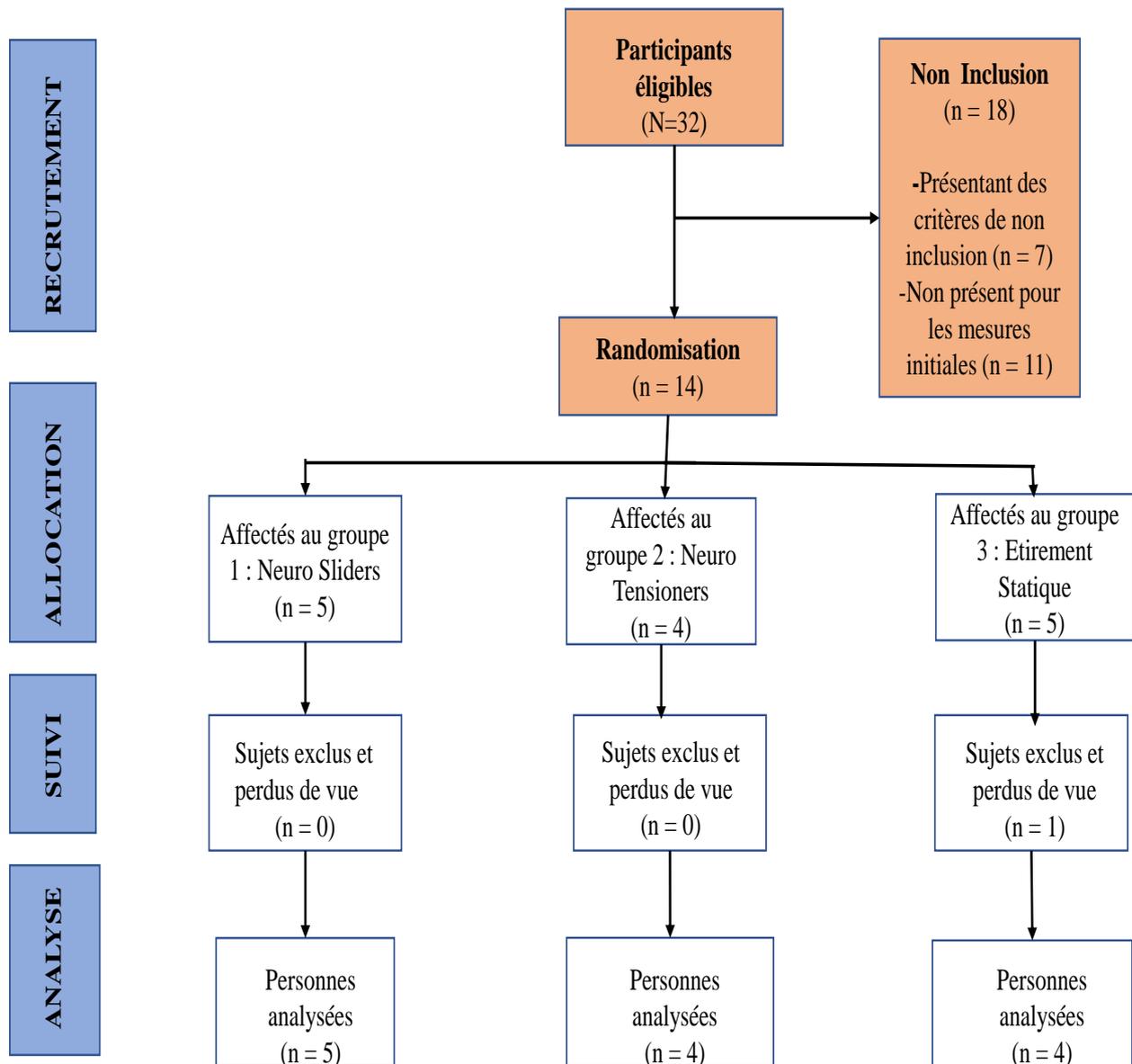


Figure 8 : Flow chart de l'étude

5.1 Analyse statistique

Les sujets ont reçu le traitement correspondant à leur allocation. Les données recueillies lors des évaluations en pré-intervention sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau III : Résultats pré-intervention (critères de jugement principal et secondaire)

Critères de jugement	Groupe 1 : Neurodynamique Slider		Groupe 2 : Neurodynamique Tensionner		Groupe 3 : Etirement statique	
	KEA (en °)	33,00 ($\sigma = 5,34$)	p = 0,64	27,00 ($\sigma = 4,24$)	p = 0,49	30,00 ($\sigma = 8,17$)
SLR (en °)	58,40 ($\sigma = 7,83$)	p = 0,55	63,50 ($\sigma = 13,99$)	p = 0,56	59,75 ($\sigma = 20,27$)	p = 0,73

Les données présentes dans ce tableau correspondent à la moyenne et à l'écart-type (σ). Etant donné que les échantillons contiennent moins de 30 sujets, un test de Shapiro-Wilk a été utilisé afin de vérifier la normalité des variables correspondant aux critères de jugement (voir **tab. III**). Si p-value > 0,05, alors il est probable que les résultats trouvés soient issus d'une population normalement distribuée. Ainsi, comme l'indique le tableau III, tous les résultats semblent suivre une loi normale. Puisque la condition de la normalité concernant la distribution des variables a été vérifiée, l'utilisation de tests paramétriques pour analyser les données s'avère possible. L'analyse pré-post intervention en intra-groupe sera effectuée par l'intermédiaire d'un test de Student pour échantillon apparié et l'analyse pré-post intervention en extra-groupe sera effectuée par un test ANOVA (analyse de la variance). Le seuil de significativité a constamment été fixé à 0,05.

Avant toute chose, l'homogénéité des trois groupes concernant les variables tels que l'âge, la taille et le poids, se doit d'être vérifiée afin de s'assurer que ces dernières ne puissent expliquer une quelconque différence lors de l'analyse des résultats en post-intervention. Pour cela nous avons utilisé un test ANOVA car la normalité concernant ces variables a été également vérifiée (**tab. I**). Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV : Test ANOVA pour l'homogénéité des trois groupes concernant l'âge, la taille et le poids

	p-value
Age	0,380
Taille	0,804
Poids	0,908

Etant donné que la p-value est constamment supérieure à 0,05, il n'y a pas de différence significative entre les groupes pour les variables d'âge, de taille et de poids avant l'intervention. Cela signifie donc que les groupes sont homogènes.

5.2 Résultats du critère de jugement principal : Amplitude au test KEA

5.2.1 Homogénéité des trois groupes : pré-intervention

Lors de l'évaluation initiale en pré-intervention, la valeur moyenne de l'angle KEA pour le groupe NS était de $33^\circ \pm 5,34$, la valeur moyenne de l'angle KEA pour le groupe NT était de $27^\circ \pm 4,24$ et enfin la valeur moyenne de l'angle KEA pour le groupe contrôle était de $30^\circ \pm 8,17$ (**fig. 9**).

En comparant ces résultats à l'aide d'un test ANOVA, nous obtenons un $p = 0,373$. Cette valeur étant supérieure à 0,05, il n'y a pas de différence significative intergroupe entre les moyennes des angles KEA en pré-intervention.

5.2.2 Résultats du groupe neurodynamique sliders : pré-intervention versus post-intervention

Lors de l'évaluation initiale, la valeur moyenne de l'angle KEA du groupe NS était de $33^\circ \pm 5,34$. Lors de l'évaluation finale, celle-ci était de $18,80^\circ \pm 8,08$ (**fig. 9**). Le gain d'amplitude articulaire au test KEA était donc de $14,20^\circ \pm 5,17$ en moyenne (**fig. 10**).

En comparant ces résultats à l'aide du test de Student pour échantillon apparié, nous obtenons un $p = 0,004$. Cette valeur étant inférieure à 0,05, nous pouvons conclure à l'existence d'une différence significative entre les moyennes de l'angle KEA avant et après un traitement de neurodynamique sliders de 6 semaines.

5.2.3 Résultats du groupe neurodynamique tensioners : pré-intervention versus post-intervention

Lors de l'évaluation initiale, la valeur moyenne de l'angle KEA du groupe NT était de $27^\circ \pm 4,24$. Lors de l'évaluation finale, celle-ci était de $15^\circ \pm 6,38$ (**fig. 9**). Le gain d'amplitude articulaire au test KEA était donc de $12^\circ \pm 2,58$ en moyenne (**fig. 10**).

En comparant ces résultats à l'aide du test de Student pour échantillon apparié, nous obtenons un $p = 0,003$. Cette valeur étant inférieure à 0,05, nous pouvons conclure à l'existence d'une différence significative entre les moyennes de l'angle KEA avant et après un traitement de neurodynamique tensioners de 6 semaines.

5.2.4 Résultats du groupe comparateur : pré-intervention versus post-intervention

Lors de l'évaluation initiale, la valeur moyenne de l'angle KEA du groupe comparateur (étirement statique) était de $30^\circ \pm 8,17$. Lors de l'évaluation finale, celle-ci était de $13,25^\circ \pm 9,12$ (**fig. 9**). Le gain d'amplitude articulaire au test KEA était donc de $16,75^\circ \pm 6,70$ en moyenne (**fig. 10**).

En comparant ces résultats à l'aide du test de Student pour échantillon apparié, nous obtenons un $p = 0,015$. Cette valeur étant inférieure à 0,05, nous pouvons conclure à l'existence d'une différence significative entre les moyennes de l'angle KEA avant et après un traitement d'étirement statique de 6 semaines.

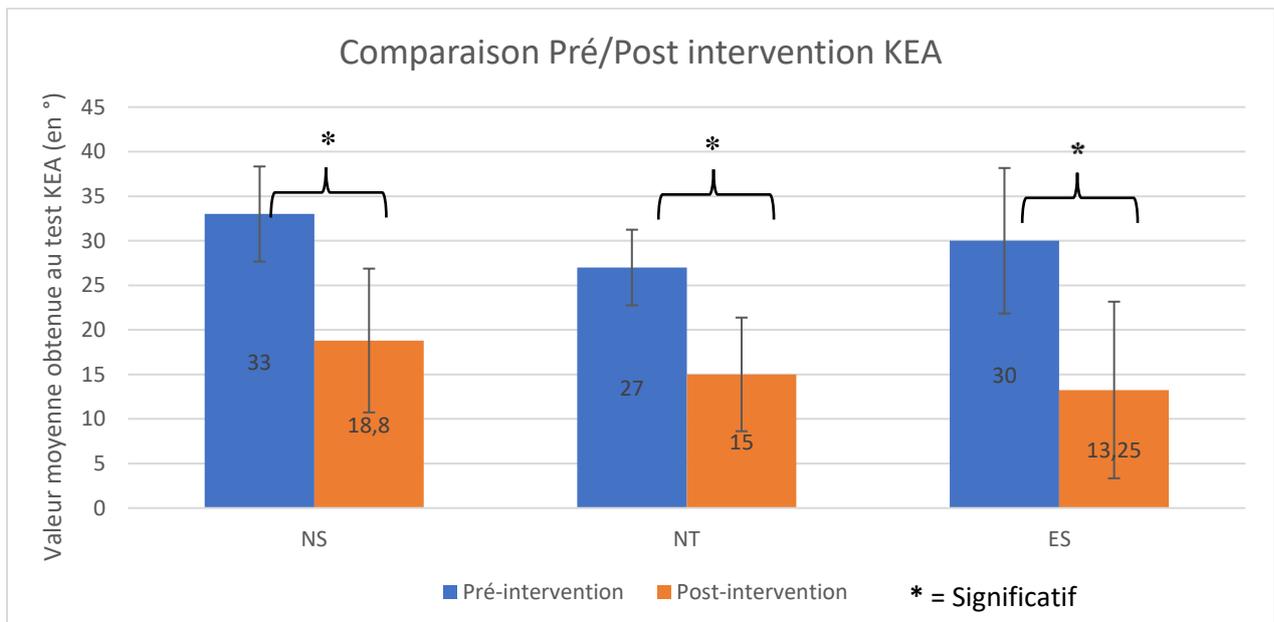


Figure 9 : Comparaison pré/post intervention des 3 groupes au test KEA

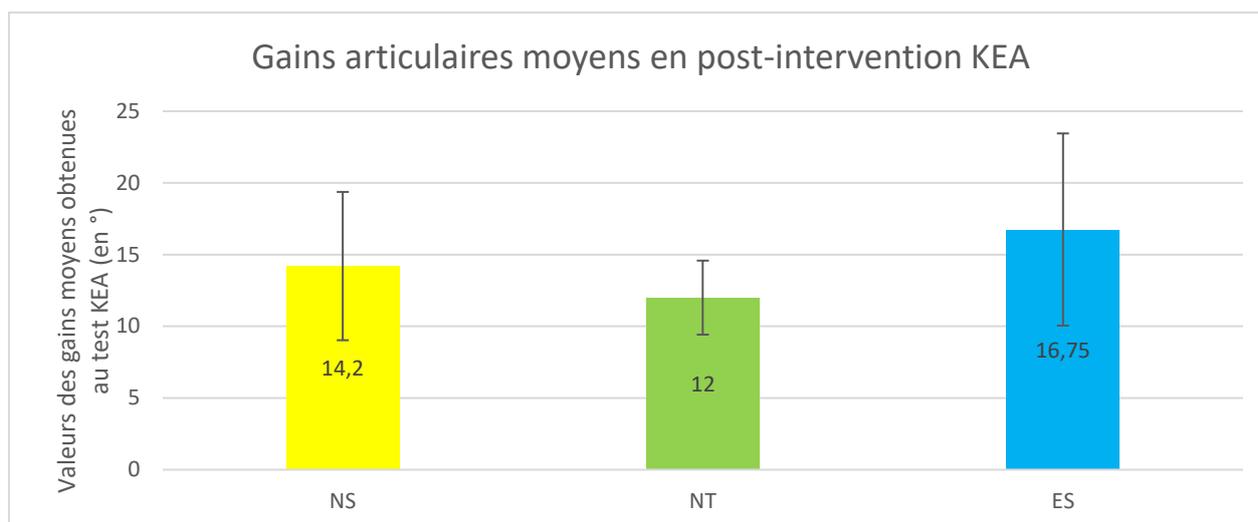


Figure 10 : Comparaison des gains moyens des 3 groupes au test KEA

5.2.5 Résultats des trois groupes : post-intervention

En comparant la différence des gains moyens en amplitude articulaire entre les trois groupes après traitement avec le test de l'ANOVA, on obtient $p = 0,45$. Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification du seuil $\alpha = 0,05$, on ne peut rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Il n'y a donc pas de différence significative entre les gains moyens en amplitude articulaire pour le test KEA, entre les groupes de neurodynamique sliders, de neurodynamique tensioners et d'étirement statique à l'issue d'un traitement de 6 semaines.

5.3 Résultats du critère de jugement secondaire : Amplitude au test SLR

5.3.1 Homogénéité des trois groupes : pré-intervention

Lors de l'évaluation initiale, en pré-intervention, la valeur moyenne de l'angle SLR pour le groupe NS était de $58,40^\circ \pm 7,83$, la valeur moyenne de l'angle SLR pour le groupe NT était de $63,50^\circ \pm 13,99$ et enfin, la valeur moyenne de l'angle SLR pour le groupe contrôle était de $59,75^\circ \pm 20,27$ (**fig. 11**).

En comparant ces résultats à l'aide d'un test ANOVA, nous obtenons un $p = 0,866$. Cette valeur étant supérieure à $0,05$, il n'y a pas de différence significative intergroupe entre les moyennes des angles SLR en pré-intervention.

5.3.2 Résultats du groupe neurodynamique sliders : pré-intervention versus post-intervention

Lors de l'évaluation initiale, la valeur moyenne de l'angle SLR du groupe NS était de $58,40^\circ \pm 7,83$. Lors de l'évaluation finale, celle-ci était de $68,40^\circ \pm 7,40$ (**fig. 11**). Le gain d'amplitude articulaire au test SLR était donc de $10^\circ \pm 4,18$ en moyenne (**fig. 12**).

En comparant ces résultats à l'aide d'un test de Student pour échantillon apparié, nous obtenons un $p = 0,006$. Cette valeur étant inférieure à 0,05, nous pouvons conclure à l'existence d'une différence significative entre les moyennes de l'angle SLR avant et après un traitement de neurodynamique sliders de 6 semaines.

5.3.3 Résultats du groupe neurodynamique tensioners : pré-intervention versus post-intervention

Lors de l'évaluation initiale, la valeur moyenne de l'angle SLR du groupe NT était de $63,50^\circ \pm 13,99$. Lors de l'évaluation finale, celle-ci était de $72,25^\circ \pm 8,96$ (**fig. 11**). Le gain d'amplitude articulaire au test SLR était donc de $8,75^\circ \pm 8,54$ en moyenne (**fig. 12**).

En comparant ces résultats à l'aide d'un test de Student pour échantillon apparié, nous obtenons un $p = 0,133$. Cette valeur étant supérieure à 0,05, il n'est pas possible de conclure à l'existence d'une différence significative entre les moyennes de l'angle SLR avant et après un traitement de neurodynamique tensioners de 6 semaines.

5.3.4 Résultats du groupe contrôle : pré-intervention versus post-intervention

Lors de l'évaluation initiale, la valeur moyenne de l'angle SLR du groupe contrôle était de $59,75^\circ \pm 20,27^\circ$. Lors de l'évaluation finale, celle-ci était de $70,25^\circ \pm 12,71$ (**fig. 11**). Le gain d'amplitude articulaire était donc de $10,50^\circ \pm 8,58$ en moyenne (**fig. 12**).

En comparant ces résultats à l'aide d'un test de Student pour échantillon apparié, nous obtenons un $p = 0,092$. Cette valeur étant supérieure à 0,05, il n'est pas possible de conclure à l'existence d'une différence significative entre les moyennes de l'angle SLR avant et après un traitement d'étirement statique de 6 semaines.

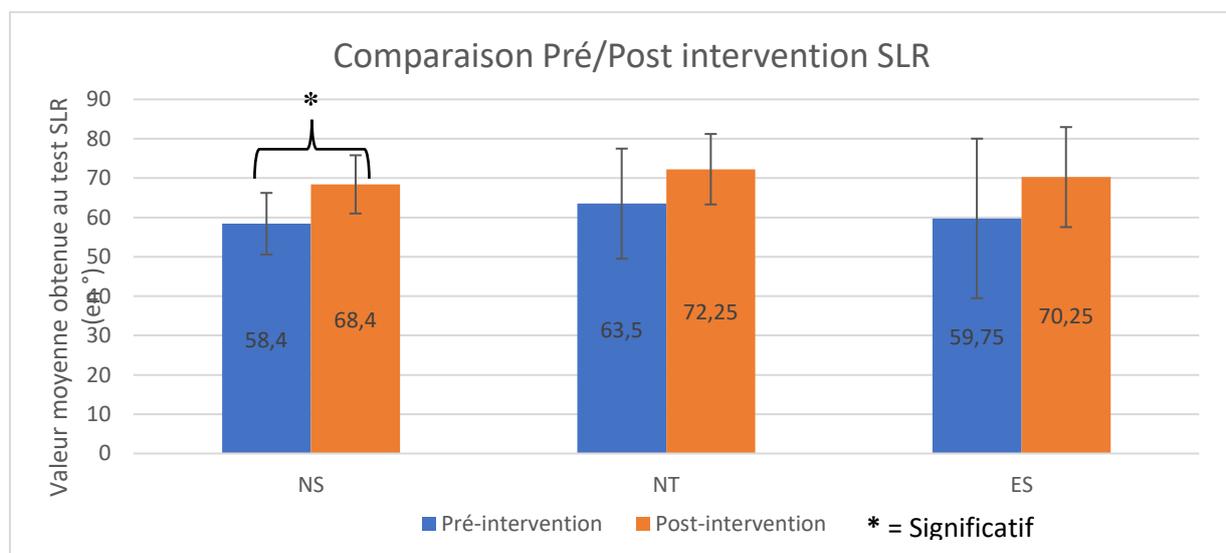


Figure 11 : Comparaison pré/post intervention des 3 groupes au test SLR

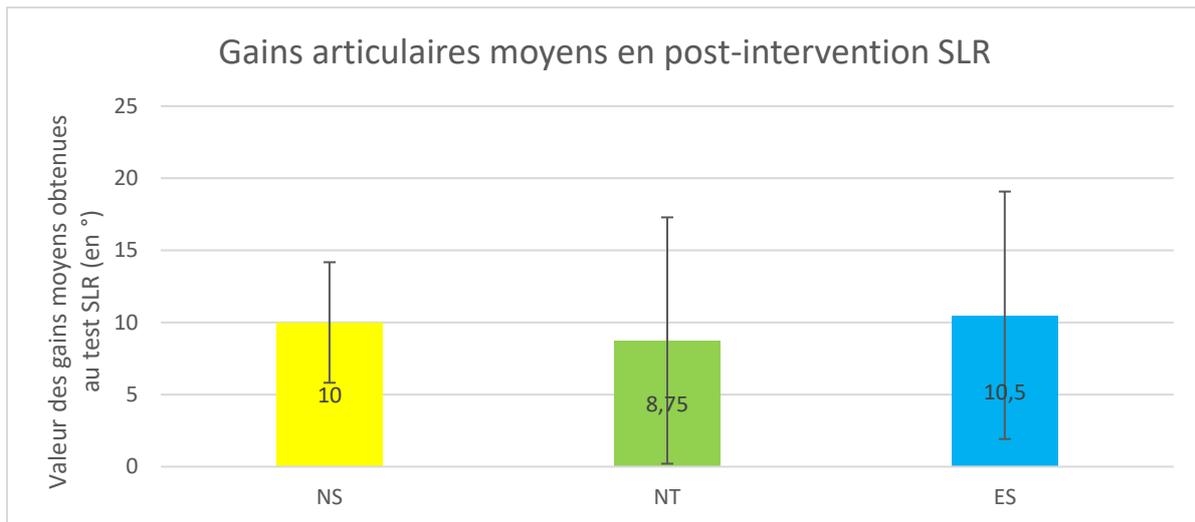


Figure 12 : Comparaison des gains moyens des 3 groupes au test SLR

5.3.5 Résultats des trois groupes : post-intervention

En comparant la différence des gains moyens en amplitude articulaire entre les trois groupes avec le test de l'ANOVA, on obtient $p = 0,938$. Étant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification du seuil $\alpha = 0,05$, on ne peut rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Il n'y a donc pas de différence significative entre les gains moyens en amplitude articulaire pour le test SLR, entre les groupes de neurodynamique sliders, de neurodynamique tensioners et d'étirement statique, à l'issue d'un traitement de 6 semaines.

6 Discussion

L'objectif initial de ce mémoire d'initiation à la recherche était d'explorer la possibilité qu'un traitement neurodynamique en glissement (sliders) ou en tension (tensioners) soit plus efficace qu'un traitement d'étirement statique pour améliorer la flexibilité des ischio-jambiers, ainsi que de comparer l'efficacité des deux traitements neurodynamiques entre eux. Lors de cette étude, un des deux groupes expérimentaux a reçu un traitement de neurodynamique sliders, le second groupe expérimental a reçu un traitement de neurodynamique tensioners et enfin, le groupe comparateur a lui réalisé un traitement d'étirement statique.

Cette étude vise à répondre aux recommandations de Lopez et ses collaborateurs (2019) qui incitent à ce que les prochaines recherches tentent d'analyser spécifiquement et séparément les effets des deux techniques de neurodynamique pour améliorer la flexibilité musculaire, ainsi que d'évaluer leurs effets à la suite d'un traitement de longue durée.

6.1 Interprétation des résultats

6.1.1 Analyse des résultats pour le critère de jugement principal : KEA

Tout d'abord, afin de s'assurer que les trois groupes étaient comparables au début de l'intervention, l'homogénéité a été vérifiée à l'aide d'un test ANOVA ($p = 0,373$). Il n'y a donc pas de différence significative entre les moyennes des angles KEA des groupes neurodynamique sliders, neurodynamique tensioners et étirement à JO. Ensuite, nous avons comparé les moyennes au test KEA des sujets avant et après traitement, en intra-groupe. L'objectif était alors d'observer si oui ou non, une différence significative était présente au sein des groupes après la réalisation du traitement attribué. A la suite de cette analyse statistique, on retrouve une différence significative entre l'amplitude moyenne avant et après traitement dans chacun des trois groupes (respectivement NS : $p = 0,004$; NT $p = 0,003$ et ES : $p = 0,015$). Comme l'ont réalisé Sharma et al (2019) et McHugh et al (2012), nous avons considéré qu'une modification d'au moins 5° de l'angle KEA était nécessaire afin de s'assurer que celle-ci ne soit pas due à une erreur de mesure. Cette condition a été remplie pour tous les sujets au sein des 3 groupes de l'étude. Les résultats de notre étude tendent à démontrer que les interventions neurodynamiques de glissement ou de tension, réalisées sur une période de 6 semaines, sont efficaces pour améliorer significativement la flexibilité des ischio-jambiers, au même titre que l'étirement statique seul.

Jusqu'à présent, l'efficacité des mobilisations neurodynamiques en glissement et de tension n'avait été démontrée qu'à la suite d'études utilisant des protocoles immédiats

(Castellote-Caballero et al., 2014) ou de durée d'une semaine (Sharma et al., 2016). Une seule étude, celle de De ridder et al. (2019), a évalué la question sur une période de 6 semaines et avait elle aussi constatée une efficacité significative de la neurodynamique en glissement et de l'étirement statique. Notre étude indique désormais que la neurodynamique en tension est elle aussi efficace et de façon significative, pour cette problématique.

Dans un second temps, étant donné que les moyennes initiales des angles KEA présentaient des différences non significatives mais tout de même présentes, entre les trois groupes (NS = 33°, NT = 27° et ES = 30°), nous avons choisi d'analyser le gain articulaire moyen plutôt que la moyenne finale de chacun des groupes lors de l'analyse en inter-groupe. A l'issue de cette analyse, nous ne constatons aucune différence significative ($p = 0,45$) entre les gains articulaires moyens de chacun des trois groupes (NS = $14,2^\circ \pm 5,17$; NT = $12^\circ \pm 2,58$; ES = $16,75^\circ \pm 6,70$). Puisqu'aucune différence significative n'a été mise en évidence, il nous est impossible d'affirmer qu'une des techniques de neurodynamique est supérieure à l'autre pour améliorer la flexibilité des ischio-jambiers, ou encore que les techniques neurodynamiques sont plus efficaces que l'étirement statique pour ce même objectif. L'hypothèse H_0 ne peut donc pas être infirmée et dans ces conditions H_1 ne peut être acceptée.

Ces résultats non significatifs peuvent cependant s'expliquer par un certain nombre de raisons. Premièrement par le faible nombre de sujets dans chacun des groupes (NS : 5 ; NT : 4 ; ES : 4). En effet, cela engendre une faible puissance statistique. Il est probable que cette même étude portée sur un plus grand échantillon, puisse alors faire émerger un écart plus important entre les moyennes des gains articulaires pour le test KEA, permettant ainsi de mettre en lumière la supériorité d'une de ces techniques.

Un second élément à prendre en considération est le fait qu'il est difficile de déterminer si les doses utilisées par les groupes neurodynamiques sont comparables aux doses utilisées par le groupe étirement. En effet, nous comparons ici un nombre de mouvement répétés (10, 15 et 20) pour les groupes neurodynamiques déterminé d'après l'étude de Sharma et al (2016), à un facteur temporel (3x30 secondes) pour le groupe étirement. L'étude de De Ridder et al (2019) a elle constaté une supériorité significative de la technique neurodynamique de glissement par rapport à l'étirement statique en utilisant un dosage plus élevé que notre étude, à savoir 3 x 20 répétitions chaque jour pendant 6 semaines. Il se pourrait alors qu'à partir d'un certain seuil de dosage, ou autrement dit d'un dosage optimal, la neurodynamique en glissement puisse être plus efficace que le protocole d'étirement statique proposé dans cette étude.

Il est difficile à partir de notre étude de déterminer les mécanismes sous-jacents à l'augmentation de la flexibilité des ischio-jambiers constatée dans les différents groupes. Néanmoins, les gains perçus en flexibilité des ischio-jambiers, se traduisant par une diminution des angles KEA, peuvent s'expliquer par une augmentation de la tolérance à l'étirement, mécanisme appartenant à la théorie sensorielle abordée précédemment. Ce phénomène peut s'appliquer pour les trois traitements étudiés. En effet, bien que l'objectif des mobilisations neurodynamiques soit de faire glisser le nerf au sein de son interface mécanique ou bien de majorer la tension sur le nerf, il s'avère que les IJ sont également mis en tension de façon active, avec l'extension du genou. De même, l'étirement statique des IJ peut également engendrer une excursion et une mise en tension du nerf sciatique. Quoi qu'il en soit, ces mises en tension peuvent engendrer des stimuli nociceptifs, responsables de l'activation de mécanismes endogènes inhibiteurs de la douleur. Ces mécanismes endogènes inhibiteurs sont au nombre de trois : Les mécanismes spinaux d'inhibition de la douleur (Gate control), les mécanismes inhibiteurs descendants, et enfin les centres de contrôle supérieur de la douleur. L'implication de cette théorie a été démontrée récemment dans une étude. Cette dernière a constaté une augmentation de l'amplitude de flexion de hanche plus importante chez les sujets qui ont subi une expérience nociceptive à base d'eau froide, entre leurs deux séries d'étirement statique aux IJ, comparativement au groupe contrôle qui n'a réalisé que des étirements (Støve et al., 2019). Ainsi, les mobilisations neurodynamiques et l'étirement statique pourraient tous deux, grâce à un influx sensoriel similaire au froid, réduire la sensibilité à la douleur et donc augmenter la tolérance à l'étirement. Ces deux techniques auraient donc un effet analgésique.

La supériorité de la neurodynamique en glissement, constatée dans différentes études (López et al., 2019) pourrait s'expliquer par le fait que, en plus d'avoir un effet analgésique sollicitant des mécanismes d'inhibitions de la douleur d'origine centrale et périphérique, les mobilisations neurodynamiques en glissement améliorent significativement l'excursion du nerf. Ceci pourrait modifier l'adhérence entre le nerf et son interface mécanique, entraînant une diminution de la mécanosensibilité neurale et de ce fait, augmenter la flexibilité des IJ (De Ridder et al., 2019).

6.1.2 Analyse des résultats pour le critère de jugement secondaire : SLR

Concernant le critère de jugement SLR, qui avait pour but d'évaluer l'évolution de la mécanosensibilité du nerf sciatique, il en ressort que les moyennes au test SLR augmentent dans les trois groupes (NS = 10° ; NT = 8,75° ; ES = 10,5°). Tous les sujets ont dépassé la valeur du changement minimum détectable établie à 3,18° d'après l'étude de De ridder et al. (2019), à

l'exception d'un sujet du groupe NT qui n'a présenté aucune évolution de son amplitude au test SLR à l'issue des 6 semaines d'intervention. Il semble ainsi que les trois traitements proposés améliorent la mécanosensibilité du nerf sciatique, aussi bien les mobilisations neurodynamiques que l'étirement statique, d'autant plus que la variation structurelle lors de la réalisation du test SLR, était positive chez tous les sujets en pré-intervention mais aussi en post-intervention. Ce phénomène constaté pourrait donner du crédit à l'hypothèse selon laquelle les mécanismes sous-jacents à l'amélioration de la flexibilité des ischio-jambiers lors d'intervention en NS, NT et ES sont similaires.

Malgré l'augmentation des moyennes au sein des trois groupes, la différence avant/après traitement n'est significative qu'au sein du groupe NS ($p = 0,006$). En effet, l'analyse statistique en intra-groupe ne met pas en lumière de différence significative pour les groupes NT ($p = 0,133$) et ES ($p = 0,092$). Ce résultat est contradictoire à celui de l'étude de De ridder et al. (2019) qui avait trouvé une différence significative au test SLR avant/après traitement à la fois pour le groupe NS et pour le groupe ET. Ainsi, ce manque de significativité lors de l'analyse intra-groupe peut être une conséquence du faible nombre de sujets au sein des groupes NT et ES. Néanmoins, il est impossible de conclure à une différence significative entre les gains moyens au test SLR des différents groupes, comme le prouve l'analyse statistique en inter-groupe ($p = 0,938$). Dès lors, malgré l'augmentation significative de la moyenne au test SLR dans le groupe NS à l'issue du protocole, on ne peut pas affirmer que le traitement basé sur des mobilisations neurodynamiques en glissement soit plus efficace que les traitements neurodynamiques en tension ou d'étirement statique pour réduire la mécanosensibilité du nerf sciatique. Ces résultats sont de nouveaux contradictoires avec ceux de l'étude de De ridder et al. (2019) qui constate quant-à-elle, une supériorité de la neurodynamique en glissement par rapport à l'étirement statique pour améliorer la moyenne au test SLR, après un protocole de 6 semaines.

Ceci peut s'expliquer par plusieurs éléments. Premièrement, bien que nous ayons également utilisé le test SLR, nous avons déterminé un critère d'arrêt du test différent de celui de De ridder et al (2019), afin de l'utiliser non pas comme un moyen d'évaluation de la flexibilité musculaire, mais plutôt comme ce pourquoi il a été recommandé, à savoir un test neurodynamique (Boyd et al., 2009; Davis et al., 2008). En effet, l'amplitude finale pour notre test était déterminée par l'apparition de la sensation d'étirement et à partir de celle-ci, nous réalisons la différenciation structurelle. Pour l'étude de De ridder et al. (2019), l'amplitude finale était déterminée par l'apparition d'une sensation d'inconfort, plus intense que l'apparition

de la sensation d'étirement, et il n'est pas mentionné si la différenciation structurelle a été réalisée. Enfin, le faible nombre de sujets au sein des différents groupes pourrait ici encore expliquer cette non-significativité des résultats lors de l'analyse inter-groupe.

6.2 Biais et limites

La validation interne de cette étude se retrouve limitée par plusieurs éléments. Premièrement l'assignation secrète, lors de la randomisation, est inadéquate et la mise en aveugle de l'évaluateur n'a pas pu être respectée. En effet, l'entrée des sujets dans l'étude et le rôle d'évaluateur sont des missions qui ont été assurées par l'étudiant en charge du mémoire, qui n'a donc pas été mis en insu. Cela pourrait engendrer un biais de mesure ainsi qu'un biais de détection. Etant donné que les sujets participant à l'étude n'ont pas pu être mis en aveugle, notamment car ils réalisaient en autonomie le protocole et que, par conséquent, cela implique une connaissance du traitement administré, il est nécessaire de citer l'effet Hawthorne comme potentiel biais de cette étude. L'effet Hawthorne décrit une situation dans laquelle les résultats sont améliorés à la suite de modifications du comportement, du fait que le patient participe à l'étude. Cet effet est potentiellement présent d'autant plus lorsque l'on sait que nos tests KEA et SLR présentaient une notion sensorielle pour déterminer l'arrêt du mouvement.

Concernant l'analyse statistique réalisée dans cette étude, cette dernière pourrait être plus encline à limiter le risque alpha, en utilisant uniquement un seul test ANOVA pour réaliser les tests intra-groupe et inter-groupe. De plus, le faible nombre de sujets au sein des différents groupes, constitue une limite évidente dans l'analyse statistique des résultats de l'étude. Enfin, au cours de l'étude, un sujet du groupe étirement a été exclu à la suite de l'apparition d'une blessure aux ischio-jambiers, acquise dans un contexte sportif. Nous avons dans la partie statistique choisi d'analyser les résultats en per protocole, ce qui peut alors constituer un biais d'attrition.

Pour conclure, la validité externe de l'étude est limitée dans la mesure où celle-ci se compose d'individus jeunes et recrutés uniquement au sein de l'ENKRE. Ce phénomène rend difficile la généralisation des résultats à toute une population de sujets ayant des ischio-jambiers hypo-extensibles.

6.3 Perspectives d'évolution des pratiques et des connaissances en kinésithérapie

Les hypo-extensibilités musculaires sont des situations cliniques fréquemment rencontrées en kinésithérapie et pour lesquelles les interventions sont à ce jour généralement composées d'étirements.

Nous avons désormais connaissance de l'efficacité d'un entraînement neurodynamique en glissement et d'un entraînement neurodynamique en tension de 6 semaines sur la souplesse des ischio-jambiers. Cependant, nous ne pouvons conclure à partir de notre étude, à une quelconque différence d'efficacité entre les trois techniques étudiées. A ce titre, la neurodynamique peut constituer une alternative tout aussi efficace et potentiellement plus stimulante pour le patient qu'une succession de temps d'étirement.

Néanmoins, nous ne connaissons pas le temps durant lequel les effets perçus à la suite de ces entraînements perdurent, ce qui pourrait constituer un élément de différenciation. Selon Deridder et al. (2019), les effets à l'issue d'un entraînement de 6 semaines de neurodynamique en glissement perduraient de façon significative encore 4 semaines après l'arrêt du traitement. De plus, le travail excentrique a également fait ses preuves pour améliorer la flexibilité des IJ. Il présente l'avantage d'améliorer les performances sportives et d'apporter un bénéfice dans la prévention de blessure, contrairement aux méthodes d'étirement (O'Sullivan et al., 2012). Etant donné que les mécanismes sous-jacents aux améliorations d'amplitude sont différents entre ces techniques, il serait intéressant d'étudier l'effet de traitement combinant les deux.

En conséquence, les futures recherches devraient chercher à inclure une taille d'échantillon plus importante ainsi que d'ajouter un suivi pour déterminer la durée pendant laquelle les changements de flexibilité sont maintenus. Il serait également pertinent de comparer différentes posologies en neurodynamique afin d'essayer de déterminer le dosage optimal, utile pour la pratique clinique et d'évaluer l'effet d'un traitement liant un travail excentrique à des mobilisations neurodynamiques.

7 Conclusion

Au travers de ce mémoire d'initiation à la recherche, nous avons souhaité évaluer l'intérêt de mettre en place un traitement composé de mobilisations neurodynamiques pour la prise en charge des hypo-extensibilités au niveau des ischio-jambiers. L'objectif était de savoir s'il existait une supériorité d'une des deux mobilisations neurodynamiques (glissement ou tension) pour traiter ce phénomène et si ces dernières étaient plus efficaces que le traitement par étirement statique.

Nous pouvons à l'issue de cette étude, remarquer que les deux mobilisations neurodynamiques sont efficaces pour améliorer significativement la flexibilité des ischio-jambiers, au même titre que l'étirement statique, après un protocole de 6 semaines. En revanche, nous ne pouvons valider notre hypothèse initiale, puisque nous ne constatons pas de différence significative dans l'amélioration de la flexibilité entre les trois traitements. Malgré le fait que les résultats de la présente étude soient à nuancer en raison des biais et des limites qu'elle peut présenter, ils nous amènent à penser que la neurodynamique, dans sa forme en glissement ou en tension, puisse constituer une alternative tout aussi efficace que l'étirement statique pour la prise en charge des déficits de flexibilité.

De futures études avec des échantillons plus importants et ajoutant un suivi à l'issue du protocole sont recommandées afin d'améliorer la validité interne et d'ajouter un critère de jugement pertinent.

Par l'intermédiaire de cette étude, j'ai pu découvrir quels étaient les mécanismes potentiellement responsables de l'amélioration de la flexibilité après l'utilisation de techniques fréquemment utilisées en kinésithérapie. Cela me permet désormais de comprendre l'impact de ces techniques et de raisonner dans ma pratique par rapport à cela, l'objectif final étant d'apporter au patient la prise en charge qui sera la plus appropriée à ses besoins. De plus, lors de cette expérience que constitue la réalisation d'un mémoire, j'ai dû faire émerger en moi des qualités de gestionnaire et de « débrouillardise » qui me serviront par la suite.

Bibliographie

- Abdel-aziem, A. A., Soliman, E. S., & Abdelraouf, O. R. (2018). Isokinetic peak torque and flexibility changes of the hamstring muscles after eccentric training: Trained versus untrained subjects. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, 52(4), 308-314. <https://doi.org/10.1016/j.aott.2018.05.003>
- Balagué, F., Mannion, A. F., Pellisé, F., & Cedraschi, C. (2012). Non-specific low back pain. *The Lancet*, 379(9814), 482-491. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)60610-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60610-7)
- Bandy, W. D., Irion, J. M., & Briggler, M. (1997). The Effect of Time and Frequency of Static Stretching on Flexibility of the Hamstring Muscles. *Physical Therapy*, 77(10), 1090-1096. <https://doi.org/10.1093/ptj/77.10.1090>
- Behm, D. G., Blazevich, A. J., Kay, A. D., & McHugh, M. (2016). Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: A systematic review. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 41(1), 1-11. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0235>
- Blazevich, A. J. (2019). Adaptations in the passive mechanical properties of skeletal muscle to altered patterns of use. *Journal of Applied Physiology*, 126(5), 1483-1491. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00700.2018>
- Bonser, R. J., Hancock, C. L., Hansberger, B. L., Loutsch, R. A., Stanford, E. K., Zeigel, A. K., Baker, R. T., May, J., Nasypany, A., & Cheatham, S. (2017). Changes in Hamstring Range of Motion After Neurodynamic Sciatic Sliders: A Critically Appraised Topic. *Journal of Sport Rehabilitation*, 26(4), 311-315. <https://doi.org/10.1123/jsr.2015-0166>
- Boyd, B. S. (2012). Measurement properties of a hand-held inclinometer during straight leg raise neurodynamic testing. *Physiotherapy*, 98(2), 174-179. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2011.04.352>
- Boyd, B. S., Wanek, L., Gray, A. T., & Topp, K. S. (2009). Mechanosensitivity of the Lower Extremity Nervous System During Straight-Leg Raise Neurodynamic Testing in Healthy Individuals. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 39(11), 780-790. <https://doi.org/10.2519/jospt.2009.3002>
- Brockett, C. L., Morgan, D. L., & Proske, U. (2001). *Applied Sciences*.
- Castellote-Caballero, Y., Valenza, M. C., Martín-Martín, L., Cabrera-Martos, I., Puente-dura, E. J., & Fernández-de-las-Peñas, C. (2013). Effects of a neurodynamic sliding technique on hamstring flexibility in healthy male soccer players. A pilot study. *Physical Therapy in Sport*, 14(3), 156-162. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2012.07.004>
- Castellote-Caballero, Y., Valenza, M. C., Puente-dura, E. J., Fernández-de-las-Peñas, C., & Alburquerque-Sendín, F. (2014). Immediate Effects of Neurodynamic Sliding versus Muscle Stretching on Hamstring Flexibility in Subjects with Short Hamstring Syndrome. *Journal of Sports Medicine*, 2014, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2014/127471>
- Cipriani, D. J., Terry, M. E., Haines, M. A., Tabibnia, A. P., & Lyssanova, O. (2012). Effect of Stretch Frequency and Sex on the Rate of Gain and Rate of Loss in Muscle Flexibility During a Hamstring-Stretching Program: A Randomized Single-Blind Longitudinal Study. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(8), 2119-2129. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823b862a>
- Coppieters, M. W., & Butler, D. S. (2008). Do 'sliders' slide and 'tensioners' tension? An analysis of neurodynamic techniques and considerations regarding their application. *Manual Therapy*, 13(3), 213-221. <https://doi.org/10.1016/j.math.2006.12.008>
- Coppieters, M. W., Hough, A. D., & Dilley, A. (2009). Different Nerve-Gliding Exercises Induce Different Magnitudes of Median Nerve Longitudinal Excursion: An In Vivo Study Using Dynamic Ultrasound Imaging. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 39(3), 164-171. <https://doi.org/10.2519/jospt.2009.2913>
- Covert, C. A., Alexander, M. P., Petronis, J. J., & Davis, D. S. (2010). Comparison of Ballistic and Static Stretching on Hamstring Muscle Length Using an Equal Stretching Dose: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(11), 3008-3014. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bf3bb0>

- Davis, D. S., Quinn, R. O., Whiteman, C. T., Williams, J. D., & Young, C. R. (2008). Concurrent Validity of Four Clinical Tests Used to Measure Hamstring Flexibility: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 583-588. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816359f2>
- De Jaeger, D., Joumaa, V., & Herzog, W. (2015). Intermittent stretch training of rabbit plantarflexor muscles increases soleus mass and serial sarcomere number. *Journal of Applied Physiology*, 118(12), 1467-1473. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00515.2014>
- De Ridder, R., De Blaiser, C., Verrelst, R., De Saer, R., Desmet, A., & Schuermans, J. (2019). Neurodynamic sliders promote flexibility in tight hamstring syndrome. *European Journal of Sport Science*, 1-8. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1675770>
- Decoster, L. C., Cleland, J., & Altieri, C. (2005). The Effects of Hamstring Stretching on Range of Motion : A Systematic Literature Review. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 35(6), 377-387. <https://doi.org/10.2519/jospt.2005.35.6.377>
- Driscoll, P. J., Glasby, M. A., & Lawson, G. M. (2002). An in vivo study of peripheral nerves in continuity : Biomechanical and physiological responses to elongation. *Journal of Orthopaedic Research*, 20(2), 370-375. [https://doi.org/10.1016/S0736-0266\(01\)00104-8](https://doi.org/10.1016/S0736-0266(01)00104-8)
- Edouard, P., Morel, N., Serra, J.-M., Pruvost, J., Oullion, R., & Depiesse, F. (2011). Prévention des lésions de l'appareil locomoteur liées à la pratique de l'athlétisme sur piste. *Revue des données épidémiologiques. Science & Sports*, 26(6), 307-315. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2011.04.003>
- Ellis, R. F., & Hing, W. A. (2008). Neural Mobilization : A Systematic Review of Randomized Controlled Trials with an Analysis of Therapeutic Efficacy. *Journal of Manual & Manipulative Therapy*, 16(1), 8-22. <https://doi.org/10.1179/106698108790818594>
- Ellis, R. F., Hing, W. A., & McNair, P. J. (2012). Comparison of Longitudinal Sciatic Nerve Movement With Different Mobilization Exercises : An In Vivo Study Utilizing Ultrasound Imaging. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 42(8), 667-675. <https://doi.org/10.2519/jospt.2012.3854>
- Freitas, S. R., Mendes, B., Le Sant, G., Andrade, R. J., Nordez, A., & Milanovic, Z. (2018). Can chronic stretching change the muscle-tendon mechanical properties? A review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(3), 794-806. <https://doi.org/10.1111/sms.12957>
- Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I.-M., Nieman, D. C., & Swain, D. P. (2011). Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory, Musculoskeletal, and Neuromotor Fitness in Apparently Healthy Adults : Guidance for Prescribing Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(7), 1334-1359. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213fefb>
- Geoffroy, C. (2015). Méthodes et positions d'étirements : Logique, précision et individualisation pour plus d'efficacité. *Kinésithérapie, la Revue*, 15(164-165), 41-52. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2015.07.002>
- Guex, K., Degache, F., Morisod, C., Saily, M., & Millet, G. P. (2016). Hamstring Architectural and Functional Adaptations Following Long vs. Short Muscle Length Eccentric Training. *Frontiers in Physiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00340>
- Heiderscheit, B. C., Sherry, M. A., Silder, A., Chumanov, E. S., & Thelen, D. G. (2010). Hamstring Strain Injuries : Recommendations for Diagnosis, Rehabilitation, and Injury Prevention. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(2), 67-81. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3047>
- Kay, A. D., Husbands-Beasley, J., & Blazeovich, A. J. (2015). Effects of Contract-Relax, Static Stretching, and Isometric Contractions on Muscle-Tendon Mechanics: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(10), 2181-2190. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000632>
- Koli, B., & Anap, D. (2018). PREVALENCE AND SEVERITY OF HAMSTRING TIGHTNESS AMONG COLLEGE STUDENT : A CROSS SECTIONAL STUDY. *International Journal of Clinical and Biomedical Research*, 4(2), 65. <https://doi.org/10.5455/ijcbr.2018.42.14>

- Konrad, A., & Tilp, M. (2014). Increased range of motion after static stretching is not due to changes in muscle and tendon structures. *Clinical Biomechanics*, 29(6), 636-642. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.04.013>
- Krivickas, L. S., & Feinberg, J. H. (1996). Lower extremity injuries in college athletes : Relation between ligamentous laxity and lower extremity muscle tightness. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 77(11), 1139-1143. [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(96\)90137-9](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(96)90137-9)
- Kuilart, K. E., Woollam, M., Barling, E., & Lucas, N. (2005). The active knee extension test and Slump test in subjects with perceived hamstring tightness. *International Journal of Osteopathic Medicine*, 8(3), 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.ijosm.2005.07.004>
- López, L., Torres, J. R., Rubio, A. O., Torres Sánchez, I., Cabrera Martos, I., & Valenza, M. C. (2019). Effects of neurodynamic treatment on hamstrings flexibility : A systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy in Sport*, 40, 244-250. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.10.005>
- McHugh, M. P., Johnson, C. D., & Morrison, R. H. (2012). The role of neural tension in hamstring flexibility : Neural tension and flexibility. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 22(2), 164-169. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01180.x>
- Medeiros, D. M., & Martini, T. F. (2018). Chronic effect of different types of stretching on ankle dorsiflexion range of motion : Systematic review and meta-analysis. *The Foot*, 34, 28-35. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2017.09.006>
- Millesi, H., Zoch, G., & Reihnsner, R. (1995). *Mechanical Properties of Peripheral Nerves*.
- Moltubakk, M. M. H. (2019). *Effects of long-term stretching training on muscle-tendon morphology, mechanics and function*. <https://nih.brage.unit.no/nih-xmlui/handle/11250/2581036>
- Nee, R. J., & Butler, D. (2006). Management of peripheral neuropathic pain : Integrating neurobiology, neurodynamics, and clinical evidence. *Physical Therapy in Sport*, 7(1), 36-49. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2005.10.002>
- O'Sullivan, K., McAuliffe, S., & DeBurca, N. (2012). The effects of eccentric training on lower limb flexibility : A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 46(12), 838-845. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090835>
- Satkunskiene, D., Khair, R. M., Muanjai, P., Mickevicius, M., & Kamandulis, S. (2020). Immediate effects of neurodynamic nerve gliding versus static stretching on hamstring neuromechanical properties. *European Journal of Applied Physiology*, 120(9), 2127-2135. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04422-5>
- Schmid, A. B., Brunner, F., Luomajoki, H., Held, U., Bachmann, L. M., Künzer, S., & Coppieters, M. W. (2009). Reliability of clinical tests to evaluate nerve function and mechanosensitivity of the upper limb peripheral nervous system. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 10(1), 11. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-10-11>
- Shacklock, M. (1995). Neurodynamics. *Physiotherapy*, 81(1), 9-16. [https://doi.org/10.1016/S0031-9406\(05\)67024-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9406(05)67024-1)
- Shacklock, M. (2012). Le concept neurodynamique. *Kinésithérapie, la Revue*, 12(123), 17-23. [https://doi.org/10.1016/S1779-0123\(12\)75284-1](https://doi.org/10.1016/S1779-0123(12)75284-1)
- Shakya, N. R., & Manandhar, S. (2018). *Prevalence of Hamstring muscle tightness among undergraduate physiotherapy students of Nepal using Passive Knee Extension Angle Test*. 8(1), 6.
- Sharma, S., Balthillaya, G., Rao, R., & Mani, R. (2016). Short term effectiveness of neural sliders and neural tensioners as an adjunct to static stretching of hamstrings on knee extension angle in healthy individuals : A randomized controlled trial. *Physical Therapy in Sport*, 17, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2015.03.003>
- Støve, M. P., Hirata, R. P., & Palsson, T. S. (2019). Muscle stretching – the potential role of endogenous pain inhibitory modulation on stretch tolerance. *Scandinavian Journal of Pain*, 19(2), 415-422. <https://doi.org/10.1515/sjpain-2018-0334>

- Thomas, E., Bianco, A., Paoli, A., & Palma, A. (2018). The Relation Between Stretching Typology and Stretching Duration : The Effects on Range of Motion. *International Journal of Sports Medicine*, 39(04), 243-254. <https://doi.org/10.1055/s-0044-101146>
- Topp, K. S., & Boyd, B. S. (2006). Structure and Biomechanics of Peripheral Nerves : Nerve Responses to Physical Stresses and Implications for Physical Therapist Practice. *Physical Therapy*, 86(1), 92-109. <https://doi.org/10.1093/ptj/86.1.92>
- Turl, S. E., & George, K. P. (1998). Adverse Neural Tension : A Factor in Repetitive Hamstring Strain? *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 27(1), 16-21. <https://doi.org/10.2519/jospt.1998.27.1.16>
- van der Worp, H., van Ark, M., Roerink, S., Pepping, G.-J., van den Akker-Scheek, I., & Zwerver, J. (2011). Risk factors for patellar tendinopathy : A systematic review of the literature. *British Journal of Sports Medicine*, 45(5), 446-452. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2011.084079>
- Waldhelm, A., Gacek, M., Davis, H., Saia, C., & Kirby, B. (2019). ACUTE EFFECTS OF NEURAL GLIDING ON ATHLETIC PERFORMANCE. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 14(4), 603-612.
- Wepler, C. H., & Magnusson, S. P. (2010). Increasing Muscle Extensibility : A Matter of Increasing Length or Modifying Sensation? *Physical Therapy*, 90(3), 438-449. <https://doi.org/10.2522/ptj.20090012>
- Youdas, J. W., Krause, D. A., Hollman, J. H., Harmsen, W. S., & Laskowski, E. (2005). The Influence of Gender and Age on Hamstring Muscle Length in Healthy Adults. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 35(4), 246-252. <https://doi.org/10.2519/jospt.2005.35.4.246>

Annexes

Annexe I : Lettre d'information aux sujets concernant leur participation à la recherche dans le cadre d'un mémoire d'initiation à la recherche en kinésithérapie.

Annexe II : Formulaire de consentement pour la participation à une étude dans le cadre d'un mémoire d'initiation à la recherche en kinésithérapie.

Annexe III : Test Knee Extension Angle et test Straight Leg Raise.

Annexe IV : Protocole d'exercice neurodynamique.

Annexe V : Protocole d'étirement statique des ischio-jambiers.

ANNEXE I

Lettre d'informations aux sujets concernant leur participation à l'étude, dans le cadre d'un mémoire d'initiation à la recherche en kinésithérapie

Sujet : Effet d'un traitement neurodynamique sur l'extensibilité des ischio-jambiers par rapport à l'étirement statique.

Etudiant responsable de cette recherche : RONDE Ilan

Madame, Monsieur,

Je vous propose de participer à mon étude dans le cadre du mémoire d'ingénierie et d'initiation à la recherche en kinésithérapie que j'ai à réaliser pour l'obtention de mon diplôme d'État. Prenez le temps de lire ces informations et n'hésitez pas à me questionner si certaines questions vous viennent.

But de l'étude : Comparer l'efficacité entre deux techniques de neurodynamique sur l'extensibilité des ischio-jambiers par rapport à l'étirement statique chez des sujets sains.

Déroulement de l'étude : Si vous êtes éligible à participer à l'étude, une expérimentation **de 6 semaines** sera mise en place à l'issue d'une évaluation initiale. Lors de l'entretien avec l'intervenant en charge de l'étude, le protocole exact du groupe, dans lequel vous serez aléatoirement attribué, vous sera expliqué. Vous réaliserez sous la supervision de l'intervenant la première séance de votre protocole, que vous poursuivrez ensuite en **autonomie à domicile**. Un rendez-vous à l'issue des 6 semaines de protocole aura lieu afin d'effectuer les mêmes évaluations qu'au début de l'étude.

Participation, droit de retrait et anonymat : Vous acceptez volontairement de participer à cette étude. Elle peut être suspendue à votre demande, à tout moment et sans justification requise. Mr RONDE Ilan recueillera et consignera seulement les informations et les données utiles à l'élaboration de son projet d'initiation à la recherche. Concernant votre anonymat, il sera entièrement préservé, aucun nom ni information personnelle n'apparaîtra sur l'écrit final et tous les renseignements collectés resteront strictement confidentiels, comme l'impose le respect du secret professionnel.

Rémunération : La participation au projet ne donne lieu à aucune rémunération.

Je vous remercie pour le temps consacré à la lecture de ce document. Si vous êtes d'accord pour participer à cette étude, je vous invite à signer notre formulaire de consentement.

ANNEXE II :

Formulaire de consentement pour la participation à une étude dans le cadre d'un mémoire d'initiation à la recherche en kinésithérapie
--

Je soussigné(e)..... accepte de participer à l'étude énoncée ci-dessus.

Je certifie avoir compris les objectifs et les modalités de l'étude qui m'ont été clairement expliqués par l'étudiant Ilan RONDÉ.

Durant cette expérience, j'accepte que soit recueillies différentes mesures. J'ai conscience que les informations récoltées sont strictement confidentielles et à usage exclusif de l'investigateur concerné. J'ai été informé(e) que mon anonymat sera préservé dans tous rapports ou publications dans le respect du secret médical.

J'accepte que les données recueillies pour ce projet de recherche soient conservées dans une base de données et fassent l'objet d'un traitement informatisé non nominatif par les organisateurs de ce projet.

J'ai compris que ma participation à l'étude est volontaire. Je suis libre d'accepter ou de refuser de participer, et je suis en mesure d'arrêter à tout moment ma participation à cette étude. Je conserve tous mes droits garantis par la loi. Après avoir obtenu tous les renseignements nécessaires par l'étudiant en charge de ce projet, j'accepte librement et volontairement de participer à la recherche qui m'est proposée.

Nom de l'investigateur de la recherche : Fait à :, le Signature de l'investigateur :	Nom du participant : Fait à :, le Signature du participant :
---	---

ANNEXE III

Test Knee Extension Angle (KEA) et test du Straight Leg Raise (SLR)

La mesure du test KEA est effectuée avec le patient allongé en décubitus dorsal avec les deux membres inférieurs étendus sur la table. Une sangle maintient la jambe non testée sur le socle d'examen pendant que le premier évaluateur fléchit passivement la hanche testée à 90° et veille à maintenir cet angle. Dans un second temps, le deuxième évaluateur étend passivement le genou homolatéral. Cliniquement, le point final est atteint lorsque soit le testeur ressent une légère résistance, soit le sujet signale une sensation d'étirement forte mais tolérable dans la musculature des ischio-jambiers.

Une paire d'inclinomètres est utilisée pour les besoins du test. Le premier inclinomètre est placé à la face antérieure de la cuisse, au niveau du 1/3 inférieur, au-dessus de la patella. Le second est placé à la face antérieure du tibia, au niveau de son 1/3 inférieur, au-dessus de la cheville. La fiabilité intra-testeur du test KEA mesuré avec une paire d'inclinomètres est de 0,99. Un KEA \geq à 20° est défini comme score limite indiquant la raideur des muscles ischio-jambiers (Davis et al., 2008).

Test SLR (Boyd, 2012) : Le participant est allongé en décubitus dorsal sur la table. Le genou du participant a été manuellement placé en pleine extension, déterminée par la butée en fin d'amplitude, et a été maintenu ainsi pendant tout le mouvement du SLR. La hanche du participant a ensuite été déplacée passivement en flexion tout en évitant manuellement les mouvements des membres dans le plan transversal ou frontal. Le mouvement d'élévation s'arrête lorsque le participant indique verbalement la première apparition de symptôme. A partir de cette amplitude appelée D1, une différenciation structurelle est réalisée. Celle-ci s'est effectuée par une adduction puis une rotation médiale de hanche. Ces mouvements additionnels ajoutent une contrainte supplémentaire à la structure neurale postérieure du membre inférieur, sans modifier la contrainte exercée sur les ischio-jambiers ou l'articulation de la hanche. Si les symptômes décrits s'intensifient par la différenciation structurelle, on peut en conclure que la mécanosensibilité du système nerveux est mise en jeu.

Le mouvement du SLR a été effectué lentement pour réduire l'impact potentiel d'un retard entre la notification verbale des symptômes et l'arrêt du mouvement par le testeur. L'amplitude de mouvement, mesurée par l'inclinomètre à main (placé à la face antérieure du tibia) lors de la douleur D1, a été notée et le membre a été remis en place sur le socle.

ANNEXE IV

Protocole d'exercices neurodynamiques

Les protocoles de neurodynamique concernent uniquement les groupes expérimentaux et sont enseignés aux participants lors de la séance d'apprentissage avec le kinésithérapeute en charge de l'intervention. Les sujets réalisent les exercices en autonomie à domicile.

Technique de glissement neurodynamique (NS) : (Sharma et al., 2016)

Le groupe bénéficiant du traitement neurodynamique de glissement (NS) réalisera l'exercice de neurodynamique intitulé : «Seated Straight Leg Slider» (SSLS). Pour réaliser cette technique, les sujets adoptent une position assise en hauteur, s'affaissent (flexion thoracique et lombaire) avec les mains placées dans le dos au niveau du sacrum. Cette position doit être maintenue tout au long de l'exercice.

Le SSLS se divise ensuite en deux étapes avec à chaque fois une combinaison de mouvements alternés. La première étape se compose d'une extension du genou et d'une flexion dorsale maximale de la cheville (augmentation de la tension neurale) combinées avec une extension cervicale (diminution de la tension neurale). La seconde étape du SSLS correspond à une flexion du genou et une flexion plantaire de la cheville (diminution de la tension neurale) combinées à la flexion cervicale (augmentation de la tension neurale).

Technique de glissement en tension (NT) : (Sharma et al., 2016)

La tension neurodynamique (NT) est le deuxième type de mobilisation neurale où les mouvements articulaires sont effectués simultanément pour allonger le lit nerveux, appliquant ainsi une charge de traction sur les structures nerveuses. Cette opération est effectuée dans la même position que pour l'exercice de glissement neurodynamique (NS).

Le mouvement se divise également en deux phases avec de nouveau une combinaison de mouvements alternés. La première étape se compose d'une extension du genou et d'une flexion dorsale neutre (maintenir la position neutre) de la cheville combinées à une flexion cervicale (augmentation de la tension neurale). Cette posture est maintenue 1 seconde. La seconde étape comprend une flexion du genou et une flexion plantaire de la cheville (diminution de la tension neurale) combinées à une extension cervicale (diminution de la tension neurale).

Il est demandé au sujet de réaliser 3 séries de respectivement 10, 15 puis 20 répétitions, cinq fois par semaine durant 6 semaines avec 30 secondes de pause entre chaque série.



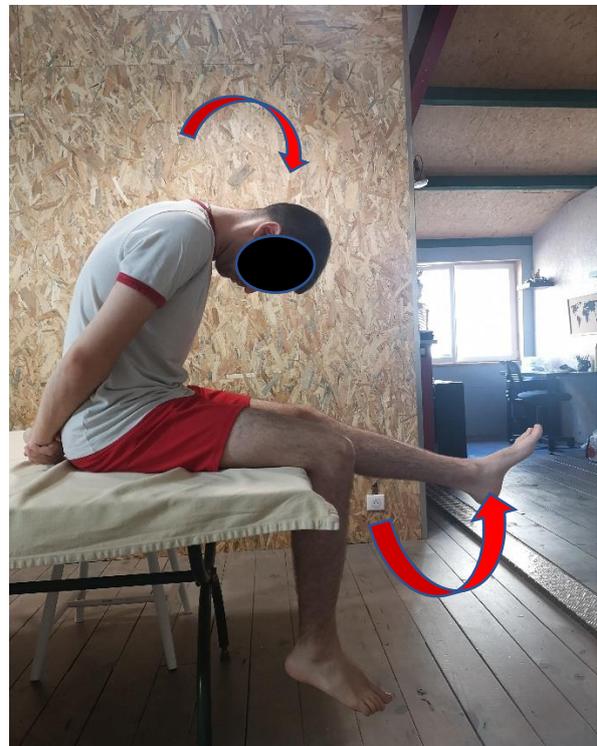
*Figure 13 : Position initiale
Neurodynamique Glissement*



*Figure 14 : Position finale Neurodynamique
Glissement*



*Figure 15 : Position initiale
Neurodynamique Tension*



*Figure 16 : Position finale Neurodynamique
Tension*

ANNEXE V

Protocole d'étirement statique des ischio-jambiers

Le protocole d'étirement statique des ischio-jambiers concerne uniquement le groupe contrôle et est enseigné à chacun des individus du groupe lors de la première séance supervisée par le kinésithérapeute en charge de l'intervention. Les sujets réalisent ensuite le protocole à leur domicile et en autonomie.

Etirement passif : Technique décrite par (Cipriani et al., 2012)

Le sujet place le talon de la jambe à étirer sur une surface, à hauteur de la mi-cuisse, permettant une flexion de hanche et une extension quasi-complète du genou. Le sujet veillera à maintenir sa colonne vertébrale en position neutre, à savoir en légère lordose. Afin d'augmenter la tension de la loge postérieure sans influencer trop fortement sur le nerf sciatique, le sujet effectuera une antéversion du bassin jusqu'à ce qu'une sensation d'étirement inconfortable soit ressentie dans la partie postérieure de la cuisse. Les sujets maintiendront cette position d'inconfort durant toute la durée de l'étirement, augmentant l'antéversion du bassin si nécessaire afin de conserver la sensation d'inconfort. Cette position d'étirement sera maintenue 30 secondes et répétée au total 3 fois, entrecoupée de 30 secondes de pause entre les séries.

Le programme durera 6 semaines et les séances seront effectuées 5 fois par semaine.



Figure 17 : Position de départ Etirement Statique

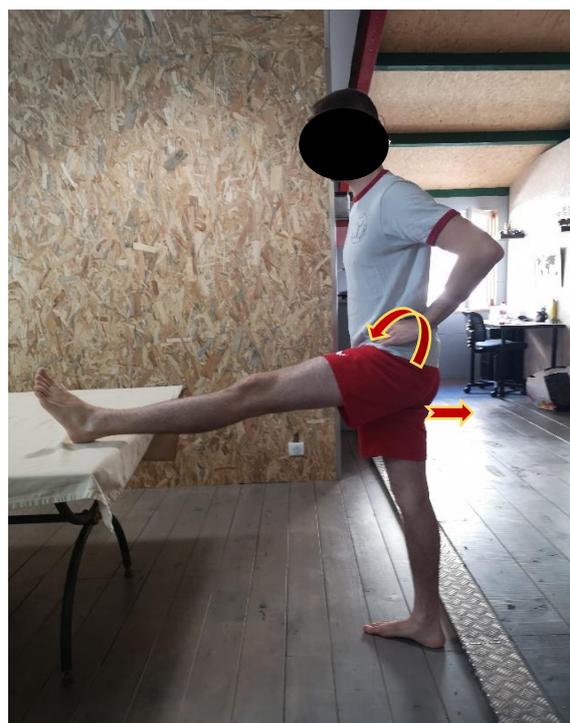


Figure 18 : Position d'arrivée Etirement Statique

Titre : « Efficacité de la neurodynamique comparée à l'étirement statique dans l'amélioration de la flexibilité du genou : Essai Contrôlé Randomisé »

Mots clés : Neurodynamique ; Etirement ; Ischio-jambier ; Flexibilité ; Amplitude de mouvement

Résumé :

Introduction : L'extensibilité musculaire dépend de facteurs anatomiques et sensoriels. La mobilité du nerf semble être un potentiel facteur limitant de celle-ci. Ainsi, la neurodynamique pourrait avoir un rôle important à jouer lorsque l'objectif est l'amélioration de la flexibilité musculaire.

Objectif : Evaluer l'effet des sliders et des tensioners du nerf sciatique et les comparer à l'étirement statique, pour améliorer la flexibilité des ischio-jambiers (IJ).

Méthode : 14 personnes présentant une hypo-extensibilité des ischio-jambiers ont été aléatoirement réparties en trois groupes : Un groupe neurodynamique qui effectuait des « sliders » en position Slump, un autre groupe neurodynamique qui réalisait des « tensioners » en position Slump et enfin un groupe contrôle qui réalisait un étirement statique des IJ. L'intervention a duré 6 semaines à raison de 5 séances par semaine. L'extensibilité des IJ a été mesurée à l'aide du test Knee Extension Angle (KEA) et la mécanosensibilité du nerf sciatique par le test Straight Leg Raise (SLR).

Résultats : Malgré une efficacité significative des trois techniques ($p < 0,05$), on ne retrouve aucune différence significative ($p = 0,45$) entre les gains articulaires moyens des trois groupes mesurés au KEA, avec un intervalle de confiance à 95%.

Discussion : Les deux types de mobilisation neurodynamique semblent constituer un traitement efficace pour la prise en charge de l'hypo-extensibilité des IJ. Cependant, nous ne pouvons conclure à partir de ces résultats de la supériorité d'un des traitements. D'autres études, de meilleure qualité méthodologique, sont nécessaires afin d'apporter davantage de preuve.

Key words: Neurodynamic ; Stretching ; Hamstring ; Flexibility ; Range of motion

Abstract:

Background: Muscle extensibility depends on anatomical and sensory factors. Nerve mobility seems to be a potential limiting factor. Thus, neurodynamics could have an important role to play when the goal is to improve muscle flexibility.

Objective: To evaluate the effect of sciatic nerve sliders and tensioners and to compare them to static stretching to improve hamstring flexibility.

Method: 14 people with hamstring hypoextensibility were randomly and divided in three groups: A neurodynamic group that performed "sliders" in the Slump position, another neurodynamic group that performed "tensioners" in the Slump position, and finally a control group that performed static stretching of the IJ. The intervention lasted 6 weeks with 5 sessions per week. The extensibility of the IJ was measured using the Knee Extension Angle (KEA) test and the mechanosensibility of the sciatic nerve by the Straight Leg Raise (SLR) test.

Results: Despite the significant effectiveness of the three techniques ($p < 0.05$), there was no significant difference between ($p = 0,45$) the mean joint gains of the three groups, measured with the KEA, with a 95% confidence interval.

Discussion: Both types of neurodynamic mobilization appear to be an effective treatment for the management of IJ hypoextensibility. However, we cannot conclude from these results that either treatment is superior. Other studies with better methodological quality are needed to provide more evidence.