



HAL
open science

Effets des étirements dynamiques des ischio-jambiers sur la force musculaire maximale chez le sportif régulier

Laure Chancibot

► To cite this version:

Laure Chancibot. Effets des étirements dynamiques des ischio-jambiers sur la force musculaire maximale chez le sportif régulier. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. dumas-04754118

HAL Id: dumas-04754118

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04754118v1>

Submitted on 20 Nov 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ
ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION
FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE**

**EFFETS DES ETIREMENTS DYNAMIQUES DES
ISCHIO-JAMBIERS SUR LA FORCE
MUSCULAIRE MAXIMALE CHEZ LE SPORTIF
REGULIER**

CHANCIBOT Laure
Directeur de mémoire: M. BLACHERE Adrien

REMERCIEMENTS

Je tenais d'abord à remercier Adrien Blachère, mon directeur de mémoire, pour le suivi et le soutien qu'il nous a apporté tout au long de cette année. Merci à toi pour ta patience et d'avoir répondu à mes questions même les plus farfelues.

Je remercie également toute ma famille, sans qui je n'aurais jamais pu faire ses études s'ils n'avaient pas été là. Merci d'avoir été patients, même très très patients pendant la PACES et d'avoir su gérer mes crises de nerfs pendant cette période compliquée. Merci également d'avoir pu me payer les études dont je rêvais et d'avoir subvenu à mes besoins pendant ces 5 longues années. Promis, je vous redevrai ça un jour !

Je tiens à remercier aussi tous mes relecteurs sans qui ce mémoire serait bourré de fautes. Alors merci Maurine, Virgile, Célia, Marie, Tessa et ma petite maman, la pro des fautes d'orthographe. Merci pour les conseils que vous avez pu m'apporter à la suite de cette relecture interminable...

Continuons dans les remerciements, en parlant de vous, mes chères copines sans qui ces 4 années de kiné n'auraient pas eu la même saveur. Merci d'avoir été là dans les moments de joie, de tristesse, de doute, de fête pour repartir avec des souvenirs pleins la tête de cette formation. Merci aussi d'avoir bien voulu m'héberger toute cette année et de m'avoir régaler avec vos bons petits plats ! Alors Laurie, Célia, Tessa, Alexandrine, celle-là elle est pour vous !

Enfin, merci à tous mes tuteurs de stage pour leur transmission du savoir et leur gentillesse tout au long de mes stages. C'est en partie grâce à vous si j'en suis là aujourd'hui et je vous remercie pour ça. Merci à Johanne particulièrement, ma première tutrice, de m'avoir soutenu ces 4 années. Tu as su me redonner confiance et me faire confiance et je t'en remercie ! Hâte de revenir au cabinet cet été ! Merci également à Cécile et Virgile d'avoir été si formateur avec moi pour mon dernier stage, j'en garde que des bons souvenirs, vous êtes géniaux et j'ai hâte de bosser avec vous cet été !

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Cadre contextuel	1
1.2	Les étirements.....	1
1.2.1	Physiologie musculaire	1
1.2.2	Définition générale des étirements.....	7
1.2.3	Les différents types d'étirements.....	8
1.2.4	Place des étirements dynamiques dans la kinésithérapie.....	12
1.2.5	Place des étirements dans le sport.....	14
1.3	Les ischio-jambiers	14
1.3.1	Anatomie.....	14
1.3.2	Données épidémiologiques.....	16
1.4	La force musculaire	17
1.4.1	Définition	17
1.4.2	L'isocinétisme.....	18
1.5	Objectifs de la revue.....	21
2	Méthode.....	23
2.1	Critères d'éligibilité des études pour cette revue.....	23
2.1.1	Critères d'inclusion	23
2.1.2	Critères d'exclusion	23
2.2	Schéma d'étude	23
2.3	Méthodologie de recherche des études.....	24
2.3.1	Équation de recherche sur la base de données PubMed et Cochrane	25
2.3.2	Équation de recherche sur la base de données PEDro	26
2.3.3	Équation de recherche sur la base de données Google Scholar	26
2.4	Méthode de sélection des études.....	26
2.4.1	Sélection des études.....	26
2.4.2	Évaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées.....	27
2.5	Méthode d'extraction et d'analyse des données	27
2.5.1	Extraction des données.....	27
2.5.2	Analyse des données	27
2.6	Méthode de synthèse des résultats	28
3	Résultats	29
3.1	Description des études et processus de sélection	29

3.1.1	Processus de sélection des études	29
3.1.2	Description et synthèse des études incluses	31
3.2	Risques de biais des études incluses	33
3.3	Effets de l'intervention sur les critères de jugement	34
3.3.1	Force musculaire maximale des ischio-jambiers en concentrique.....	34
3.3.2	Force musculaire maximale des ischio-jambiers en excentrique.....	37
3.3.3	Méta-analyse.....	40
4	<i>Discussion</i>	42
4.1	Analyse des principaux résultats	42
4.1.1	Analyse des résultats des différents critères de jugement.....	42
4.1.2	Analyse des biais et de l'hétérogénéité de la revue.....	48
4.1.3	Qualité des preuves	52
4.2	Applicabilité des résultats en pratique clinique	53
4.3	Biais potentiel de la revue	54
4.4	Conflits d'intérêts.....	55
5	<i>Conclusion</i>	56
5.1	Implication pour la pratique clinique.....	56
5.2	Implication pour la recherche.....	56
6	<i>Bibliographie</i>	58
7	<i>Annexes</i>	63

Liste des abréviations présentes dans cette revue

CC : Composante contractile

CES : Composante élastique en série

CEP : Composante élastique en parallèle

O.T.G. : Organes tendineux de Golgi

EMG : Électromyogramme

CRE : Contracté relâché étiré

CRAC : Contracté relâché avec contraction de l'antagoniste (en anglais)

HAS : Haute autorité de santé

N : Newton

N.m/ Nm : Newton mètre

MFM : Moment de force maximale

IJ : Ischio-jambiers

Q : Quadriceps

ECR : Essai clinique randomisé

GRADE : Grade of recommendation, assessment, development, and evaluation

MCID : Différence minimale cliniquement pertinente (en anglais)

NSCA : National strength and conditioning association

ED : Étirement dynamique

FMM : Force musculaire maximale

Liste récapitulative des figures présentes dans cette revue

Figure 1 : Constitution du muscle strié squelettique

Figure 2 : Les éléments élastiques du muscle, schéma d'un sarcomère

Figure 3 : Le schéma de Hill

Figure 4 : Les fuseaux neuromusculaires

Figure 5 : Courbe de tension déformation du tendon

Figure 6 : Courbe de contrainte déformation à la suite de l'allongement du corps musculaire

Figure 7 : Exemple d'un étirement statique des ischio-jambiers

Figure 8 : Exemple d'un étirement CRE des ischio-jambiers

Figure 9 : Exemple d'un étirement en antagoniste contraction (CRAC) des ischio-jambiers

Figure 10 : Exemple d'un étirement balistique des ischio-jambiers

Figure 11 : Exemple d'un étirement dynamique des ischio-jambiers

Figure 12 : Schéma synthétisant les différents types d'étirements et leurs effets

Figure 13 : La tubérosité ischiatique

Figure 14 : Anatomie des muscles ischio-jambiers

Figure 15 : Schéma représentant le principe d'action réaction

Figure 16 : Courbe récapitulative des notions dynamométriques

Figure 17 : Hiérarchie simplifiée des niveaux de preuve en fonction des schémas d'étude

Figure 18 : Représentation graphique des données du couple de force maximal des ischio-jambiers en concentrique à 60°/s de l'étude de Sekir et al.

Figure 19 : Représentation graphique des données intra-groupe du couple de force maximal des ischio-jambiers en concentrique à 60°/s dans l'étude de Su et al.

Figure 20 : Représentation graphique des données du couple de force maximal des ischio-jambiers en concentrique à 180°/s de l'étude de Sekir et al.

Figure 21 : Représentation graphique des données du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique à 60°/s dans l'étude de Sekir et al.

Figure 22 : Représentation graphique des données du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique à 60°/s dans l'étude de Ayala et al.

Figure 23 : Représentation graphique des données du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique à 60°/s dans l'étude de Barbosa et al.

Figure 24 : Représentation graphique des données du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique à 180°/s dans l'étude de Sekir et al.

Figure 25 : Représentation graphique des données du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique à 180°/s dans l'étude de Ayala et al.

Figure 26 : Forest plot des données de la force musculaire maximale en excentrique à 60°/s

Figure 27 : Forest plot des données de la force musculaire maximale en excentrique à 180°/s

Liste récapitulative des tableaux présents dans cette revue

Tableau I : Modèle PICO

Tableau II : Mots clés de l'équation de recherche

Tableau III : Diagramme de flux

Tableau IV : Titre des études incluses dans la revue de littérature

Tableau V : Détail des études incluses dans la revue de littérature

Tableau VI : Évaluation de la qualité méthodologique des études selon l'échelle PEDro

Tableau VII : Synthèse des résultats du couple de force maximal des ischio-jambiers en concentrique à 60°/s obtenus dans l'étude de Sekir et al.

Tableau VIII : Synthèse des résultats du couple de force maximal des ischio-jambiers en concentrique à 60°/s obtenus dans l'étude de Su et al.

Tableau IX : Synthèse des résultats du couple de force maximal des ischio-jambiers en concentrique obtenus dans l'étude de Sekir et al.

Tableau X : Synthèse des résultats du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique obtenus dans l'étude de Sekir et al.

Tableau XI : Synthèse des résultats du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique obtenus dans l'étude de Ayala et al.

Tableau XII : Synthèse des résultats du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique obtenus dans l'étude de Barbosa et al.

Tableau XIII : Synthèse des résultats du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique obtenus dans l'étude de Sekir et al.

Tableau XIV : Synthèse des résultats du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique obtenus dans l'étude de Ayala et al.

Tableau XV : Niveau de preuve des études incluses dans notre revue de littérature selon le système GRADE

Tableau XVI : Grille d'évaluation de l'échelle de la qualité méthodologique AMSTAR-2 de notre revue de littérature

1 Introduction

1.1 Cadre contextuel

Les étirements font partie intégrante de notre apprentissage lors de notre formation en kinésithérapie. Il s'agit cependant d'un sujet très controversé quant à son utilisation et repose souvent sur des données empiriques. Il est important de savoir les maîtriser pour en tirer le meilleur profit. [1,2] Pourtant, l'utilisation des étirements, et particulièrement des étirements dynamiques sur lesquels nous allons nous appuyer pour notre recherche, montre de plus en plus son efficacité dans certains domaines et notamment dans le sport. [3]

De plus, les étirements dynamiques ont attiré mon attention car, lors de nos cours, ce type d'étirement a toujours été jugé comme n'étant pas une technique d'étirement. Cependant lors de mes stages, j'ai vu de nombreux patients les utiliser, notamment des sportifs avant leur match ou en préparation à l'effort. J'ai donc remis en question leur non-efficacité et je me suis intéressée à leurs bienfaits en milieu sportif.

La recherche d'une force musculaire optimale est une des préoccupations chez le sportif. Un programme spécifique de renforcement est nécessaire afin d'améliorer la force musculaire maximale des sportifs. Les avis divergent tout de même quant à la charge, le nombre de séries, de répétitions et les temps de pause que les sportifs doivent réaliser lors de leurs séances de renforcement. Actuellement, des recherches sont en train d'être réalisées portant sur une meilleure façon d'obtenir une force musculaire maximale ou autres paramètres nécessaires à améliorer les performances du sportif. [4,5]

Une récente méta-analyse datant de 2023 montre que les étirements statiques réalisés sur une longue période permettraient d'augmenter, d'une façon plus ou moins importante selon les cas, la force musculaire maximale chez des personnes en bonne santé. Cette étude s'est majoritairement intéressée aux ischio-jambiers. [6]

Je me suis donc demandé si les étirements dynamiques ne pouvaient pas avoir le même effet que les étirements statiques sur l'augmentation de la force musculaire maximale au vu de leurs utilisations dans le milieu sportif. Nous nous intéresserons également aux ischio-jambiers pour avoir un comparatif par rapport à l'utilisation des étirements statiques mise en évidence par la méta-analyse ci-dessus.

1.2 Les étirements

1.2.1 Physiologie musculaire

1.2.1.1 *Le muscle strié squelettique*

Tout d'abord rappelons de quoi est fait le corps musculaire (cf. figure 1).

Le corps musculaire est composé de **tissu conjonctif**. Ce tissu va permettre de protéger le muscle et va se trouver tout autour des différentes couches du tissu musculaire.

Le corps musculaire est entouré d'une aponévrose, l'**épimysium**, qui va jouer un rôle de maintien de ce corps musculaire. L'épimysium contient du tissu conjonctif dense et irrégulier.

A l'intérieur de ce corps musculaire se trouvent plusieurs faisceaux musculaires, contenus dans des loges musculaires. Ces faisceaux sont maintenus ensemble par le **périmysium**, tissu conjonctif dense et irrégulier également, qui envoie des prolongements à l'intérieur du muscle pour le diviser en loges. On retrouve également des vaisseaux sanguins et des nerfs nécessaires à la vascularisation et l'innervation du muscle.

A l'intérieur de chaque faisceau musculaire se trouvent plusieurs fibres musculaires, chacune d'entre elle est entourée par une enveloppe de tissu conjonctif : l'**endomysium**.

Enfin, dans chaque fibre musculaire se trouvent des myofibrilles, elles aussi entourées d'une enveloppe conjonctive. [7–9]

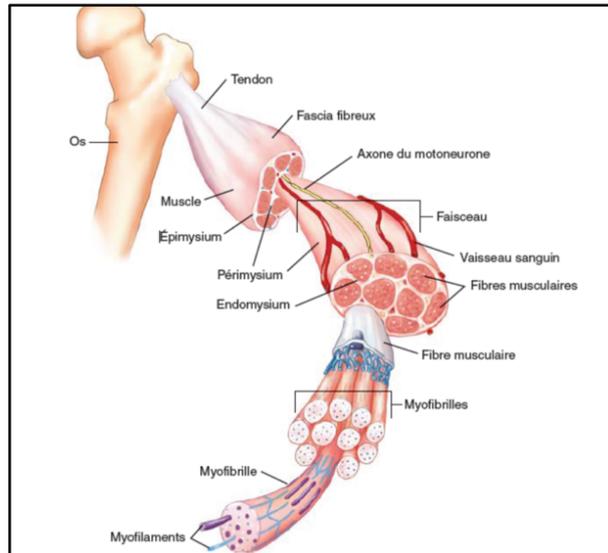


Figure 1 : Constitution du muscle strié squelettique¹

Les myofibrilles sont composées de la jointure entre plusieurs **sarcomères**. Les sarcomères sont la plus petite unité contractile que l'on retrouve dans le corps.

Le sarcomère est composé d'éléments élastiques (cf. figure 2) que sont :

- La **titine** représentant 11% des protéines contenues dans le muscle.
- L'**actine**, protéine fine qui correspond aux bandes claires dites isotropiques sur le sarcomère (bandes I).
- La **myosine**, protéine épaisse qui correspond aux bandes sombres dites anisotropiques sur le sarcomère (bandes A).

La titine a pour rôle de ramener le sarcomère dans sa position de référence lorsqu'il a subi un allongement. L'actine et la myosine sont encastrées l'une dans l'autre et glissent lors d'une contraction musculaire. Cette disposition des sarcomères est dite « en série » grâce aux stries Z (lignes Z sur la figure 2). Cela donne cet aspect strié par l'alternance des bandes sombres et claires du sarcomère.

¹ Tout sur la sarcopénie [en ligne], [cité le 25 novembre 2023], disponible sur : <https://www.toutsurlasarcopenie.fr/muscle/>

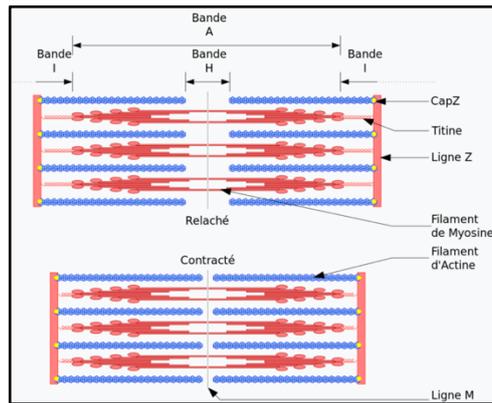


Figure 2 : Les éléments élastiques du muscle, schéma d'un sarcomère [10]

Ces myofibrilles baignent dans un liquide présentant des propriétés viscoélastiques, appelé le **sarcoplasme**. Cela permet au muscle d'avoir un rôle d'amortisseur grâce à une composante élastique dite « imparfaite ».

Toute cette organisation va constituer le corps musculaire qui se termine à ses extrémités par un tendon. [7,8]

1.2.1.2 Le tendon

Les **tendons** sont les structures qui permettent de relier les os aux corps musculaires. Ils font partis de la structure du muscle. Le tendon est constitué en majorité par du **tissu conjonctif**. Cela permet au tendon d'être très **résistant à la traction** tout en étant légèrement flexible. Ils représentent moins de 10% de gain de longueur du muscle lors des étirements. Les fibres tendineuses sont orientées selon l'axe longitudinal du muscle et font parties des **composantes élastiques en série (CES)** de l'unité myotendineuse que l'on peut modéliser par le schéma de Hill (cf. figure 3).

A l'inverse, les composantes élastiques en parallèles (CEP) sont caractérisées par des enveloppes conjonctives qui entourent la composante contractile et sont disposées parallèlement aux fibres musculaires.

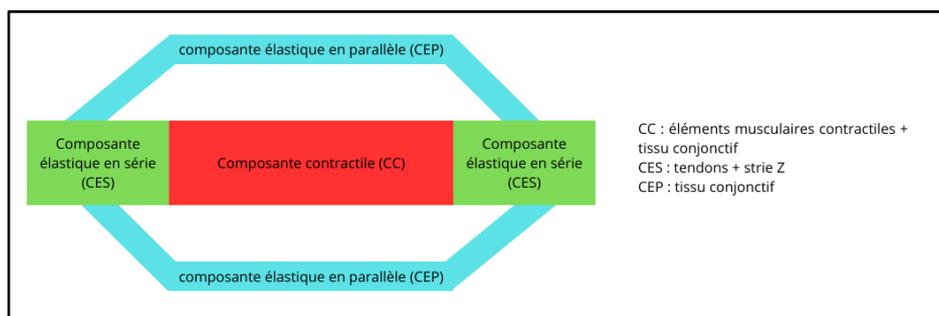


Figure 3 : Le schéma de Hill [7]

Les tendons permettent de communiquer une information sur le degré de tension du muscle grâce aux organes tendineux de Golgi. [7,11]

1.2.1.3 Les organes tendineux de Golgi

Les **organes tendineux de golgi (O.T.G.)** sont des **propriocepteurs** que l'on retrouve au niveau de la jonction entre le tendon et le muscle. Ils ont pour rôle essentiel de détecter et répondre à un **changement de longueur du muscle**, que ce soit un raccourcissement ou un allongement. Ils sont stimulés lors d'une contraction intense en isométrique mais aussi lors d'un étirement.

Lorsque les O.T.G. s'activent, cela entraîne secondairement un relâchement du muscle dès lors que la contraction est jugée trop intense car ces récepteurs permettent également de protéger le muscle d'une déchirure ou d'une lésion. Ce relâchement peut être utilisé pour ensuite étirer le muscle.

Les O.T.G. ont besoin d'une tension assez forte du muscle pour pouvoir se déclencher. Si la tension est moins élevée ce sont d'autres récepteurs, les **fuseaux neuromusculaires**, qui se mettront en place.

[11,12]

1.2.1.4 Les fuseaux neuromusculaires

Ce sont des **propriocepteurs** que l'on retrouve dans la partie charnue du muscle. Leur nombre va dépendre de la complexité de l'action du muscle : au plus l'action du muscle est complexe, au plus il y aura de fuseaux neuromusculaires. [8]

Ces fuseaux sont retrouvés dans la partie conjonctive du muscle et disposés en parallèle aux extrémités du muscle.

Les fuseaux neuromusculaires contiennent des **fibres intrafusales** qui sont innervées par des fibres sensibles et motrices. Il en existe deux types (cf. figure 4) :

- Les **fibres intrafusales à sac nucléaire** composées de récepteurs primaires. Leur rôle va être de détecter les **changements de vitesse de longueur du muscle** mis en jeu lors d'étirements statiques ou dynamiques par le biais des fibres nerveuses sensibles **IA** qui véhiculeront cette information. Ces fibres sont d'**adaptation rapide**.
- Les **fibres intrafusales à chaîne nucléaire** composées de récepteurs secondaires dont le rôle va être de détecter la **longueur du muscle** lors d'étirements statiques par le biais des fibres nerveuses sensibles **IIA**. Ces fibres sont d'**adaptation lente**. [12]

Ces fuseaux neuromusculaires sont des récepteurs, comme les O.T.G. qui répondent au réflexe d'étirement. [8]

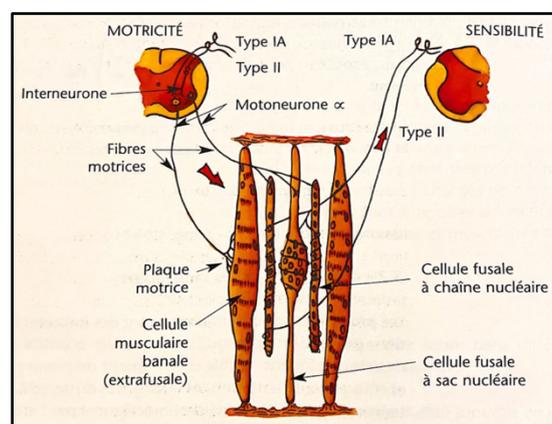


Figure 4 : Les fuseaux neuromusculaires [12]

1.2.1.5 *Le réflexe d'étirement*

Lors de la réalisation d'un étirement, les muscles sont protégés par un réflexe appelé le **réflexe d'étirement** ou **réflexe myotatique**. Ce réflexe se produit lorsque le muscle est trop étiré. Le muscle va se défendre en se contractant, induisant donc l'effet inverse de l'étirement. Il s'agit d'une **réaction involontaire**. [13]

Ce réflexe est mis en place par les O.T.G. lorsqu'ils ressentent une trop forte traction du muscle. Les fuseaux neuro-musculaires vont envoyer des informations jusqu'à la moelle épinière. Celle-ci est connectée à des motoneurones dits « alpha » qui vont envoyer des informations excitatrices au muscle pour qu'il puisse se contracter et reprendre sa position de repos.

Le réflexe le plus connu est le **réflexe rotulien** par la percussion du tendon rotulien, terminaison du tendon du quadriceps. La percussion du tendon rotulien va provoquer un étirement bref suivi d'une contraction brutale amenant le genou à réaliser une extension en guise de protection. [11,12]

1.2.1.6 *Le mécanisme des étirements*

Lors d'un étirement, c'est le corps musculaire qui va subir les contraintes en premier, et plus précisément les sarcomères. L'imbrication des filaments d'actine et de myosine va décroître de plus en plus allant même à se détacher pour ensuite reconstruire de nouvelles liaisons. Les sarcomères sont donc tous détendus. Les fibres musculaires atteignent elles-aussi leur allongement maximal. Ceci est valable pour les étirements en général. [11]

Pour les étirements dynamiques, l'allongement va plutôt concerner les **éléments élastiques en série** tels que les **tendons** et la **zone myotendineuse**. La partie contractile, elle, va aussi être étirée mais avec une composante de contraction ce qui permettra d'obtenir une **double traction** sur le tendon : une par l'étirement en lui-même et une autre par la traction de l'unité contractile par les filaments d'actine et de myosine. [7]

Le muscle est entouré de tissu conjonctif. Il permet au muscle d'être lubrifié contribuant au glissement de toutes les couches de tissu conjonctif lors de l'étirement. Cela donne la capacité au muscle de s'allonger, de limiter l'adhésion et de réduire les frottements. La température locale va augmenter induisant une préparation à l'étirement en diminuant la viscoélasticité du sarcoplasme. [12]

→ **Au niveau du tendon**

Par sa composition, le tendon a une faible réserve d'allongement. Il existe une courbe qui permet de refléter la réponse mécanique du tendon à la déformation et de comprendre ce qu'il se passe à son niveau en fonction du degré des contraintes (cf. figure 5). Plus la tension augmente, plus on se rapproche de la zone de rupture du tendon. Le tendon a environ une capacité d'étirement de 8%.

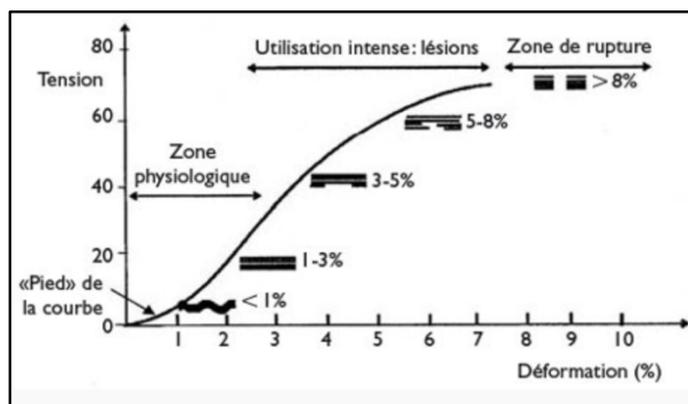


Figure 5 : Courbe de tension déformation du tendon²

Le tendon passe par des phases de déformations qui sont, dans l'ordre :

- Une **phase ondulée** entre 1 et 2% de déformation
- Une **phase linéaire** correspondant aux phases sportives à environ 3% de déformation
- Une **phase de rupture partielle** de 3% à 8% de déformation
- Une **phase de rupture totale**, au-delà de 8% de déformation.

Il est donc intéressant de l'étirer pour éviter le risque de lésion du tendon en cas de trop fortes déformations lors de la pratique sportive. [7]

→ **Au niveau de la jonction myotendineuse**

La tension due à l'étirement se transmet de deux manières : une par les sarcomères en série, appelée voie directe, et d'une autre part par les membranes telles que les aponévroses et fascias, grâce aux structures transversales, appelée voie indirecte. Cette zone est extrêmement sollicitée lors des étirements actifs et dynamiques. [7]

→ **Au niveau du corps musculaire**

C'est la partie du muscle qui possède le pourcentage d'allongement le plus grand grâce aux filaments d'actine et de myosine très extensibles.

La courbe contrainte/déformation (cf. figure 6) permet de mettre en évidence 3 phases lors de l'étirement de la phase contractile :

- La **phase élastique** : le muscle est capable de se laisser déformer par une traction peu importante et de revenir à sa position initiale par élasticité de celui-ci sans lésion associée.
- La **phase plastique** : le muscle va subir des tractions importantes et ne pourra pas revenir à sa position initiale lors du relâchement car les fibres seront lésées.
- La **phase de rupture** : mise en contrainte importante du muscle avec une traction plus forte qui amènera à la rupture partielle voire totale du corps musculaire. [7,8,14]

² Antoine Frechaud et Nathan Touati. Tendons et tendinopathies : description, guérison et traitement. [en ligne], 2019 [cité le 16 décembre 2023], disponible sur : <https://www.neuroxtrain.com/article/63763/>

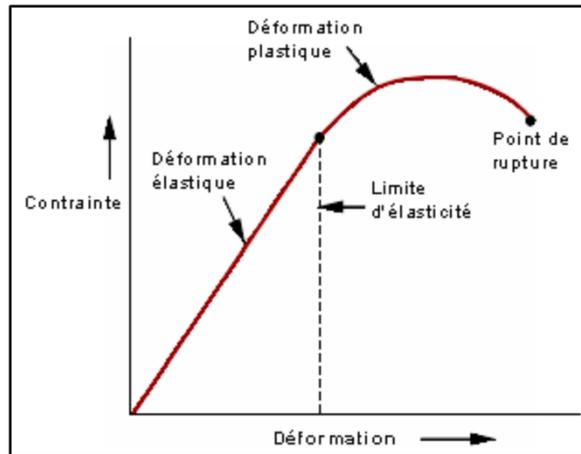


Figure 6 : Courbe de contrainte déformation à la suite de l'allongement du corps musculaire³

Le but étant de rester dans la phase élastique lors de l'étirement afin de ne pas avoir de lésion associée.

→ **Au niveau de l'innervation**

Avec l'EMG, des études ont montré qu'il y aurait possiblement un lien entre la transmission nerveuse et les sollicitations répétées d'étirements. Les étirements amèneraient à une diminution de la transmission nerveuse. Cependant, celle-ci serait plutôt faible (2%).

Toutes ses hypothèses sont assez controversées et n'ont pas montré, à ce jour, de différences statistiquement significatives.

L'hypothèse que les étirements amèneraient à une diminution des amplitudes reflexes a aussi été envisagée mais également controversée. Cette hypothèse concerne à la fois les étirements statiques et dynamiques. [14]

→ **Au niveau de la vascularisation**

Les étirements vont avoir un impact sur la vascularisation. Les étirements statiques vont comprimer les vaisseaux et interrompre la vascularisation diminuant ainsi l'apport sanguin nécessaire au bon fonctionnement des muscles.

Cependant, il a été montré que les étirements dynamiques étaient, pour le moment, les seuls à avoir prouvé qu'ils n'avaient pas d'impacts négatifs sur la vascularisation et seraient un bon facteur pronostic de récupération. [15,16]

Il faut donc adapter l'étirement en fonction de ces propriétés pour avoir les meilleurs résultats possibles.

1.2.2 Définition générale des étirements

Le stretching vient du verbe anglais « to stretch » qui signifie « s'étirer ». [17]

L'étirement concerne les muscles et tendons. Il va mettre en tension le complexe myotendineux afin d'éloigner ses zones d'insertions pour permettre l'allongement de celui-ci. Le but va être d'inverser les propriétés biomécaniques du muscle et si possible de façon tridimensionnelle. Cette mise en tension peut se faire soit par une personne extérieure soit par le sujet lui-même.

³ Antoine Frechaud et Nathan Touati. Tendons et tendinopathies : description, guérison et traitement. [en ligne], 2019 [cité le 16 décembre 2023], disponible sur : <https://www.neuroxtrain.com/article/63763/>

L'étirement va agir sur le complexe myotendineux c'est-à-dire sur les composantes contractiles, les aponévroses et fascias, les enveloppes musculaires, les tendons et les éléments vasculo-nerveux. [18]

Certains auteurs différencient les étirements du stretching en tenant comme propos que les étirements sont des techniques réalisées par une tierce personne et le stretching consiste à réaliser la technique par soi-même.[18]

D'autres, sont plus d'avis à utiliser les deux mots pour parler de la même chose ou alors de n'utiliser que le mot « étirement » pour regrouper toutes les techniques à visée d'allongement du muscle qu'elles soient actives, passives, dynamiques ou statiques.[12,13]

Dans notre cas, nous utiliserons le terme d'étirement.

Les étirements sont un bon moyen pour garder de la souplesse, pour préparer le muscle à l'effort, pour lever certaines tensions musculaires tant pour des personnes sportives que pour des personnes sédentaires. L'étirement fait aussi le lien entre l'inactivité et l'action.

Les étirements ont aussi un impact sur le schéma corporel car ils permettent une prise de conscience du corps [13] ainsi qu'une sensation de bien-être à l'issue de leurs réalisations [12].

Les étirements peuvent être réalisés avant ou après le sport ou à distance du sport à partir du moment où ils sont réalisés correctement, en utilisant le bon type d'étirement et en n'influençant pas négativement la biomécanique du muscle. [13]

1.2.3 Les différents types d'étirements

Il existe différents types d'étirements. On peut généralement les classer en étirement passif qui n'utilisent pas de contractions du muscle que l'on souhaite étirer, et les étirements actifs, qui eux, utilisent la contraction du muscle agoniste pour étirer le muscle ciblé. [2] (cf. figure 12)

1.2.3.1 Les étirements passifs : les étirements statiques (cf. figure 7⁴)

Les étirements statiques doivent se faire en ayant le **muscle relâché**. [18]

Les étirements statiques ciblent préférentiellement la fibre musculaire et les éléments parallèles (cf. figure 3 : Schéma de Hill). L'allongement peut atteindre jusqu'à 150% de sa longueur initiale. [19]

Ce sont des étirements pour lesquels les muscles agonistes et antagonistes doivent être relâchés. Ils sont effectués dans des amplitudes moyennes en phase élastique donc reprennent leur forme initiale après la phase d'étirement [20].

Ce sont des étirements que l'on exécute pendant **20 secondes** environ. Au-delà de 45 à 60 secondes, l'étirement devient moins efficace. [11]



Figure 7 : Exemple d'un étirement statique des ischio-jambiers⁴

⁴ 19 exercices ischio-jambiers, [en ligne] [cité le 23 avril 2024] image disponible sur : <https://www.coach-hunter.com/exercice/ischio-jambiers>

Ce type d'étirement est utilisé pour :

- « L'entretien de la mobilité et des plans de glissements entre les différents tissus » agissant sur la diminution des adhérences, l'enraidissement ou encore les ankyloses.
- « La récupération après l'effort » en agissant sur la récupération de la longueur initiale du muscle.
- « Lutter contre les douleurs musculaires après l'effort » : le fait d'étirer va amener à un aplatissement du muscle et du tendon permettant aux liquides de pouvoir être expulsés par un phénomène de pompe.
- « La détente musculaire » [20]

L'étirement passif peut également être réalisé par une tierce personne permettant d'accroître l'intensité de la technique. Cette technique nécessite la plus grande vigilance. La personne réalisant l'étirement doit prendre en compte la force et l'intensité qu'elle met sur la musculature pour éviter d'amener le muscle dans des courses extrêmes.

1.2.3.2 Les étirements activo-passif

- ◆ La méthode du contracté-relâché-étiré (CRE) (cf. figure 8)

C'est une technique d'étirement qui inclut une contraction isométrique du muscle dans sa course externe, puis un relâchement et enfin un étirement passif.

La phase de relâchement est appelée la « **phase réfractaire** » c'est-à-dire que le muscle n'est pas stimuable à ce moment-là. Ceci est permis grâce au **réflexe d'inhibition** par une stimulation des organes tendineux de Golgi.

La phase de contraction doit être assez longue, entre 12 et 15 secondes pour que le muscle puisse se relâcher au mieux et ainsi avoir une phase étirante des plus efficaces. L'étirement doit être réalisé par une tierce personne.

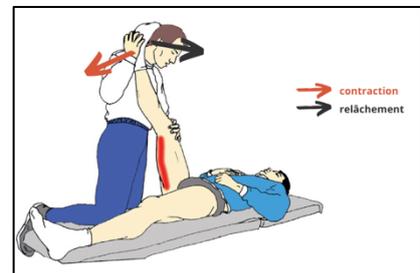


Figure 8 : Exemple d'un étirement CRE des ischio-jambiers [1]

Cette technique va agir sur les ponts d'actine et de myosine du sarcomère en diminuant leur tension par la contraction du muscle. Elle agit donc à la fois sur les **éléments contractiles** et sur les **éléments élastiques en série**.

Ce type d'étirement permet :

- Un « gain d'amplitude articulaire sur du long terme » : les sportifs l'utilisent à distance des compétitions pour éviter un enraidissement entre deux temps de compétitions.
- Une « amélioration de la qualité des tissus » avec une diminution de l'enraidissement, des ankyloses, des adhérences par l'action sur les tissus longitudinaux et transversaux.
- Une « lutte contre les tensions tissulaires » grâce aux cycles de contraction-relâchement-allongement.
- Une facilitation à la cicatrisation des lésions capsulo-ligamentaires, tendineuse, myo-aponévrotiques.
- Une préparation à l'effort [2,7,12,20]

◆ La méthode antagoniste contraction (CRAC) (cf. figure 9⁵)

Cette technique d'étirement consiste à utiliser une **contraction isométrique** puis **concentrique** du **muscle antagoniste** ce qui amène à un relâchement du muscle agoniste et donc à une position étirante de celui-ci. Ce sont des types d'étirement que l'on peut réaliser seul.

Ces étirements sont assez utilisés en rééducation mais aussi avant d'utiliser des techniques d'étirements plus poussées tels que les étirements dynamiques.

Ce type d'étirement s'appuie sur le **réflexe d'inhibition réciproque de Sherrington** : lorsqu'un muscle se contracte, son antagoniste se relâche par voie réflexe.

Ce type d'étirement permet :

- D'entretenir et d'améliorer les amplitudes articulaires grâce à l'inhibition réciproque de Sherrington
- De « lutter contre les raideurs articulaires »
- D'utiliser le muscle antagoniste lorsque le muscle à étirer est trop douloureux.
- Une préparation à l'effort [2,11,12,20]

1.2.3.3 Les étirements actifs

◆ Les étirements balistiques (cf. figure 10⁶)

Les étirements balistiques font intervenir un **effet rebond** et des mouvements contrôlés [21] tout en ayant un mouvement de l'articulation. Ce sont des mouvements d'**oscillation** autour d'un axe et dans les différents plans de l'espace.

Ils peuvent également inclure des mouvements de course avec des pas latéraux, des changements de directions ou autre mouvement en même temps que la réalisation de l'étirement dynamique. [20,22]

Les étirements balistiques ont été pendant longtemps le seul type d'étirement utilisé dans le milieu sportif, faute de connaissances.

Ils sont divisés en deux types de techniques :

- Le **mouvement rythmique** utilisé pour le rodage et la mobilisation articulaire, utilisant la contraction du muscle antagoniste pour aller d'une position étirante à une autre.
- Le **mouvement pendulaire** pour la détente car le muscle sera dans un relâchement total et sans frottement.

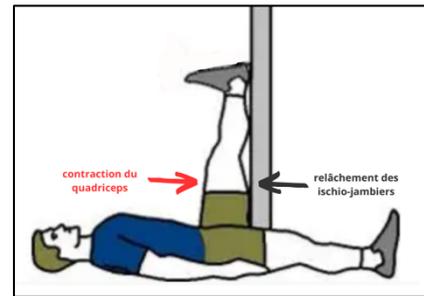


Figure 9 : Exemple d'un étirement en antagoniste contraction (CRAC) des ischio-jambiers⁵

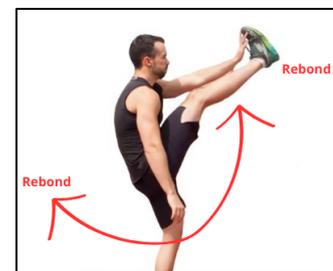


Figure 10 : Exemple d'un étirement balistique des ischio-jambiers⁶

⁵ Protrainer, 4 exercices pour étirer ses ischio-jambiers [en ligne] [cité le 23 avril 2024] image disponible sur : <https://protrainer.fr/blog/etirement-ischio-jambiers/>

⁶ Nicolas Fenery, Stretching pro : 13 meilleurs étirements balistiques [en ligne], 2022, [cité le 23 avril 2024] image disponible sur <https://www.stretchingpro.com/etirement-balistique/>

Ce type d'étirement permet :

- D'améliorer la mobilisation et le rodage articulaire
- « D'améliorer l'échauffement »
- « D'améliorer la souplesse active » c'est-à-dire la souplesse due aux muscles contractés
- De détendre une région sous tension [20]

Il y a tout de même une mise en garde contre ce type d'étirement car jugé peu protecteur du complexe articulaire et les auteurs préconisent des méthodes plus sûres comme les étirements en CRE ou dynamiques. L'étirement balistique ne laisse pas au muscle le temps nécessaire pour s'adapter à la position étirante et vient à déclencher le réflexe myotatique, réflexe de protection. [11]

◆ Les étirements dynamiques (cf. figure 11⁷)

Ce type d'étirement est le plus souvent associé à des pratiques sportives et se rapproche le plus possible du **geste sportif**. [23]

Elle fait partie des techniques actives d'étirements. Elle fait intervenir les variations angulaires en plus de contractions excentriques et concentriques pour arriver à des fins d'étirements et d'allongement musculaire.

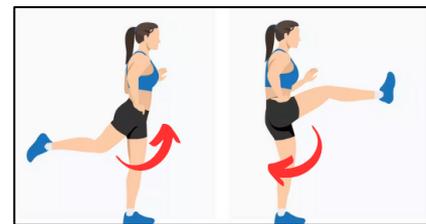


Figure 11 : Exemple d'un étirement dynamique des ischio-jambiers⁷

La mise en tension des muscles lors des étirements dynamiques va jouer un rôle de **réveil et d'activation musculaire** permettant une meilleure vigilance et une meilleure protection des articulations car celles-ci vont se retrouver dans des amplitudes extrêmes. [12,13]

L'étirement dynamique fait intervenir, comme les étirements balistiques, des mouvements de balanciers et de rebonds mais de façon plus douce et contrôlée. Le but est d'amener le muscle dans une position d'allongement plus longue que ses positions de base mais sans nécessité d'aller chercher un gain d'amplitude. La progression de ces étirements consiste ensuite à les réaliser en augmentant petit à petit la force du balancier et des rebonds sans jamais aller vers un mouvement non-contrôlé ou exagéré. [11]

Les étirements dynamiques permettent de **cibler la zone myo-tendineuse** et les **tendons** sans incidence sur la partie contractile. Il va y avoir une **double traction** : une par l'étirement en lui-même pendant l'allongement et une autre traction par la contraction du corps musculaire avec un rapprochement des filaments d'actine et de myosine allant dans le sens de raccourcissement du muscle.

⁷ Mélanie Bergeron, top 10 des meilleurs étirements dynamiques pour s'activer, [en ligne], 2023, [cité le 23 avril 2024], image disponible sur : <https://www.salutbonjour.ca/2023/03/27/top-10-des-meilleurs-etirements-dynamiques-pour-sactiver>

Ce type d'étirement permet :

- De préparer le muscle à tous types d'efforts et de sollicitations
- De préparer le muscle à l'exécution du geste sportif
- D'agir sur des composantes biomécaniques et physiologiques telles que l'augmentation de la chaleur interne, la stimulation du complexe myo-tendineux et neuro-musculaire
- D'augmenter les tensions au niveau du tendon et participer à l'allongement musculaire même minime
- De bénéficier d'une meilleure cicatrisation après lésion [7]

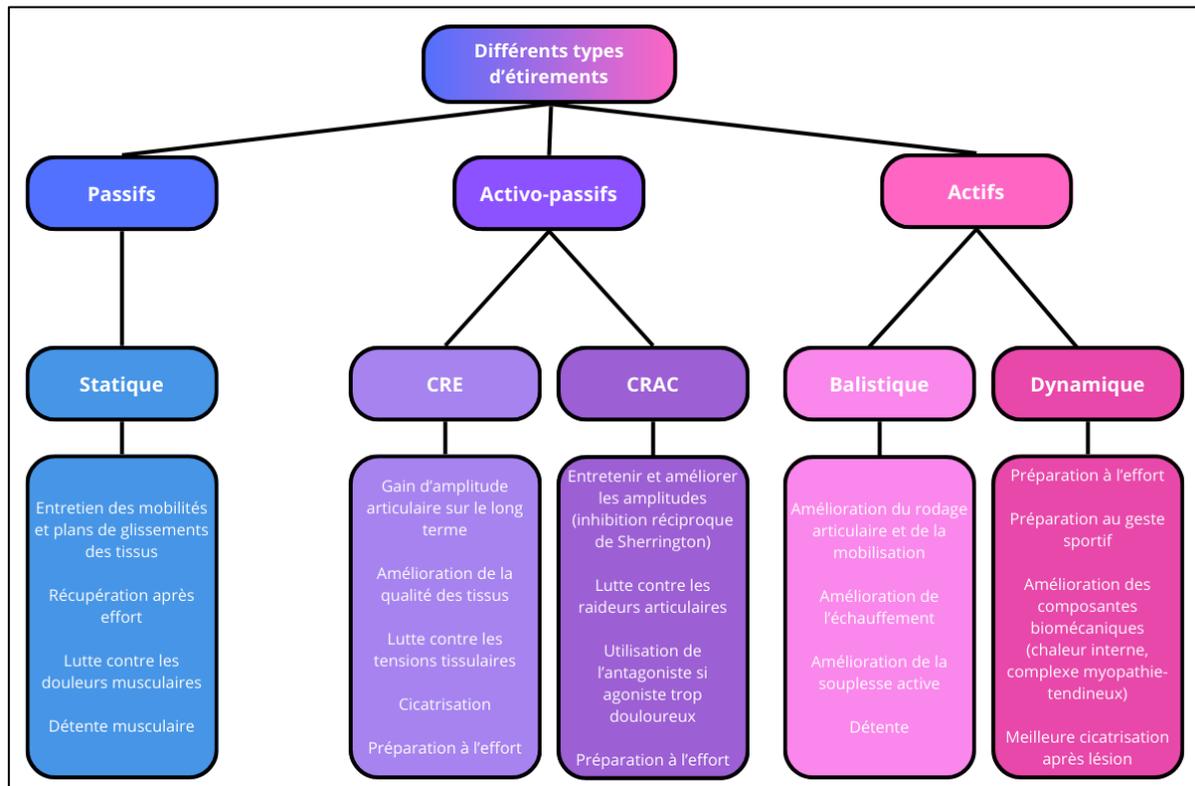


Figure 12 : Schéma synthétisant les différents types d'étirements et leurs effets

1.2.4 Place des étirements dynamiques dans la kinésithérapie

Les étirements dynamiques n'ont pas toujours été les bienvenus dans la pratique kinésithérapique ni même dans le sport. Son utilisation a longtemps été controversée. [2]

Dans les années 90, on jugeait beaucoup par les étirements statiques en montrant leur efficacité dans l'augmentation de la souplesse musculaire et l'amplitude articulaire [24–26] ce qui reste toujours véridique à l'heure actuelle.

Aujourd'hui, les recherches sur les étirements ont été approfondies et sont utilisées comme un outil kinésithérapique à part entière. Les études ont montré que les étirements dynamiques avaient de nombreux bénéfices ainsi que des preuves scientifiques avérées mais aussi une non-efficacité sur certains critères. (Cf. annexe 1)

1.2.4.1 Effets sur les amplitudes articulaires

Plusieurs articles montrent l'efficacité des étirements dynamiques sur les amplitudes articulaires. Ce type d'étirement aurait un impact sur le gain de mobilité articulaire. Les étirements dynamiques agiraient à la fois sur la raideur musculaire mais également sur la raideur tendineuse favorisant une augmentation de la mobilité articulaire. [2,14,23]

1.2.4.2 Effets sur des performances sportives

On peut observer que les étirements dynamiques ont un impact sur les performances sportives plus important par rapport aux étirements statiques, qui eux, sont délétères pour le sportif [2]. Les étirements dynamiques n'ont pas une grande efficacité sur l'équilibre. Cependant, ils montrent une amélioration des performances de saut, de vitesse, d'agilité, et une augmentation des performances lors du sprint en termes d'exécution de la pratique sportive. La puissance a aussi été démontrée dans plusieurs études avec notamment la réalisation d'exercices tels que le squat ou le développé couché. [22]

Néanmoins, la durée de réalisation des étirements dynamiques n'a aucune influence sur les performances sportives, précédemment citées, si celles-ci sont réalisées en dehors de la fatigue musculaire du sportif. [14,21]

1.2.4.3 Effets sur les mécanismes physiologiques

Les étirements dynamiques auraient un impact sur l'augmentation de la température des muscles secondaire à la contraction volontaire de l'agoniste, sur la diminution de la viscosité et sur l'augmentation de la contractibilité. L'étirement dynamique permet aussi d'améliorer la conductivité nerveuse, d'augmenter la compliance musculaire et d'accélérer la production d'énergie du cycle enzymatique [2,21,23]

1.2.4.4 Effets sur les risques de blessures

Ces dernières années ont montré que les étirements dynamiques mais aussi les étirements statiques n'aidaient pas à prévenir le risque de blessures chez le sportif. Il n'a, non plus, pas été montré de différences significatives entre les étirements statiques et dynamiques quant à l'apparition de risque de blessures plus précoce ou non. [27,28]

Pour ce qui concerne les ischio-jambiers, il est, à ce jour, plus intéressant de réaliser des renforcements excentriques plutôt que des étirements pour prévenir le risque de blessure chez le sportif, d'après une méta-analyse sortie en 2023. [29]

1.2.4.5 Effets sur la diminution de la douleur

A l'heure actuelle, aucune étude n'a pu montrer de lien entre la réalisation d'étirements dynamiques et la diminution de la douleur. De plus, certaines études ont également mis en évidence qu'il n'y avait pas, ou du moins peu, de lien de cause à effet entre la pratique d'étirement statique et la diminution de la douleur, comme l'indique cette méta-analyse. [30]

1.2.5 Place des étirements dans le sport

Concernant l'épidémiologie des sportifs, les avis divergent. Selon certains auteurs, il y aurait une augmentation du nombre de personnes pratiquant du sport et ayant un intérêt de plus en plus important pour celui-ci [13]. A contrario, selon la HAS, la pratique sportive est une activité qui tend à décliner de nos jours⁸. Le pourcentage de sportifs réguliers est en légère diminution ces temps-ci malgré la mise en place de programme « pour agir contre la diminution continue des niveaux d'activités physiques et réduire les inégalités d'accès à l'activité physique des populations »⁹.

Cependant, il n'en reste pas moins intéressant de s'orienter sur la question du sportif en kinésithérapie.

Les étirements dynamiques sont des étirements dont la pratique est assez récente. Autrefois, les sportifs privilégiaient les étirements statiques par faute d'information sur le sujet. Aujourd'hui, de plus en plus de sportifs utilisent les étirements dynamiques dans leur pratique sportive car plus appropriés. [22]

Ce sont des types d'étirements que l'on intègre de plus en plus lors des échauffements avant un effort intense ou en phase de réathlétisation. Ils vont permettre aux muscles de se mettre en condition pour l'effort. [12]

En effet, les étirements dynamiques inclus dans l'échauffement ou en phase de réathlétisation ont un impact positif sur le ressenti musculaire du sportif avec une meilleure perception de l'effort, sur l'optimisation des coûts énergétiques du coureur régulier [31] et sur le ressenti de leur force [32].

Il est évident que les sportifs, et d'autant plus les sportifs de hauts niveaux, doivent effectuer leurs étirements en ayant une bonne connaissance de leur réalisation, le cas échéant ils pourraient être délétères. [13]

1.3 Les ischio-jambiers

1.3.1 Anatomie

Les ischio-jambiers sont composés de 3 muscles : le semi membraneux et le semi tendineux en médial et le biceps fémoral en latéral (cf. figure 14). Ce sont des muscles qui croisent deux articulations : la hanche et le genou. Ils sont dits bi-articulaires.

L'origine des ischio-jambiers se trouve au niveau de la tubérosité ischiatique, située sur l'os coxal (cf. figure 13). Les ischio-jambiers ont une origine très proche sur cette tubérosité. La tubérosité ischiatique est délimitée par une **crête oblique** délimitant :

- Une **surface supérieure et latérale** où se trouve l'origine du tendon semi-membraneux, en forme de croissant,
- Une **surface inférieure et médiale** où se trouve le tendon commun entre le semi tendineux et le biceps fémoral, à l'intérieur du croissant formé par le semi membraneux.

⁸ Ministère de la santé et de la prévention, Activité physique et santé [en ligne], 2023, [cité le 10 décembre 2023] Disponible sur : [1]

⁹ HAS, Consultation et prescription médicale d'activité physique à des fins de santé chez l'adulte [en ligne], 2022 [cité le 13 décembre 2023], disponible sur : https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2018-10/guide_aps_vf.pdf

Sur cette même tubérosité se trouve également le ligament sacro-tubéral ainsi qu'un des faisceaux du grand adducteur. [33]

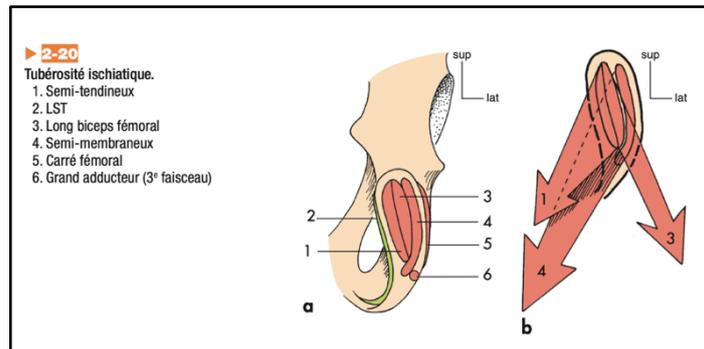


Figure 13 : La tubérosité ischiatique [34]

◆ Le semi membraneux

Le semi-membraneux possède le tendon proximal le plus long. Dès son départ, il devient aponévrotique. C'est aussi le muscle le plus profond des 3 muscles ischio-jambiers. [33]

Trajet : vertical et légèrement en dedans [34]

Terminaison : en distal, le semi membraneux devient de plus en plus épais et large. Il vient se terminer en plusieurs endroits dont la principale terminaison se situe au niveau du condyle médial tibial sur une partie commune avec le ligament oblique postérieur, la capsule et le ligament arqué. Il se termine quelquefois sur la corne postérieure du ménisque latéral.

Innervation : par une branche du nerf tibial ou par le nerf sciatique. [33,34]

◆ Le semi tendineux

Le tendon commun avec le biceps fémoral s'étend en moyenne sur une longueur de 9,9 cm avant que chacun des muscles prennent un chemin différent.

Trajet : il est, dans sa moitié proximale, musculaire puis devient un tendon dans sa moitié distale en devenant antérieur au semi-membraneux. Il est d'abord vertical puis oblique en bas et en dedans.

Terminaison : dans la partie médiale de la diaphyse tibiale proximale au niveau de la patte d'oie.

Innervation : par deux branches distinctes du nerf tibial, une pour la partie musculaire et une pour la partie tendineuse. [33,34]

◆ Le biceps fémoral longue portion

Trajet : en bas et en dehors

Terminaison : au niveau de la tête de la fibula principalement en commun avec la courte portion. Également au niveau du condyle latéral du tibia et de l'aponévrose latérale de jambe.

Innervation : par une branche du nerf tibial. [33,34]

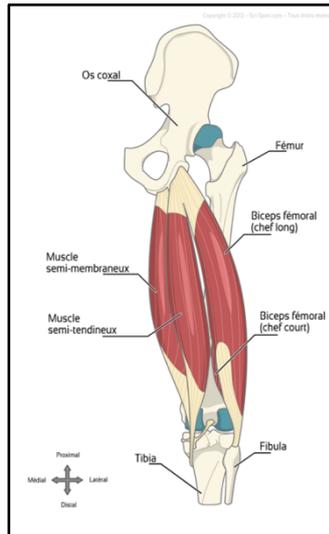
◆ Le biceps fémoral courte portion

Origine : au niveau de la lèvre latérale de la ligne fémorale située à la face postérieure. Elle ne passe pas par l'articulation fémoro-acétabulaire contrairement aux trois autres chefs.

Trajet : en bas et en dehors

Terminaison : dans le tendon distal de la longue portion puis sur la tête de la fibula en commun avec la longue portion. Mais aussi sur le condyle tibial latéral, la capsule postéro-latérale et la couche capsulo-osseuse du tractus ilio-tibial.

Innervation : par une branche du nerf fibulaire. [33,34]



*Figure 14 : Anatomie des muscles ischio-jambiers*¹⁰

Certains anatomistes rajoutent le grand adducteur en tant que muscle appartenant aux ischio-jambiers mais nous n'allons pas le développer car il n'est jamais mentionné dans les études incluses.

En ce qui concerne la fonction musculaire des ischio-jambiers, ils sont dits extenseurs de hanche et fléchisseurs de genou. Ils jouent un rôle important dans la marche et dans la course. Ils permettent, en dynamique, l'absorption de l'énergie cinétique et la protection des articulations du genou et de la hanche. Ils freinent l'extension de genou juste avant l'attaque du talon au sol et assurent la stabilité dynamique de la translation antéro-postérieure du tibia sur le fémur en complément du ligament croisé antérieur qui lui agit en statique. [35]

Ils jouent également un rôle dans la rotation du genou. Le semi tendineux et le semi membraneux sont rotateurs médiaux de genou en position genou fléchi et le biceps fémoral, rotateur latéral. [34]

1.3.2 Données épidémiologiques

Les blessures des ischio-jambiers sont des **blessures assez courantes** chez le sportif. Les blessures sur le tendon proximal représentent à peu près 39% des blessures liées lors des compétitions ou pendant la pratique sportive régulière. Elles concernent principalement les sports comme le football, le football américain, le rugby, le baseball ou encore l'athlétisme. [33,36]

Les blessures des ischio-jambiers sont fréquentes dans les activités telles que les courses à grande vitesse, les sauts, les mouvements explosifs comme les coups de pieds ou encore les changements de direction. [36]

Les blessures des ischio-jambiers concernent tout autant les athlètes professionnels que les personnes actives. Ces blessures mettent entre 17 et 90 jours à récupérer leur fonction à l'aide de rééducation ou d'intervention thérapeutique [33].

¹⁰ A. Manolova, différences d'activation des ischio-jambiers selon l'exercice réalisé [en ligne], 2014 [cité le 5 novembre 2023], disponible sur : <https://www.sci-sport.com/articles/differences-d-activation-des-ischio-jambiers-selon-l-exercice-realise-116.php>

De plus, l'effet « ressort » dû à la longueur des tendons des ischio-jambiers va améliorer les performances athlétiques au détriment de l'augmentation du risque de blessures. [35]

Les données épidémiologiques montrent que les **récidives** sont toutes aussi **fréquentes** avec entre 12% et 63% de récurrences. Le tiers de ces blessures survient dans l'année qui suit la première blessure avec un taux de gravité plus élevé. Cela se traduirait soit par des rééducations insuffisantes, soit par l'absence de traitement de la vraie étiologie ou soit par un « return to sport » trop prématuré. [33,36]

Ces blessures se produisent le plus souvent chez les hommes, en position de flexion de hanche et extension de genou, cumulé à une contraction excentrique des ischio-jambiers.

Les facteurs de risque de lésions des ischio-jambiers sont divisés en 2 catégories, les facteurs de risque modifiables et non modifiables (cf. annexe 2) :

- ◆ Les **facteurs de risque modifiables** sont, par exemple, l'altération de la longueur du muscle, la diminution de la souplesse ou encore le déséquilibre des forces ;
- ◆ Les **facteurs de risque non modifiables** vont être l'âge, le sexe, les antécédents de blessures aux ischio-jambiers.

Les études montrent que les facteurs de risques tels que l'augmentation de l'âge et les antécédents de blessures aux ischio-jambiers du même côté sont les plus significatifs. Les autres facteurs n'ont montré, à ce jour, pas de révélations significatives. [33,36]

Les ischio-jambiers sont des muscles qui comportent beaucoup plus de fibres de type II dites rapides que de fibres de type I dites lentes. Cette composition amène les ischio-jambiers à avoir un risque plus élevé de subir une lésion musculaire. La longue portion du biceps fémoral est la plus souvent touchée lors des blessures des ischio-jambiers. Il est lésé entre 79% et 84% des cas et serait dû à ses longueurs de fibres plus courtes. [36]

1.4 La force musculaire

1.4.1 Définition

La force musculaire est un **bon indicateur du niveau de santé** et de la condition physique d'un individu. La force musculaire est essentielle pour la performance d'activité physique telle qu'elle soit [37].

La perte de force musculaire est étroitement liée avec la baisse du niveau d'activité physique et des limitations fonctionnelles. Il se pourrait également que la force musculaire soit un facteur prédictif du risque de mortalité mais les données à ce jour n'ont pas encore trouvé un lien cause/conséquence entre les deux. Elle pourrait également jouer un rôle dans la prévention des maladies chroniques. [38]

Plusieurs facteurs sont à l'origine du développement de la force musculaire.

Cette augmentation de la force peut être induite d'abord par l'historique de contraction musculaire du sportif. En effet, une personne ayant déjà réalisé du renforcement sera plus à même d'augmenter sa force musculaire rapidement. La raideur musculo-tendineuse, le recrutement des unités motrices ou encore l'inhibition neuromusculaire sont d'autres facteurs influençant l'augmentation de la force musculaire. Il est à noter que la force musculaire initiale, la génétique ou encore la qualité de l'entraînement sont des facteurs interférant sur l'augmentation de la force musculaire. [5]

En termes physiques, la force musculaire se traduit par un concept fondamental qui décrit la cause du mouvement, des équilibres statiques et des déformations. C'est la deuxième loi de Newton et se caractérise par l'équation suivante :

$$Force = masse \times accélération$$

Et s'exprime en Newton ($kg \cdot m \cdot s^{-2}$). [39]

1.4.2 L'isocinétisme

1.4.2.1 Définition

Quand on parle d'isocinétisme, on parle d'une **contraction musculaire** qui se fait en **dynamique** et à **vitesse constante**. Cette contraction musculaire peut se réaliser dans différentes angulations en fonction des effets recherchés et donc sollicitera plus ou moins des muscles en fonction de leurs propriétés biomécaniques.

En général, l'isocinétisme ne peut être effectué que par l'utilisation d'une machine appelée dynamomètre. Elle permet de garder une vitesse constante. [40]

Durant ces dernières années, les études ont montré que l'utilisation des dynamomètres isocinétiques ont permis d'augmenter les connaissances sur les étirements, leurs effets et leur fonctionnement. [14]

1.4.2.2 Le dynamomètre

Le dynamomètre isocinétique est un appareil qui permet de quantifier la force musculaire maximale d'un mouvement donné et dans un seul plan de l'espace. Il est considéré comme le **critère de référence** pour l'évaluation de la force et de la performance musculaire. C'est une méthode de référence pour les autres instruments de mesure de la force.

Cependant, il s'agit d'une machine coûtant relativement cher, non portative et encombrante et n'est donc pas accessible pour tous les professionnels de santé voulant évaluer la force musculaire maximale de leurs patients. [41]

La résistance induite par le dynamomètre est proportionnelle à l'effort que l'on va fournir. C'est un phénomène d'action réaction : plus on met de l'énergie dans la poussée et plus il y aura de la résistance en retour. (Cf. figure 15)

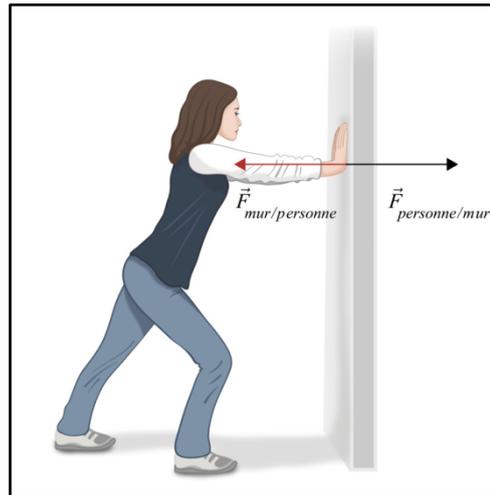


Figure 15 : Schéma représentant le principe d'action réaction ¹¹

Les vitesses angulaires programmées sont souvent celles qui se rapprochent le plus des gestes de la vie quotidienne ou du geste sportif. Celles-ci sont inversement proportionnelles à la résistance : plus la vitesse d'exécution du geste est lente et plus il y aura de résistance. A l'inverse, plus la vitesse d'exécution sera rapide, plus la résistance sera moindre. [40,42]

Le dynamomètre isocinétique permet d'avoir des données sur les pics de force des muscles agonistes et antagonistes lors d'un mouvement particulier, le temps pour obtenir ce mouvement, la position angulaire du pic de force, le rapport agoniste/antagoniste, la comparaison des valeurs entre les deux membres ainsi que la puissance exercée et l'endurance du muscle. [42-44,44-48]

Le dynamomètre est très utilisé dans le milieu sportif. C'est un **bon indicateur de reprise du sport et de la compétition** ainsi qu'un indicateur de **bon traitement**. Il peut être considéré comme un outil de rééducation à part entière. Cependant, il peut avoir ses limites comme la mauvaise mesure du bras de levier ou encore des erreurs dues à l'inertie lors de la réalisation des tests. [43,48]

◆ Le Biodex System 3 (annexe 3)

Le Biodex System 3 pro isocinétique permet de fournir une vitesse constante avec une résistance que l'on va varier tout au long de l'amplitude du mouvement de l'articulation testée ; dans cette étude nous nous concentrerons sur le genou. Cette machine utilise un mécanisme électrique ou hydraulique.

Des études ont montré que les mesures de vitesse angulaire et de couple, utilisant plusieurs types de dynamomètres, sont fiables et valides [48]. Il en est de même pour la fiabilité et la validité des mesures faites par les examinateurs. [49]

Cette étude montre également que le Biodex System 3 est un dynamomètre possédant une **bonne fiabilité** et une **bonne validité** des mesures de la position angulaire, du couple isométrique et de la mesure des **vitesse concentriques lentes à modérément élevées** (<300°/s). Cependant, nous pouvons observer que le dynamomètre présente une mauvaise validité et fiabilité lorsqu'on l'utilise pour des vitesses élevées c'est-à-dire à plus de 300°/s. [48]

¹¹ Mathieu Deschamps, *Mécanique et biomécanique en techniques de physiothérapie*, 2020 [en ligne] [cité le 21 avril 2024] disponible sur : <https://monde.ccdmd.qc.ca/ressource/?id=124608>

Pour notre revue systématique, nous utiliserons donc que des vitesses en dessous de celles-ci.

Une étude récente montre que le dynamomètre isocinétique est fiable et accessible pour l'évaluation de la force musculaire excentrique des ischio-jambiers [50]

◆ Le Cybex Norm (cf. annexe 3)

Le Cybex NORM est un dynamomètre dont la reproductibilité des mesures sur les muscles fléchisseurs et extenseurs de genou est considérée comme « élevée ».

La fiabilité représente la mesure du degré de cohérence des résultats lorsque le test est effectué plusieurs fois dans les mêmes conditions.

Dans cette étude, nous voyons que la **fiabilité est élevée** lors de l'utilisation du dynamomètre pour de faibles vitesses telles que **60°/s**. La fiabilité pour des vitesses élevées reste faible (180°/s). Pour ce qui est de la mesure du couple de force maximal absolu et du travail moyen, la présente étude objective une fiabilité relative élevée. [51]

Cependant, il s'agit d'un dynamomètre dont l'utilisation en milieu sportif et médical possède une fiabilité relative faible à modérée lors du calcul du ratio ischio-jambiers/quadriceps. [52]

Enfin, il est démontré que le **Cybex Norm est tout aussi fiable que le Biodex System 3** au niveau de la mesure du couple de force maximal avec une **fiabilité élevée voire très élevée** dans la prise des mesures. Ceci a été vérifié à la fois pour les mesures en concentrique, excentrique et en statique. [51]

1.4.2.3 Notions dynamométriques : peak torque, vitesse, angulation

Les dynamomètres isocinétiques évaluent de nombreux paramètres qu'il est important de comprendre pour pouvoir mieux analyser les données et ainsi mieux comprendre les résultats pour notre recherche clinique (cf. figure 16) :

- **Le moment de force maximum (MFM) ou peak torque (N.m)** : il s'agit du moment où la force a été la plus sollicitée lors du mouvement isocinétique. C'est une mesure qui doit être assez stable. Elle nécessite une rigueur au niveau du nombre de répétitions du mouvement pour avoir les mesures les plus représentatives possibles sans que la fatigue n'intervienne dans les données.
- **Le travail maximum (J)** : il est représenté par la surface située sous la courbe du mouvement isocinétique et est dépendant de l'amplitude globale du mouvement. Les limites angulaires doivent donc être les mêmes pour avoir un comparatif de force à des instants T différents.
- **La puissance (W)** : elle est représentée par le travail produit en un temps donné
- **L'angle d'effort maximal (°)** : il correspond à l'angle pour lequel le moment de force maximal a été atteint.
- **Le rapport agoniste/antagoniste (%)** : il est évalué pour une même vitesse angulaire et du même type de contraction réalisé à partir des données obtenues sur le MFM du muscle ciblé. Ce rapport permet de mettre en évidence les déséquilibres entre deux muscles.
- **La différence bilatérale des groupes musculaires (%)**
- **La durée d'accélération (s)** : c'est le temps mis pour atteindre la vitesse programmée. [40,53]

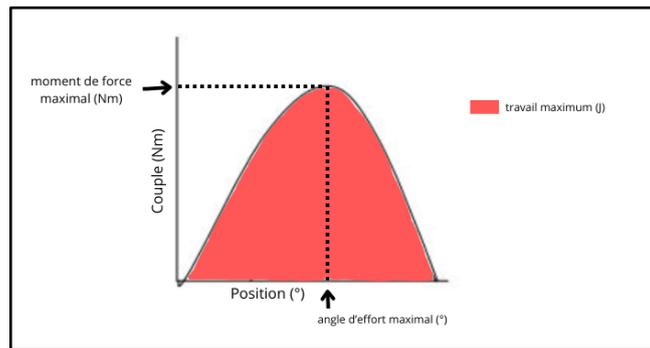


Figure 16 : Courbe récapitulative des notions dynamométriques

1.4.2.4 Ratio ischio-jambiers/quadriceps

Le ratio ischio-jambiers/quadriceps (ratio IJ/Q) de l'articulation du genou est un des paramètres, en isocinétisme, le plus utilisé car cette articulation est considérée comme l'une des plus complexes du corps humain. [40]

Bien que cette idée ait été souvent controversée, le ratio IJ/Q en concentrique est un bon indicateur pour vérifier un déséquilibre entre ces deux muscles antagonistes. Le risque de blessure a tendance à augmenter lorsque le ratio IJ/Q en concentrique à vitesse lente (60°/s) est inférieur à 0,6. Il augmenterait de 17 fois les chances d'un risque de blessures des IJ [54]. Ce risque augmente également lorsque l'on constate une différence de 15% par rapport à son homologue controlatéral.[33]

En effet, une diminution du ratio IJ/Q se traduit soit par une faiblesse des ischio-jambiers par rapport au quadriceps soit par une augmentation de la force du quadriceps. La contraction concentrique du quadriceps va dominer sur celle des ischio-jambiers. Elle amène les ischio-jambiers à se trouver dans une position en excentrique dans des amplitudes au-delà de ses habitudes créant ainsi ce risque de lésion majoré. [33]

Ce rapport est très utilisé dans le milieu sportif et dans la réathlétisation. C'est un bon indicateur de reprise sportive et de la compétition.

1.5 Objectifs de la revue

Les étirements dynamiques présentent de nombreux effets bénéfiques sur la physiologie musculaire comme évoqué précédemment.

Nous avons aussi pu mettre en évidence que les étirements dynamiques occupaient une place importante dans la rééducation et dans le milieu sportif.

A la suite de nos recherches sur la littérature, nous pouvons nous poser la problématique suivante basée sur le modèle PICO : Les étirements dynamiques des ischios-jambiers permettent-ils d'augmenter leur force musculaire maximale chez le sportif régulier ? (Cf. Tableau I)

Population	Sportif régulier
Intervention	Étirements dynamiques des ischio-jambiers
Comparateur	Non-étirement ou autre type d'étirement ou autre comparateur
Outcome (critère de jugement)	Force musculaire maximale

Tableau I : Modèle PICO

A ce jour, nous n'avons trouvé aucune revue de littérature qui regroupe l'ensemble des articles permettant de répondre à notre interrogation.

A la suite de cette problématique, des objectifs et hypothèses se présentent à nous. L'objectif principal de cette revue va être de savoir s'il existe un lien entre la pratique d'étirements dynamiques des ischio-jambiers et l'augmentation de la force musculaire maximale du sportif régulier.

Un second objectif va être de valider ou non notre problématique à l'aide de différentes hypothèses :

- La pratique d'étirements dynamiques des ischio-jambiers permet une augmentation significative de la force musculaire concentrique maximale chez le sujet sportif.
- La pratique d'étirements dynamiques des ischio-jambiers permet une augmentation significative de la force musculaire excentrique maximale chez le sujet sportif.
- La pratique d'étirements dynamiques est plus adéquate en préparation à un effort sportif qu'un autre type d'étirement.
- Des études complémentaires doivent être menées sur le sujet.

2 Méthode

Ce mémoire de fin d'étude se présente sous la forme d'une revue de littérature systématique. Cette revue de littérature a pour ligne directrice le modèle PRISMA. Elle est de type **pronostique**. [55,56]

2.1 Critères d'éligibilité des études pour cette revue

2.1.1 Critères d'inclusion

Les critères d'inclusions des études seront les suivants :

- Les études seront écrites en langue anglaise ou française.
- Les études seront récentes avec au maximum une ancienneté de 15 ans.
- Les études devront faire l'objet d'un haut niveau de preuve et être considérée comme des études primaires selon le « Centre of Evidence Based Medicine »¹². Les études devront être, si possible, des essais cliniques randomisés (ECR). (cf. figure 17) [57]
- La population concernée sera des sportifs réguliers adultes, qui pratiquent du sport plusieurs fois par semaine.
- Les études devront faire intervenir les étirements dynamiques sur les ischio-jambiers dans leur protocole.
- Les études devront utiliser un dynamomètre pour mesurer la force musculaire maximale des sportifs.

2.1.2 Critères d'exclusion

Les critères d'exclusion des études seront les suivants :

- Les études écrites dans une autre langue que l'anglais et le français
- Les études faisant intervenir une population jeune sportive telle que des adolescents ou une population vieillissante. Une population ne pratiquant qu'occasionnellement du sport est aussi exclue.
- Les études faisant intervenir une population présentant des pathologies associées ou en phase de rééducation à la suite d'une blessure ou d'une chirurgie.
- Les études publiées avant 2010. En effet, au vu des avancées scientifiques sur le sujet, il est plus intéressant de prendre des articles récents afin d'avoir les informations les plus justes possibles.
- Les études ne réalisant pas des étirements dynamiques sur les ischio-jambiers.
- Les méta-analyses et revues de littérature.

2.2 Schéma d'étude

Notre revue de littérature s'inscrira comme étant une étude dite secondaire, donc avec un niveau de preuve plus élevé que les études primaires.

Pour cette revue, nous utiliserons des essais cliniques et si possible randomisés. Les ECR s'inscrivent dans le cadre d'études dites primaires et sont à haut niveau de preuve (cf. figure 17).

¹² The Center of Evidence Based Medicine, [en ligne] [cité le 1^{er} decembre 2023], disponible sur : <https://www.cebm.net>

D'après le tableau récapitulatif de l'étude de Durieux et al. [57], notre étude servirait à objectiver si notre intervention est bénéfique ou non.

Les ECR sont des études expérimentales visant à comparer deux groupes, ou plus, dont un groupe contrôle ou témoin et un/des groupe(s) recevant une intervention. Le but est de vérifier l'impact de cette intervention par rapport au groupe contrôle ou témoin. En effet, nous rappelons que notre objectif dans cette revue est de savoir s'il existe un lien entre l'utilisation des étirements dynamiques sur les ischio-jambiers et l'augmentation de la force musculaire maximale de ces muscles chez le sportif régulier. Ce schéma d'étude semble être le plus pertinent et le plus à même de répondre à l'objectif de notre revue.

Cependant, même si le niveau de preuve de ce type d'étude est élevé, cela n'empêche pas le risque d'avoir beaucoup de biais. A l'inverse, une étude à bas de niveau de preuve ne veut pas dire qu'elle aura beaucoup de biais et sera peut-être de meilleure qualité méthodologique.

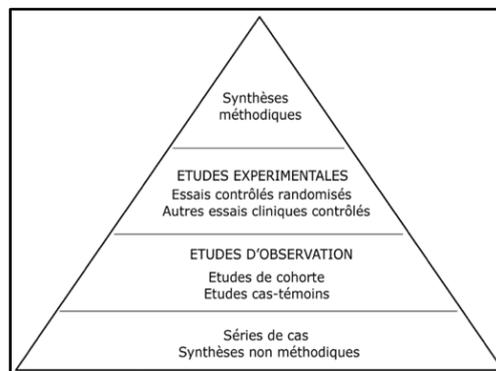


Figure 17 : Hiérarchie simplifiée des niveaux de preuve en fonction des schémas d'étude [57]

2.3 Méthodologie de recherche des études

Pour la recherche des études, les bases de données investiguées seront PubMed, Pedro, Cochrane Library et Google Scholar.

Seuls les mots-clés en anglais donneront des résultats probants. La recherche sur les bases de données en utilisant des mots-clés français a été abandonnée. En effet, aucune étude rédigée en français n'a évoqué la thématique recherchée ou du moins n'a pas été trouvée sur les bases de données.

L'équation de recherche utilisée suivra le modèle PICO (cf. Tableau II). Pour certaines équations de recherches, nous utiliserons l'astérisque « * » qui permet de rechercher des articles reprenant des mots avec une racine commune. Le site HeTop¹³ sera utilisé afin de trouver des synonymes en rapport avec les mots-clés de notre étude. Les mots clés entre guillemets permettent de chercher l'expression entière dans la base de données.

¹³ <https://www.hetop.eu/hetop/>

Les mots clés utilisés seront les suivants :

Population	Intervention	Comparateur	Outcome (critère de jugement)
Athlete	Stretching* Dynamic stretching Ballistic stretching Stretching exercises Effect dynamic stretching Effects dynamic stretching Chronic effects dynamic stretching Acute effects dynamic stretching Chronic effects Acute effects Hamstring Knee flexor Hip extensor Biceps femoris Semimembranosus Semitendinosus		Strength* Hamstring strength Functional performance Eccentric strength Concentric strength Static strength Force Muscular strength

Tableau II : Mots clés de l'équation de recherche

Aucun mot-clé ne sera cité dans le comparateur car le but de cette revue sera de comparer l'impact des étirements dynamiques sur la force musculaire maximale par rapport à un non-étirement ou une autre méthode que nous ne pouvons pas définir à l'avance car dépendant des choix des auteurs. En utilisant un comparateur, nous pourrions passer à côté d'articles potentiellement intéressants.

De plus, seul le mot-clé « athlete » permettra d'obtenir des résultats proches de nos recherches. Les synonymes tels que « sport », « sportsman », « sportswoman » ou « athletic » augmenteront considérablement le nombre d'articles dont la majorité n'a aucun lien avec l'objet de l'étude.

Chaque mot-clé s'associera ensuite aux autres grâce aux opérateurs booléens « OR » et « AND » en fonction des catégories dans lesquelles ils interviennent et les liens que l'on pourrait faire entre eux. Les mots-clés de l'intervention seront volontairement séparés en deux catégories pour augmenter la finesse des recherches.

Les recherches d'article sur les bases de données se sont arrêtées début novembre.

2.3.1 Équation de recherche sur la base de données PubMed et Cochrane

```

((((((((((((stretching*) OR (dynamic stretching)) OR (ballistic stretching)) OR (stretching exercises)) OR
(effect dynamic stretching)) OR (effects dynamic stretching)) OR (chronic effects dynamic stretching))
OR (acute effects dynamic stretching)) OR (chronic effects)) OR (acute effects)) AND ((((((hamstring)
OR (knee flexor)) OR (hip extensor)) OR (biceps femoris)) OR (semimembranosus)) OR
(semitendinosus))) AND (((((((strength*) OR (hamstring strength)) OR (functional performance)) OR

```

(eccentric strength)) OR (concentric strength)) OR (static strength)) OR (force)) OR (muscular strength))) AND (athlete)

2.3.2 Équation de recherche sur la base de données PEDro

Dans les recherches avancées de la base de données, les champs que nous aurons remplis seront les suivants :

Abstract & title : "dynamic stretching" strength* hamstring

Body part : thigh or hip

Method : clinical trial

When searching : Match all search terms with AND

2.3.3 Équation de recherche sur la base de données Google Scholar

Dans les recherches avancées de la base de données, les champs que nous aurons remplis seront les suivants :

Articles contenant :

Tous les mots suivants : hamstring strength * athlete dynamic * stretching * dynamic stretching

Au moins un des mots suivants : "acute effect" "chronic effect"

Mes mots : à n'importe quel endroit dans l'article

Cela donnera l'équation de recherche finale en barre de recherche : hamstring strength * athlete dynamic * stretching* "acute effect" OR "chronic effect" "dynamic stretching

2.4 Méthode de sélection des études

2.4.1 Sélection des études

Tout d'abord, rappelons que la sélection des études sera réalisée par une seule personne : l'auteur de la revue.

En premier lieu, après avoir saisi l'équation de recherche dans la base de données, la sélection des articles se fera à partir des **titres et des abstracts des études**. Cette sélection va se baser principalement sur les critères d'exclusion que nous avons évoqués précédemment (voir 2.1.2. Critères d'exclusion) mais aussi sur les critères d'inclusion (voir 2.1.1. Critères d'inclusion). Seul le critère d'exclusion sur la date ne sera pas tenu en compte pour le moment, dans le cas où il n'y aurait pas assez d'études finales pour notre revue de littérature. Toutes les études n'ayant aucun lien avec notre problématique seront également exclues.

Dans un second temps, la sélection des articles se fera par la **lecture complète** de ces derniers que nous aurons inclus précédemment. Cette sélection se basera également sur les critères d'inclusion et d'exclusion que nous aurons défini au préalable. Les doublons seront aussi exclus dans cette étape de sélection. (Cf. annexe 4)

Enfin, en fonction du nombre d'articles que nous aurons sélectionné, nous appliquerons un tri en fonction des **années de publication** des études incluses afin d'avoir des données les plus actuelles possibles et qui se rapprochent le plus des nouvelles recherches scientifiques.

Notons toutefois, qu'une dernière étape de sélection sera possible, si le nombre d'étude est assez élevé. Elle se basera sur l'évaluation de la **qualité méthodologique**, afin d'exclure les études présentant un risque de biais trop important. Les études sélectionnées seront classées dans un tableau afin de voir les points de convergences et de divergences ce qui permet d'affiner la qualité de notre étude.

Toute cette étape sera imagée par un diagramme de flux, inspiré du diagramme de flux de PRISMA 2020. (Cf. 3.1.1. Processus de sélection des études)

2.4.2 Évaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées

Cette évaluation va permettre de déceler les risques de biais dans les études.

Un biais reflète toute erreur provenant de la méthode utilisée par l'investigateur. Cela peut concerner le recrutement des individus pour l'étude, les facteurs affectant la participation à l'étude, les distorsions lors de la collecte d'informations ou encore des erreurs au niveau des résultats. [58]

Pour cette étude nous utiliserons l'échelle PEDro (cf. annexe 5) pour évaluer le risque de biais. L'échelle PEDro est une échelle que l'on utilise beaucoup pour les études kinésithérapiques. De plus, elle présente une fiabilité inter-évaluateur « moyenne » à « excellente » pour l'évaluation des essais cliniques en lien avec la kinésithérapie. Les items ont une fiabilité inter-évaluateur « moyenne » à « presque parfaite » pour les essais cliniques kinésithérapiques [59]. Enfin, l'échelle PEDro est une mesure valide pour évaluer la qualité méthodologique des essais cliniques. [60]

Par ailleurs, pour cette étude nous pourrions également utiliser l'échelle « Grades of Recommendation, Assessment, Development, and Evaluation » (GRADE). C'est une échelle qui permet d'évaluer la qualité méthodologique mais aussi la force de recommandation d'une étude. [61] (cf. annexe 6)

2.5 Méthode d'extraction et d'analyse des données

2.5.1 Extraction des données

Les études sélectionnées seront stockées grâce au logiciel Zotero. À la suite de cela, nous pourrions classer nos articles à l'aide d'un tableau récapitulatif pour chaque article sélectionné.

Ce tableau comportera le nom de l'article, la date, la population étudiée et le nombre de participants, la ou les interventions effectuée(s), les critères de jugement évalués ainsi que le schéma d'étude. Ces études seront classées par ordre chronologique. (cf. Tableau V)

2.5.2 Analyse des données

Pour cette revue de littérature, nous analyserons les données suivantes :

- La moyenne des données intra groupe associée à son écart-type
- L'intervalle de confiance à 95%,
- La valeur p
- La taille d'effet
- La valeur I^2 si l'analyse d'un Forest plot est nécessaire

La moyenne est la somme de plusieurs valeurs divisée par le nombre de valeurs. Ici, elle est associée à l'écart-type qui représente la dispersion autour de cette moyenne, plus il est faible, plus la population est homogène et se rapproche de la moyenne.

L'intervalle de confiance à 95% représente le fait qu'une valeur à 95% de chance de se retrouver dans cet intervalle.

La valeur p permet de donner une indication sur le résultat observé dans l'essai clinique en déterminant si celui-ci est dû au hasard ou non. Une valeur p inférieure ou égale au niveau de signification (exemple 5%) permet de considérer un résultat comme statistiquement significatif.

La taille d'effet définit l'ampleur de l'effet d'une intervention.

La valeur I^2 permet de décrire l'hétérogénéité dans une méta-analyse pour que celle-ci soit valable. Cette valeur tient compte du nombre d'études incluses. Plus la valeur se rapproche de 0%, moins il y a d'hétérogénéité. Au contraire, plus elle se rapproche de 100% et plus l'hétérogénéité est élevée. L'hétérogénéité est considérée comme « basse » si $I^2 < 25\%$, « modérée » entre 25 et 50%, « haute » entre 50% et 75% et « inacceptable » si $I^2 > 75\%$. [62]

2.6 Méthode de synthèse des résultats

Notre revue de littérature réalisera une synthèse quantitative des résultats quand les données nous le permettront.

Nous analyserons nos données dans la partie résultat (cf. 3. Résultat) à l'aide de Forest plot, quand cela sera possible. Le Forest plot est la représentation graphique des données utilisées dans une méta-analyse ou une revue systématique. Nous considérerons également les risques de biais de chaque étude.

Nos propres risques de biais concernant cette revue systématique seront également évalués dans la partie discussion. Nous finirons par conclure sur l'applicabilité ou non de cette intervention en kinésithérapie (cf. 4. Discussion) et par une conclusion générale de notre revue systématique (cf. 5. Conclusion).

3 Résultats

3.1 Description des études et processus de sélection

La recherche documentaire a commencé le 4 septembre 2023 et s'est terminée le 15 novembre 2023. Elle a été réalisée sur les bases de données PubMed, Cochrane Library, PEDro et Google scholar. Une réactualisation des données a été faite mais aucun nouvel article ne correspondait à notre équation de recherche.

3.1.1 Processus de sélection des études

Tout le processus de sélection des études va être résumé à l'aide d'un diagramme de flux inspiré du modèle PRISMA (cf. tableau III).

Après avoir saisi notre équation de recherche dans les bases de données citées au-dessus, nous avons obtenu 2022 résultats toutes bases de données confondues. Il y avait 465 articles sur PubMed, 123 sur Cochrane Library, 4 sur PEDro et 1430 sur Google Scholar.

Nous avons procédé à une sélection des articles par la lecture des titres et des abstracts en premier lieu. A la suite de cette sélection, 1953 articles ont été exclus de notre recherche. Ces articles ont été exclus soit parce qu'ils ne répondaient pas au type de schéma d'étude que nous nous étions fixés, soit parce que ces articles ne traitaient pas du sujet que nous voulions aborder. Nous avons retenu 25 articles sur PubMed, 6 sur Cochrane, 3 sur Pedro et 35 sur Google Scholar pour un total de 69 articles.

Secondairement, nous avons poursuivi notre sélection d'études en lisant l'intégralité des articles. Cela nous a permis de ne garder que 9 articles. Les 60 autres articles ont été exclus selon les motifs suivants (cf. annexe 4) :

- Mauvaise population : 3
- Mauvaise intervention : 17
- Mauvais critère de jugement : 21
- Mauvais schéma d'étude : 5
- Doublet : 5
- Non accessible : 9

Nous avons ensuite procédé à une sélection des articles en fonction des dates de publications et du type de dynamomètre utilisé. Les articles datant de plus de 15 ans ont été exclus. 6 des 9 articles sélectionnés utilisaient le Biodex System 3 ou le Cybex NORM comme dynamomètre. Nous avons donc décidé d'exclure les 3 autres pour éviter tout risque de biais quant à l'utilisation d'autres dynamomètres. Ces 3 articles dataient de plus de 15 ans donc nous avons pu les exclure en tant qu'articles trop anciens également. Parmi les 6 articles restants, 2 d'entre eux avaient été publiés avant 2010. Nous les avons donc exclus de l'étude.

Nous nous retrouvons donc avec 4 articles pour notre revue de littérature qui correspondent à nos critères de recherches et pouvant répondre à notre question PICO.

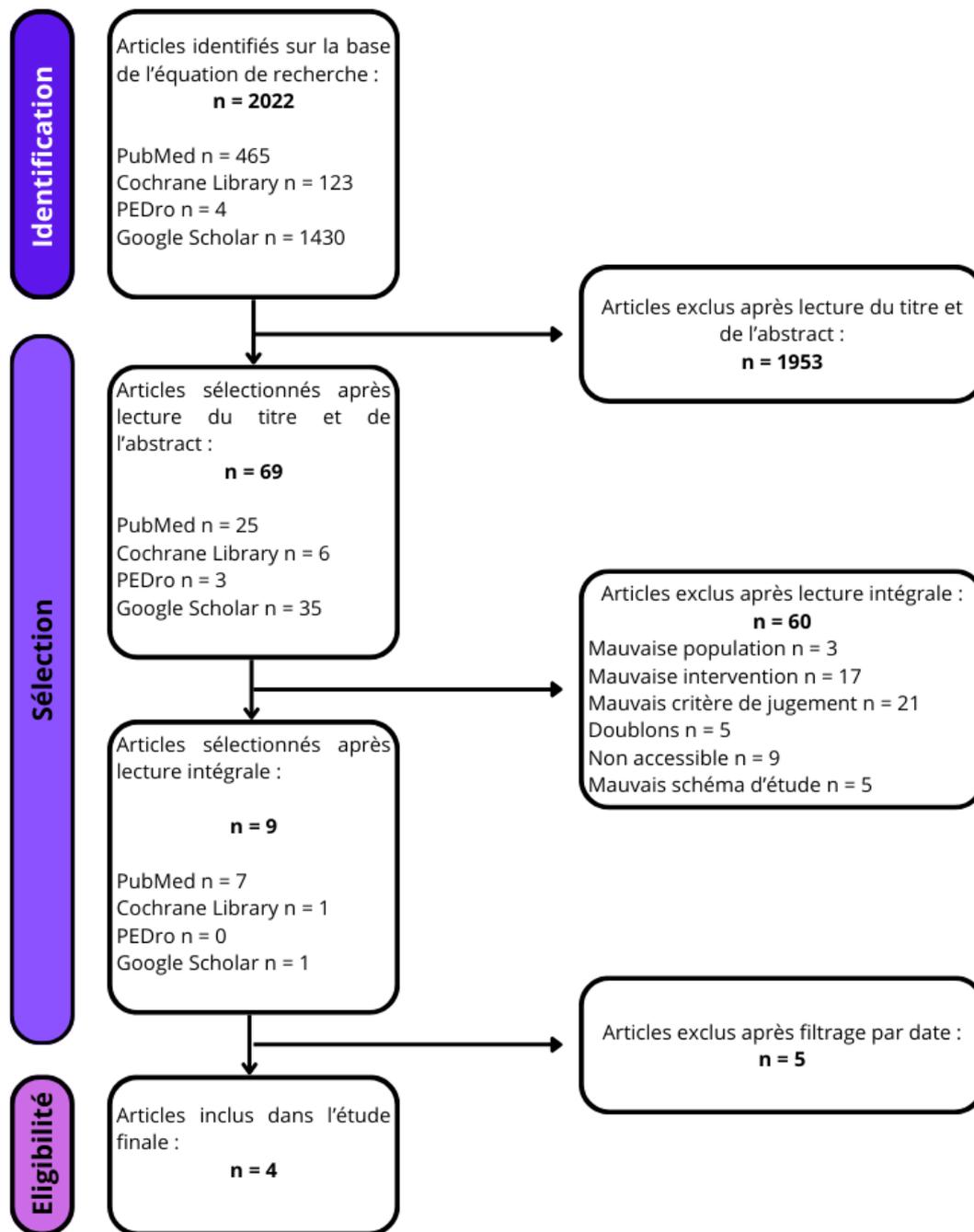


Tableau III : Diagramme de flux

3.1.2 Description et synthèse des études incluses

Sekir et al. [63]	Acute effects of static and dynamic stretching on leg flexor and extensor isokinetic strength in elite women athletes
Ayala et al. [64]	Acute effects of static and dynamic stretching on hamstring eccentric isokinetic strength and unilateral hamstring to quadriceps strength ratios
Su et al. [32]	Acute effects of foam rolling, static stretching, and dynamic stretching during warm-ups on muscular flexibility and strength in young adults
Barbosa et al. [65]	Chronic effects of static and dynamic stretching on hamstrings eccentric strength and functional performance: a randomized controlled trial

Tableau IV : Titre des études incluses dans la revue de littérature

Les études incluses pour cette revue sont détaillées dans le tableau ci-dessous (cf. tableau V). Nous avons décidé d'inclure finalement 4 études. Toutes ces études sont des essais cliniques randomisés.

Pour notre revue de littérature nous aurons au total 134 participants dont 49 sont des femmes et 85 sont des hommes. La moyenne d'âge des participants est de 21 ans. Nous avons donc affaire à une population de jeunes adultes. Seuls les athlètes n'étant pas blessés ou n'ayant pas de pathologies associées sont inclus dans les articles.

Les études [32,63,64] sont des études évaluant les effets des étirements dynamiques sur du court terme contrairement à l'étude de Barbosa et al. [65] évaluant l'efficacité des étirements dynamiques sur du long terme.

Enfin, les études [32,64,65] utilisent le Biodex System 3 isokinetic pour l'évaluation de la force musculaire maximale chez ces jeunes sportifs.

Seule l'étude de Sekir et al. [63] utilise le Cybex NORM en tant que dynamomètre dont la fiabilité est la même que le Biodex System 3. [51]

Les études de Ayala et al. [64] et Barbosa et al. [65] évaluent la force musculaire maximale en excentrique, celle de Su et al. [32] évalue la force en concentrique. Seule l'étude de Sekir et al. [63] évalue la force musculaire maximale à la fois en concentrique et en excentrique.

Nom et schéma de l'étude	Population	Intervention du groupe expérimental	Critères de jugement
Sekir et al. [63] (2010) Essai clinique randomisé croisé	10 femmes membre du National Athletic Club (\dot{A} = 20 +/- 2) Sport : athlétisme, 11h +/- 3h par semaine	<ul style="list-style-type: none"> - Échauffement de 5 minutes - 1^{er} test isocinétique en concentrique et excentrique des ischio-jambiers (IJ) et du quadriceps (Q) - Étirement des IJ et Q pendant 6 +/- 1 minutes : 5 répétitions rapides des deux types d'étirements par muscle puis 10 répétitions le plus vite et puissant possible avec un repos de 15 secondes entre chaque étirement différent. - 2^{ème} test isocinétique - Réalisé qu'une seule fois 	<p>Évaluation de la force musculaire maximale des IJ et du Q à 60°/s et 180°/s en excentrique et concentrique</p> <p>Évaluation de l'activité électromyographique des IJ et Q</p>
Ayala et al. [64] (2013) Essai clinique randomisé croisé	49 dont 25 hommes (\dot{A} = 21,3 +/- 2,5) et 24 femmes (\dot{A} = 20,4 +/- 1,8) Sport : non-dit, 2 à 5h et 3 à 5 fois par semaine	<ul style="list-style-type: none"> - Étirements sur 5 muscles (psoas, adducteur, fessiers, IJ et Q) réalisés en bilatéral, 15 fois de chaque, avec 20 secondes de repos entre chaque étirement - Test isocinétique réalisé 2 minutes après la réalisation des étirements - Réalisé qu'une seule fois 	<p>Évaluation du couple de force maximal à une vitesse de 60°/s et 180°/s en excentrique</p> <p>Évaluation de l'angle du couple maximal et du travail total</p> <p>Évaluation du ratio IJ/Q</p>
Su et al. [32] (2017) Essai clinique randomisé croisé	30 personnes dont 15 hommes et 15 femmes (\dot{A} = 21,43) Sport : course à pied, marche, vélo de façon régulière	<ul style="list-style-type: none"> - 5 minutes de vélo aérobic léger - 1^{er} test isocinétique en concentrique et excentrique des IJ et Q - Réalisation du test de "Thomas modifié" et du "Sit & Reach test" - 5 minutes de vélo aérobic léger - 6 minutes d'étirements dynamiques (15 répétitions réalisés en 1 minute répétées 3 fois sur les deux jambes) - 2^{ème} test isocinétique 5 minutes après l'intervention 	<p>Évaluation de la force musculaire maximale à 60°/s en concentrique des IJ et Q</p> <p>Évaluation de la flexibilité du Q par le test de Thomas modifié.</p> <p>Evaluation du "sit and reach test"</p>
Barbosa et al. [65] (2020) Essai clinique randomisé	45 hommes (\dot{A} = 21,9) Sport : athlétisme, 3 fois par semaine	<ul style="list-style-type: none"> - 1^{er} test isocinétique en excentrique des IJ - Réalisation des étirements avec 3 séries de 30 répétitions avec 30 secondes de repos entre chaque série - Réalisation du « triple hop test » et du « modified 20m sprin test » - 2^{ème} test isocinétique - Réalisé 3 fois par semaine pendant 10 sessions 	<p>Évaluation de la force musculaire maximale des IJ en excentrique à 60°/s</p> <p>Evaluation du "triple hop"</p> <p>Evaluation du "modified 20m sprint test"</p>

Tableau V : Détail des études incluses dans la revue de littérature

3.2 Risques de biais des études incluses

Pour évaluer les risques de biais des études présentées ci-dessus, nous allons utiliser l'échelle PEDro qui est représentative pour mesurer les risques de biais des essais cliniques randomisés (cf. 2.4.2 évaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées) (cf. annexe 5).

L'échelle PEDro contient 11 critères. Le premier item permet d'évaluer la validité externe, les items 2 à 9 s'intéressent à la validité interne et les items 10 et 11 aux relevés statistiques des études. Si l'étude répond à un item, elle obtient 1 point. A contrario, si l'étude ne répond pas à un item elle n'obtient aucun point.

La qualité de l'étude s'objectivera par une note sur 11 points. Une note élevée correspondra à une bonne qualité méthodologique. La note sera réduite à 10 en ôtant l'item 1.

D'après les auteurs, une note inférieure à 4 est considérée comme « pauvre », entre 4 et 5 comme « juste », entre 6 et 8 comme « bonne » et entre 9 et 10 comme « excellente ». [59] (cf. Tableau VI)

Items PEDro Etudes incluses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total	Qualité
Sekir et al. [63]	Validé	Validé	Non validé	Validé	Non validé	Non validé	Non validé	Validé	Validé	Validé	Validé	6/10 ou 7/11	Bonne
Ayala et al. [64]	Validé	Validé	Non validé	Validé	Non validé	Non validé	Non validé	Validé	Validé	Validé	Validé	6/10 ou 7/11	Bonne
Su et al. [32]	Validé	Validé	Non validé	Validé	Non validé	Non validé	Non validé	Validé	Validé	Validé	Validé	6/10 ou 7/11	Bonne
Barbosa et al. [65]	Validé	Validé	Non validé	Validé	Non validé	Validé	Validé	Validé	Validé	Validé	Validé	8/10 ou 9/11	Bonne

- Item validé
- Item non validé ou information non précisée

Tableau VI : Évaluation de la qualité méthodologique des études selon l'échelle PEDro

Nous pouvons constater que certains items n'ont pas été validé, et ce, pour les 4 articles sélectionnés [32,63–65]:

- **L'item 3** : aucun des articles sélectionnés pour l'étude ne mentionne si la répartition des sujets a suivi une assignation secrète, que cela soit par enveloppe opaque ou par une répartition faite par une personne extérieure à l'étude. Par manque d'information à ce sujet, nous ne pouvons pas valider cet item. Cela augmente le **biais de sélection**.
- **L'item 5** : il concerne la mise en aveugle ou non des sujets de l'étude. Au vu de l'intervention thérapeutique menée dans ces 4 études, il est impossible pour le sujet de ne pas savoir quel type d'étirement il devra réaliser. En effet, toutes les études informent leurs sujets quant à la façon dont l'étude va se dérouler. Les sujets sont donc tous en mesure de savoir dans quel groupe ils appartiennent et donc favorise le **biais de performance**.

De plus, des items n'ont été validés que par certaines études et concernent les informations suivantes :

- **L'item 6** : la mise en aveugle des thérapeutes n'a pas pu être respectée dans toutes les études [32,63,64]. Les thérapeutes savaient dans quelle catégorie les sujets se trouvaient lors de la transmission des consignes différentes en fonction des groupes auxquels ils étaient affectés. Cela augmente donc le **biais de performance**.
- **L'item 7** : de même pour la mise en aveugle des examinateurs. Les études [63,64] et [32] n'ont pas mis en aveugle leurs examinateurs pour le recueil des données favorisant encore le **biais de détection**.

3.3 Effets de l'intervention sur les critères de jugement

Dans cette partie, nous allons analyser les différents critères de jugement qui nous intéressent. En premier lieu, nous analyserons la force musculaire maximale des ischio-jambiers en concentrique à 60°/s et 180°/s puis dans un second temps la force musculaire maximale en excentrique à 60°/s et 180°/s.

Toutes les études ne présentent pas toutes les données que nous voulons analyser, ce qui amènera à une baisse de la pertinence de nos résultats. Nous rappelons que les études de Ayala et al. [64], Su et al. [32] et Barbosa et al. [65] ont utilisé le Biodex System 3. Seule l'étude de Sekir et al. [63] a utilisé le Cybex Norm.

Pour cette analyse de données, le groupe expérimental correspond au groupe ayant réalisé des étirements dynamiques au cours de l'étude.

3.3.1 Force musculaire maximale des ischio-jambiers en concentrique

3.3.1.1 Force musculaire maximale des ischio-jambiers en concentrique à 60°/s

Pour ce critère de jugement, nous retrouvons les études de Sekir et al. et de Su et al.

- ◆ L'étude de Sekir et al.

L'étude de Sekir et al. présente des données avant et après intervention des étirements dynamiques. C'est un essai clinique randomisé croisé.

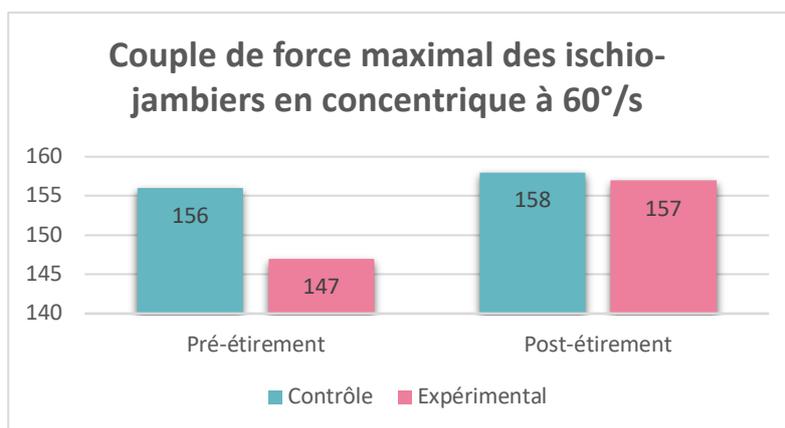


Figure 18 : Représentation graphique des données du couple de force maximal des ischio-jambiers en concentrique à 60°/s de l'étude de Sekir et al.

Concentrique	Taille de l'effet	Intervalle de confiance à 95%	Valeur p
60°/s	-1	[-8,89 ; 6,89]	P < 0,001

Tableau VII : Synthèse des résultats du couple de force maximal des ischio-jambiers en concentrique à 60°/s obtenus dans l'étude de Sekir et al.

La valeur moyenne du couple de force maximal en concentrique des ischio-jambiers obtenue après l'intervention des étirements dynamiques est passée de **147 à 157 Nm** pour une **vitesse de 60°/s**. Pour le groupe contrôle, on observe également une augmentation de la force musculaire maximale avec un delta de 2 N.m.

Par rapport au groupe contrôle, on constate une **taille d'effet de -1** avec un intervalle de confiance à 95% de **[-8,89 ; 6,89]** en tenant compte des valeurs obtenues pour les moyennes et les écarts-type. De plus, on observe une valeur **p < 0,001**.

◆ L'étude de Su et al.

Dans cette étude, il n'y a pas de groupe contrôle. C'est un essai clinique croisé randomisé donc toutes les personnes ont reçu tous les traitements mais dans des ordres différents. Nous explorerons seulement les données obtenues pour les étirements dynamiques.

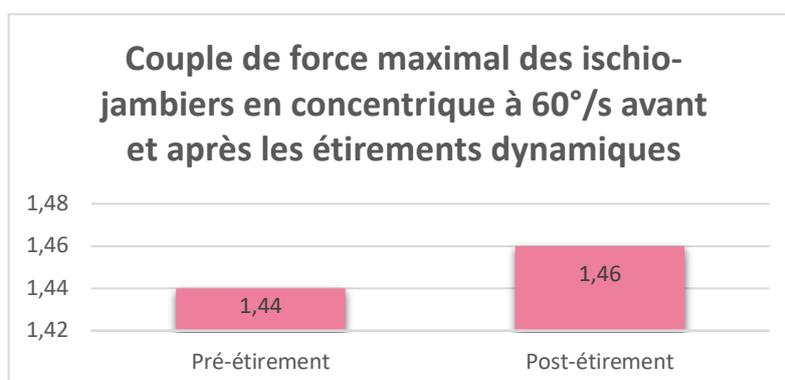


Figure 19 : Représentation graphique des données intra-groupe du couple de force maximal des ischio-jambiers en concentrique à 60°/s dans l'étude de Su et al.

Concentrique	Taille de l'effet	Intervalle de confiance à 95%	Valeur p
60°/s	0,14	[1,36 ; 1,56]	P > 0,05

Tableau VIII : Synthèse des résultats du couple de force maximal des ischio-jambiers en concentrique à 60°/s obtenus dans l'étude de Su et al.

L'unité de mesure utilisée ici est le **N.m.Kg⁻¹** représentant la force isocinétique. Il s'agit de la seule étude présentant ses résultats avec cette unité de mesure.

Pour les valeurs en concentrique à une vitesse de 60°/s, nous observons une valeur moyenne du pic de force maximale des ischio-jambiers passant de **1,44 à 1,46 N.m.Kg⁻¹**.

La **taille de l'effet intra-groupe** est directement donnée dans l'étude et est de **0,14**. L'intervalle de confiance à 95% est de **[1,36 ; 1,56]** avec une **valeur p > 0,05**.

3.3.1.2 Force musculaire maximale des ischio-jambiers en concentrique à 180°/s

Dans cette partie, nous retrouvons seulement l'étude de Sekir et al.

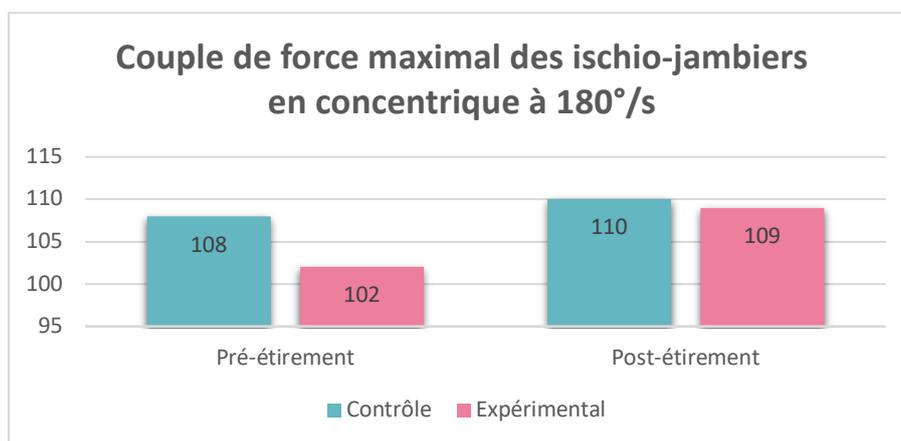


Figure 20 : Représentation graphique des données du couple de force maximal des ischio-jambiers en concentrique à 180°/s de l'étude de Sekir et al.

Concentrique	Taille de l'effet	Intervalle de confiance à 95%	Valeur p
180°/s	-1	[-6,71 ; 4,71]	P < 0,001

Tableau IX : Synthèse des résultats du couple de force maximal des ischio-jambiers en concentrique obtenus dans l'étude de Sekir et al.

La valeur moyenne du couple de force maximal en concentrique des ischio-jambiers obtenue après l'intervention des étirements dynamiques est passée de **102 à 109 Nm** donc une **différence de 7 N.m** pour une **vitesse de 180°/s**. Pour le groupe contrôle, on observe également une augmentation de la force musculaire maximale avec un delta de 2 N.m.

Par rapport au groupe contrôle, on constate une **taille d'effet de -1** avec un intervalle de confiance à 95% de **[-6,71 ; 4,71]** en tenant compte des valeurs obtenues pour les moyennes et les écarts-type. De plus, on observe une valeur **p < 0,001**.

3.3.2 Force musculaire maximale des ischio-jambiers en excentrique

3.3.2.1 Force musculaire maximale des ischio-jambiers en excentrique à 60°/s

Pour ce critère de jugement, nous retrouvons les études de Sekir et al., Ayala et al. et Barbosa et al.

- ◆ L'étude de Sekir et al.

Cette étude présente les données pré et post étirements dynamiques.

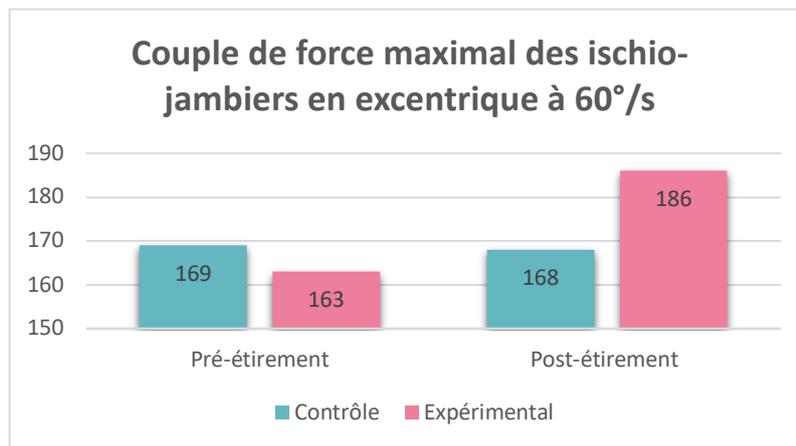


Figure 21 : Représentation graphique des données du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique à 60°/s dans l'étude de Sekir et al.

Excentrique	Taille de l'effet	Intervalle de confiance à 95%	Valeur p
60°/s	18	[6,16 ; 29,84]	P < 0,001

Tableau X : Synthèse des résultats du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique obtenus dans l'étude de Sekir et al.

Pour les données en **excentrique à une vitesse de 60°/s**, nous pouvons voir que la valeur moyenne du couple de force maximal des ischio-jambiers a augmenté et est passée de **163 à 186 Nm** donc un **delta de 23 N.m**. Pour le groupe contrôle, on observe une diminution de 1 N.m après réalisation des étirements dynamiques. Par rapport au groupe contrôle, on observe une **taille d'effet de 18** avec un intervalle de confiance de **[6,16 ; 29,84]** et une **valeur p < 0,001**.

- ◆ L'étude de Ayala et al.

Dans cette étude, tous les participants ont réalisé tous les types d'étirements proposés mais dans des ordres différents. Il s'agit d'un essai clinique randomisé croisé.

Les évaluateurs ont décidé de faire réaliser aux participants l'évaluation de leur force musculaire maximale en concentrique et en excentrique juste après les étirements. Seules les données en excentriques à 60°/s et 180°/s ont été retranscrites dans l'étude.

Nous n'avons pas accès aux données pré-étirement du couple de force maximal des ischio-jambiers.

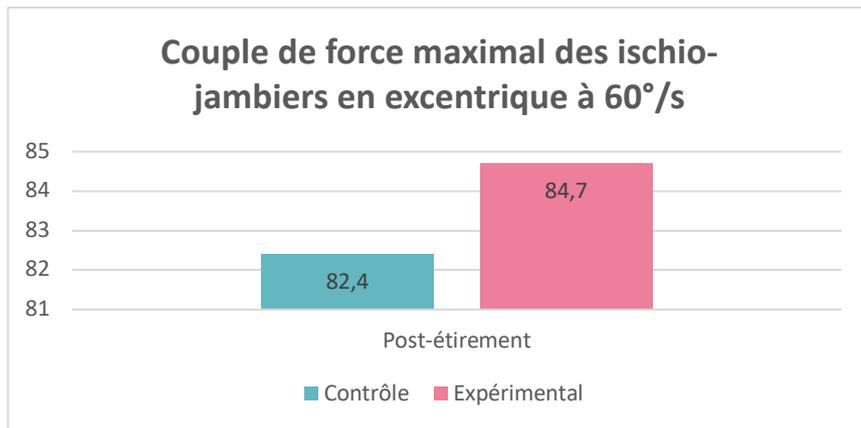


Figure 22 : Représentation graphique des données du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique à 60°/s dans l'étude de Ayala et al.

Excentrique	Taille de l'effet	Intervalle de confiance à 95%	Valeur p
60°/s	2,3	[-5,88 ; 10,48]	P > 0,05

Tableau XI : Synthèse des résultats du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique obtenus dans l'étude de Ayala et al.

Pour les valeurs en excentrique à une **vitesse de 60°/s**, nous observons une valeur moyenne du pic de force des ischio-jambiers post-étirement dynamique de **84,7 Nm**. La valeur du groupe contrôle étant de 82,4 Nm.

Par rapport au groupe contrôle, on observe une **taille d'effet de 2,3** avec un intervalle de confiance à 95% de **[-5,88 ; 10,48]** et une **valeur p > 0,05**.

◆ L'étude de Barbosa et al.

Dans cette étude, seule la mesure dynamométrique à 60°/s en excentrique a été prise en compte.

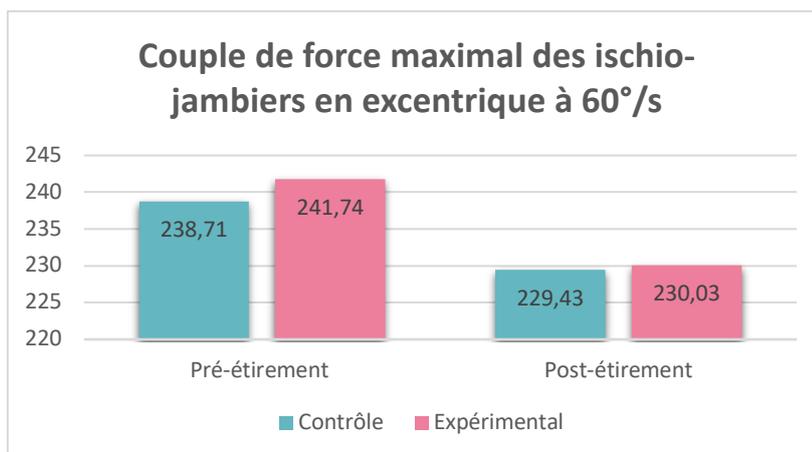


Figure 23 : Représentation graphique des données du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique à 60°/s dans l'étude de Barbosa et al.

Excentrique	Taille de l'effet	Intervalle de confiance à 95%	Valeur p
60°/s	0,6	[-27,73 ; 28,93]	P = 0,002

Tableau XII : Synthèse des résultats du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique obtenus dans l'étude de Barbosa et al.

Pour les valeurs en excentrique à une vitesse de 60°/s, nous observons une diminution de la valeur maximale du couple de force des ischio-jambiers allant de **241,74 à 230,03 Nm**.

Par rapport, au groupe contrôle, on constate une **taille d'effet de 0,6** avec un intervalle de confiance de **[-27,73 ; 28,93]** et une **valeur p = 0,002**.

3.3.2.2 Force musculaire maximale des ischio-jambiers en excentrique à 180°/s

Ce critère de jugement intègre les articles Sekir et al. et Ayala et al.

- ◆ L'étude de Sekir et al.

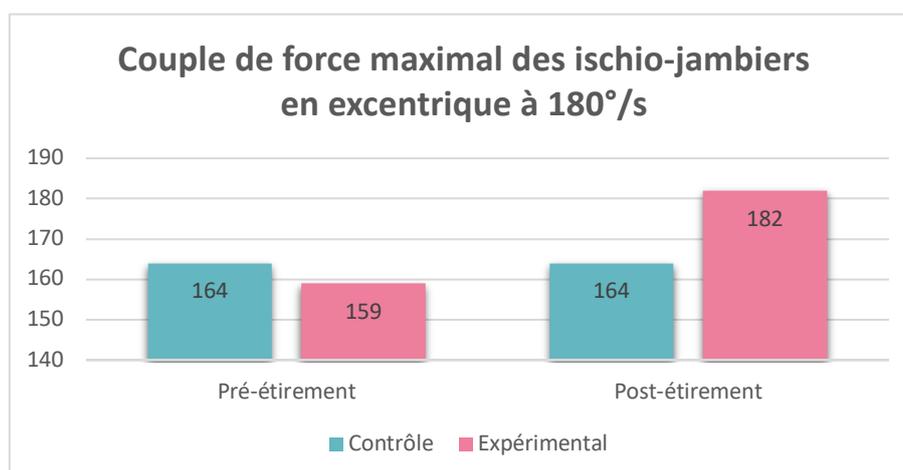


Figure 24 : Représentation graphique des données du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique à 180°/s dans l'étude de Sekir et al.

Excentrique	Taille de l'effet	Intervalle de confiance à 95%	Valeur p
180°/s	18	[5,73 ; 30,27]	P < 0,001

Tableau XIII : Synthèse des résultats du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique obtenus dans l'étude de Sekir et al.

Pour les données en **excentrique à une vitesse de 180°/s**, nous observons que la valeur moyenne du couple de force maximal des ischio-jambiers a augmenté et est passée de **159 à 182 Nm**. Par rapport au groupe contrôle, la taille de **l'effet est de 18** avec un intervalle de confiance à 95% de **[5,73 ; 30,27]** et une **valeur p < 0,001**.

◆ L'étude de Ayala et al.

Dans cette étude, nous n'avons obtenu que les résultats post étirements dynamiques.

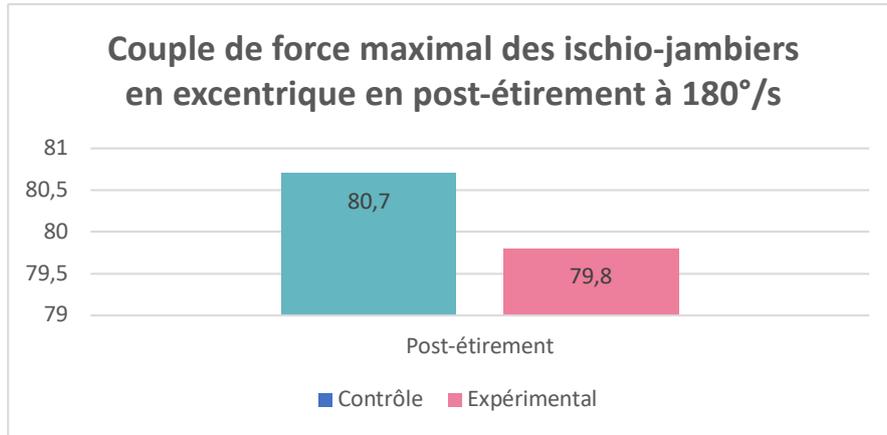


Figure 25 : Représentation graphique des données du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique à 180°/s dans l'étude de Ayala et al.

Excentrique	Taille de l'effet	Intervalle de confiance à 95%	Valeur p
180°/s	-0,9	[-8,48 ; 6,68]	P > 0,05

Tableau XIV : Synthèse des résultats du couple de force maximal des ischio-jambiers en excentrique obtenus dans l'étude de Ayala et al.

Pour les valeurs en excentrique à une **vitesse de 180°/s**, nous observons une valeur moyenne du pic de force des ischio-jambiers post-étirements dynamiques de **79,8 Nm**. La valeur du groupe contrôle étant de 80,7 Nm.

Par rapport au groupe contrôle, la **taille d'effet est de 0,9** avec un intervalle de confiance de **[-8,48 ; 6,68]** et une **valeur p > 0,05**.

3.3.3 Méta-analyse

3.3.3.1 La force musculaire maximale concentrique à 60°/s

Dans cette partie, il est impossible de pouvoir quantifier nos résultats à l'aide d'un Forest plot. En effet, l'étude de Su et al. ne présente pas de groupe contrôle et les deux articles n'ont pas utilisé la même unité de mesure. L'analyse quantitative ne peut donc être réalisée. Des études supplémentaires à ce sujet seraient utiles afin de pouvoir interpréter nos résultats.

3.3.3.2 La force musculaire maximale concentrique à 180°/s

Dans cette partie, seule l'étude de Sekir et al. analyse la force musculaire maximale dans cette vitesse angulaire. Il est donc impossible de réaliser un Forest plot pour ce critère de jugement ci.

3.3.3.3 La force musculaire maximale excentrique à 60°/s

Dans cette partie, un Forest plot a pu être réalisé. En effet, 3 études ont évalué les mêmes critères de jugement.

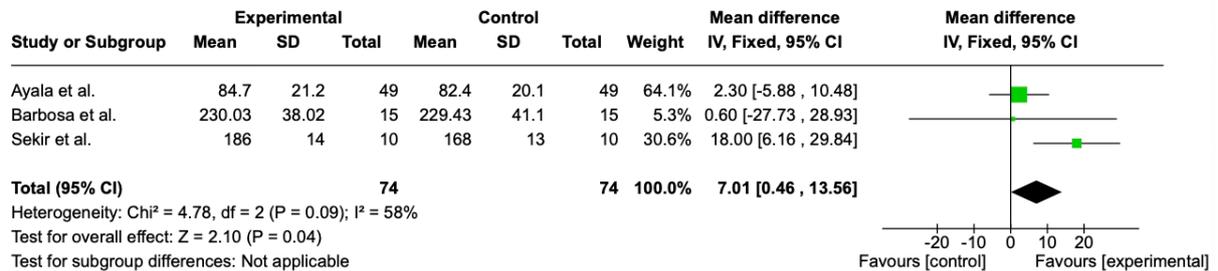


Figure 26 : Forest plot des données de la force musculaire maximale en excentrique à 60°/s

Ce Forest plot analyse les résultats obtenus pour les 3 études mesurant la force musculaire maximale des ischio-jambiers en excentrique à 60°/s.

On observe dans un premier temps, un intervalle de confiance à 95% pour les 3 études de **[0,46 ; 13,56]** avec une taille d'effet de **7,01**.

On constate également une valeur **p = 0,04** ainsi que la valeur **I² = 58%**.

3.3.3.4 La force musculaire maximale excentrique à 180°/s

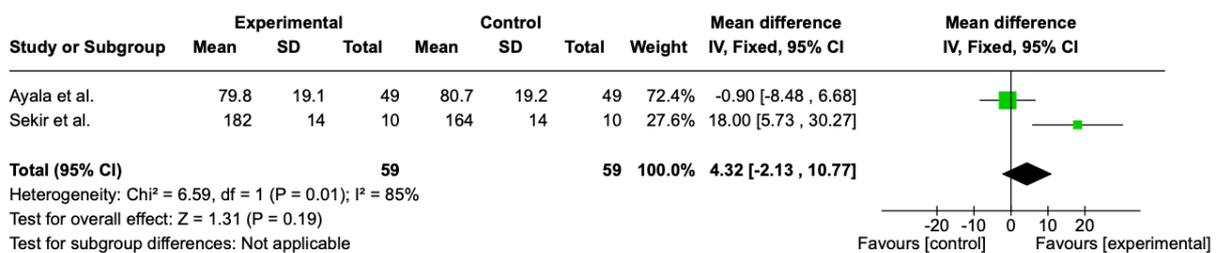


Figure 27 : Forest plot des données de la force musculaire maximale en excentrique à 180°/s

Ce Forest plot analyse les résultats obtenus pour les 2 études mesurant la force musculaire maximale des ischio-jambiers en excentrique à 180°/s.

On observe un intervalle de confiance à 95% de **[-2,13 ; 10,77]** avec une taille d'effet de **4,32**. De plus, on remarque que la valeur **p = 0,19** et la valeur **I² = 85%**.

4 Discussion

Dans cette partie, nous allons d'abord analyser les résultats obtenus puis les corrélés par rapport aux risques de biais auxquels nous avons été confrontés lors de notre revue.

L'objectif de notre revue est de savoir s'il existe une corrélation entre la pratique des étirements dynamiques des ischio-jambiers en milieu sportif et l'augmentation de la force musculaire maximale. Notre hypothèse de départ était de dire que l'utilisation des étirements dynamiques permettrait d'augmenter la force musculaire maximale des ischio-jambiers chez le sportif régulier.

4.1 Analyse des principaux résultats

4.1.1 Analyse des résultats des différents critères de jugement

4.1.1.1 Force musculaire maximale en concentrique à 60°/s

Seules les études de Sekir et al. [63] et Su et al. [32] évaluent la force musculaire maximale des ischio-jambiers en **concentrique à 60°/s** après la réalisation des étirements dynamiques.

Ces données ont été mesurées grâce aux dynamomètres Cybex Norm et Biodex System 3.

◆ L'étude de Sekir et al.

Dans cette étude, les auteurs ont mesuré la force musculaire maximale en concentrique des ischio-jambiers à vitesse lente (60°/s) à l'aide du Cybex Norm.

Pour cette vitesse étudiée, on constate une **augmentation de la force musculaire maximale** des ischio-jambiers après intervention des étirements dynamiques. La force musculaire maximale à 60°/s est passée, en moyenne, de 147 N.m à 157 N.m après intervention des étirements dynamiques avec donc une **différence post-pré de 10 N.m**. On constate également une augmentation de la force musculaire maximale dans le groupe contrôle, mais moindre, avec une différence post-pré de 2 N.m. On peut donc établir l'hypothèse que l'intervention des étirements dynamiques semble être plus efficace sur l'augmentation de la force musculaire maximale par rapport à une non-intervention d'étirements.

De plus, les résultats ont été jugés **statistiquement significatifs** avec une valeur **p < 0,001**. Ces résultats ne sont donc pas le fruit du hasard. Cependant, les données obtenues pour l'intervalle de confiance à 95% sont de **[-8.89 ; 6.89]** et montrent qu'il existe une potentielle **absence d'effet** car les intervalles comprennent la valeur 0. On notera que les valeurs obtenues sont plus en faveur du groupe contrôle.

On observe une petite population de 10 sujets, ce qui ne permet pas de conclure sur une efficacité ou non de l'intervention sur ce critère de jugement.

Enfin, la taille d'effet du groupe expérimental par rapport au groupe contrôle est de **-1**. Il y aurait donc une force musculaire maximale plus élevée pour le groupe contrôle que pour le groupe expérimental après intervention.

◆ L'étude de Su et al.

Dans cette étude, les auteurs ont décidé de mesurer la force musculaire maximale en concentrique sur du court terme à une vitesse de 60°/s. Les données ont été exprimées en N.m.kg⁻¹.

On constate une **augmentation de la force musculaire maximale** passant de 1,44 N.m.kg⁻¹ à 1,46 N.m.kg⁻¹ donc une différence **post-pré de 0,02 N.m.kg⁻¹**. On peut donc objectiver qu'il existe une amélioration de la force musculaire maximale en concentrique après intervention des étirements dynamiques.

On remarque également une taille d'effet de **0,14** montrant une force musculaire maximale plus élevée pour le groupe expérimental que pour le groupe contrôle après réalisation des étirements dynamiques.

De plus, les résultats ont été jugés **non statistiquement significatifs** au vu de la valeur **p > 0,05**. Cela signifie que les valeurs obtenues peuvent être dues au hasard. On constate également que l'intervalle de confiance à 95% est de **[1,36 ; 1,56]** et ne contient pas la valeur nulle. Il y aurait potentiellement un **effet en faveur de notre intervention** sur le critère de jugement étudié.

Cependant, l'étude ne comporte qu'un nombre peu élevé de sujets (n=30) ce qui ne permet pas de conclure sur l'efficacité ou non des étirements dynamiques sur le critère de jugement étudié.

◆ Conclusion

Dans ces deux études, nous constatons une augmentation de la force musculaire maximale des ischio-jambiers après intervention des étirements dynamiques sur les ischio-jambiers.

Cependant, le nombre peu important de sujets pour ces deux études (n=40) et les résultats statistiques obtenus ne nous permettent pas de conclure et de répondre en faveur de notre hypothèse de départ.

4.1.1.2 Force musculaire maximale en concentrique à 180°/s

Pour cette partie, seule l'étude de Sekir et al. a analysé la force concentrique à vitesse élevée.

◆ L'étude de Sekir et al.

On constate une **augmentation de la force musculaire maximale** des ischio-jambiers après intervention des étirements dynamiques. Pour une vitesse de 180°/s, la force musculaire maximale a **augmenté de 7 N.m** en passant de 102 à 109 N.m. On constate également une augmentation de la force musculaire maximale dans le groupe contrôle, mais moindre, avec une différence post-pré de 2 N.m. On peut donc objectiver que l'intervention des étirements dynamiques semble être plus efficace sur l'augmentation de la force musculaire maximale par rapport à une non-intervention d'étirements.

De plus, les résultats ont été jugés **statistiquement significatifs** avec une valeur **p < 0,001** et n'est donc pas le fruit du hasard. Cependant, l'intervalle de confiance à 95% est de **[-6.71 ; 4.71]**. Cela montre qu'il existe une potentielle **absence d'effet** car les intervalles comprennent la valeur 0 avec des valeurs plutôt en faveur du groupe contrôle.

On remarque également que cette étude a été réalisée avec un faible nombre de participants (n=10) ce qui renforce la non-utilisation des données à bon escient.

Enfin, la taille d'effet du groupe contrôle par rapport au groupe expérimental est de **-1** ce qui montre une force maximale plus élevée pour le groupe contrôle que pour le groupe expérimental après intervention.

◆ Conclusion

On constate qu'il existe une potentielle amélioration de la force musculaire maximale après intervention des étirements dynamiques.

Les données obtenues ne seraient pas dues aux hasards et seraient statistiquement significatives mais il serait possible que l'intervention n'ait aucun effet sur le critère de jugement étudié au vu de l'intervalle de confiance et du faible nombre de participants à l'étude.

Nos résultats ne permettent pas de conclure sur notre hypothèse de départ.

4.1.1.3 Force musculaire maximale en excentrique à 60°/s

3 des 4 études incluses [63–65] évaluent la force musculaire maximale des ischio-jambiers en **excentrique à 60°/s** après la réalisation des étirements dynamiques.

Ces données ont été mesurées grâce aux dynamomètres Cybex Norm [63] et Biodex System 3 [64,65].

◆ L'étude de Sekir et al.

Dans cette étude, les auteurs ont décidé d'évaluer l'impact des étirements dynamiques sur la force musculaire maximale avec le Cybex Norm sur du court terme.

Pour le groupe expérimental, on constate une **augmentation de la force musculaire maximale** avec une **différence post-pré de 23 N.m à 60°/s** en passant de 163 N.m à 186 N.m. Pour le groupe contrôle, on remarque une diminution de la force musculaire maximale de 1 N.m. On peut donc objectiver que l'intervention des étirements dynamiques améliore la force musculaire maximale des ischio-jambiers par rapport au groupe contrôle.

De plus, les résultats ont été jugés comme **statistiquement significatifs** avec une valeur **p < 0,001**. Cela signifie que les résultats obtenus ne sont pas dus au fruit du hasard. L'intervalle de confiance à 95% est de **[6.16 ; 29.84]** et montre également qu'il y aurait un **effet de l'intervention** sur notre critère de jugement. En effet, la valeur nulle ne fait pas partie de l'intervalle de confiance à 95% et les valeurs sont en faveur du groupe expérimental.

Cependant, l'étude est réalisée avec un faible nombre de sujets (n=10), ce qui ne permet pas de renforcer les données statistiques que nous avons obtenues ci-dessus. Il faudrait évaluer ces données sur un plus grand nombre de participants pour que cela soit plus significatif.

Enfin, la taille d'effet du groupe contrôle par rapport au groupe expérimental est de **18** ce qui signifie que l'on obtient une force musculaire maximale plus élevée, après intervention, dans le groupe expérimental par rapport au groupe contrôle.

◆ L'étude de Ayala et al.

Dans cette étude, les auteurs ont décidé d'évaluer la force musculaire maximale sur du court terme avec le dynamomètre Biodex System 3.

On observe pour une vitesse de 60°/s, une **force des ischio-jambiers plus importante** après réalisation des étirements dynamiques par rapport au groupe contrôle. En effet, la force musculaire maximale post-étirement dynamique est de **84,7 N.m** contrairement à celle du groupe contrôle qui est de 82,4 N.m. Cependant, nous n'avons pas les données pré-étirements ce qui ne nous permet pas de savoir s'il y a eu une modification de la force musculaire maximale après intervention des étirements dynamiques. On peut donc seulement objectiver, d'après les résultats, que les étirements dynamiques obtiennent une force maximale plus élevée que la non-utilisation d'étirement.

De plus, on remarque que les résultats ne sont **pas statistiquement significatifs** et peuvent être dus au hasard. En effet, la valeur **p > 0,05** pour cette vitesse. L'intervalle de confiance à 95% est de **[-5.88 ; 10.48]** et contient la valeur 0. Il est donc possible qu'il y ait une **absence d'effet** de l'intervention malgré un nombre de valeurs plus en faveur du groupe expérimental que du groupe contrôle.

Au vu du faible nombre de sujet dans l'étude (n=49), cela renforce la non-significativité des résultats et ne permet pas de conclure sur une éventuelle augmentation de la force musculaire maximale des ischio-jambiers.

Enfin, on constate que la taille d'effet est de **2,3**. Il y a donc une force musculaire maximale plus élevée après intervention dans le groupe expérimental que dans le groupe contrôle.

◆ L'étude de Barbosa et al.

Dans cette étude, les auteurs ont décidé d'évaluer la force musculaire maximale des ischio-jambiers sur du long terme avec le dynamomètre Biodex System 3.

Premièrement, on observe une **diminution du couple de force maximal des ischio-jambiers** à la fois dans le groupe contrôle et expérimental. En effet, pour le groupe expérimental, la force musculaire maximale **diminue de 11,71 N.m** en passant de 241,74 N.m à 230,03 N.m. Pour le groupe contrôle, la force musculaire maximale diminue de 9,28 N.m en passant de 238,71 N.m à 229,43 N.m. Il n'y aurait donc pas d'amélioration de la force musculaire maximale sur du long terme et donc rejeterait notre hypothèse de départ.

De plus, la taille d'effet est de **0,6** ce qui signifie que les valeurs obtenues pour le groupe expérimental sont plus élevées que celles du groupe contrôle après intervention des étirements dynamiques.

Enfin, on observe une valeur **p = 0,002**. Cela signifie que les données relevées sont **statistiquement significatives** et ne sont pas le fruit du hasard. Cependant, on observe au niveau de l'intervalle de confiance à 95% qui est de **[-27.73 ; 28.93]** que la valeur nulle est contenue dans cet intervalle. Cela objective le fait qu'il est possible d'avoir une **absence d'effet** de l'intervention sur le critère de jugement que l'on étudie. Au vu des résultats obtenus dans l'intervalle de confiance, on remarque que les valeurs ne sont en faveur d'aucun groupe et restent plutôt neutres.

Le nombre de sujets dans l'étude est de 45. Cela reste trop peu pour avoir une représentation de l'intervention sur la population générale. Cela baisse donc la significativité des résultats obtenus

◆ Méta-analyse et conclusion

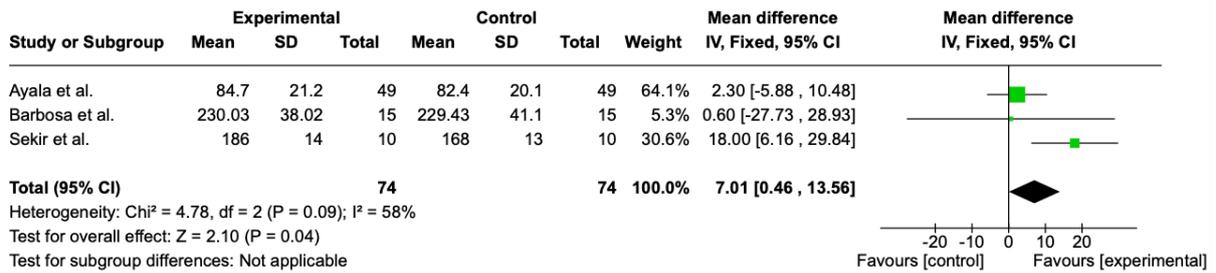


Figure 26 : Forest plot des données de la force musculaire maximale en excentrique à 60°/s

A l'aide de ce Forest plot, nous pouvons observer que l'intervalle de confiance à 95% de la différence des moyennes des 3 études est de **[0,46 ; 13,56]**. Cet intervalle ne croise pas la valeur 0 donc penche pour une possible **efficacité des étirements dynamiques** sur l'augmentation de la force musculaire maximale en excentrique à 60°/s.

De plus, la valeur **p = 0,04 < 0,05** donc les résultats sont **statistiquement significatifs**. La taille d'effet est de **7,01** ce qui signifie que l'on observe une meilleure force musculaire maximale après réalisation des étirements dynamiques par rapport au groupe contrôle.

Enfin, nous voyons, d'après le **I² = 58%**, une hétérogénéité élevée de notre Forest plot.

Nous pouvons donc conclure qu'il existerait potentiellement une amélioration de la force musculaire maximale des ischio-jambiers après réalisation des étirements dynamiques par rapport au groupe contrôle. Cependant, au vu de l'hétérogénéité et du faible nombre de sujets (n=74), nous ne pouvons pas conclure que cette hypothèse soit totalement approuvée.

4.1.1.4 Force musculaire maximale en excentrique à 180°/s

Pour ce critère de jugement, nous avons obtenu les résultats des études de Sekir et al. et Ayala et al.

◆ L'étude de Sekir et al.

Pour le groupe expérimental, à 180°/s, la **différence post-pré est de 23 N.m** passant de 159 N.m à 182 N.m donc une **augmentation de la force musculaire maximale**. Pour le groupe contrôle, aucune différence n'a été détectée. On peut donc objectiver que l'intervention des étirements dynamiques améliore la force musculaire maximale des ischio-jambiers par rapport au groupe contrôle.

De plus, les résultats ont été jugés comme **statistiquement significatifs** avec une valeur **p < 0,001**. Cela signifie que les résultats obtenus ne sont pas dus au fruit du hasard. L'intervalle de confiance à 95% est **[5.73 ; 30.27]** et montre également qu'il y aurait un **effet de l'intervention** sur notre critère de jugement. En effet, la valeur nulle ne fait pas partie de l'intervalle de confiance.

Le faible nombre de participants à l'étude (n=10) ne représente pas assez la population générale et fait donc diminuer la significativité des résultats.

Enfin, la taille d'effet du groupe contrôle par rapport au groupe expérimental est de **18**. On remarque que la force musculaire maximale des ischio-jambiers est plus élevée dans le groupe expérimental que dans le groupe contrôle après réalisation de l'intervention.

◆ L'étude de Ayala et al.

Dans cette étude, pour une vitesse à 180°/s, on observe que le **groupe contrôle possède une force musculaire maximale des ischio-jambiers plus élevée que le groupe expérimental** avec une force de 80,7 N.m par rapport aux 79,8 N.m du groupe expérimental. Au vu du manque de données pré-étirement, nous ne pouvons pas conclure sur l'augmentation de la force ou non du groupe contrôle et expérimental.

De plus, on remarque que les résultats ne sont **pas statistiquement significatifs** et peuvent être dus au hasard. En effet, la valeur **p > 0,05**. L'intervalle de confiance à 95% contient la valeur 0 : **[-8.48 ; 6.68]**. Il est donc possible qu'il y ait une **absence d'effet** de l'intervention.

La taille de l'échantillon de cette étude étant faible (n=49), cela ne permet pas de renforcer ou non notre hypothèse de départ.

Enfin, la taille d'effet est de **-0,9** signifiant une meilleure force musculaire maximale pour le groupe contrôle que pour le groupe expérimental après intervention des étirements dynamiques.

◆ Conclusion

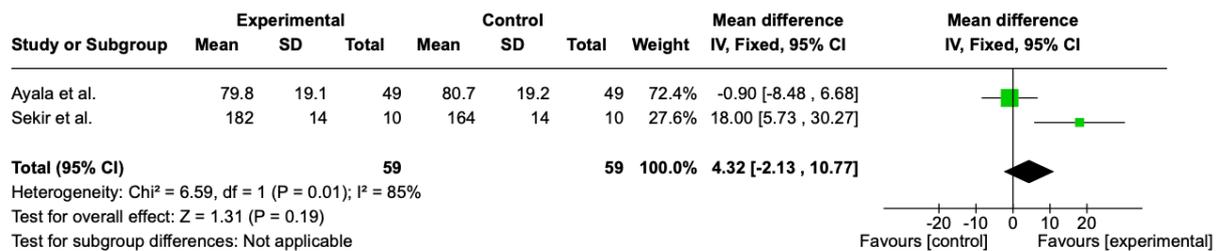


Figure 27 : Forest plot des données de la force musculaire maximale en excentrique à 180°/s

A l'aide de ce Forest plot, nous pouvons observer que l'intervalle de confiance à 95% de la différence des moyennes des 2 études est de **[-2,13 ; 10,77]**. Cet intervalle croise la valeur 0 ce qui signifie qu'il y a une possibilité **d'absence d'effet** de l'intervention sur la force musculaire maximale en excentrique à 180°/s.

De plus, la valeur **p = 0,19 > 0,05** donc les résultats ne sont **pas statistiquement significatifs** et peuvent être le fruit du hasard. La taille d'effet est de **4,32** ce qui signifie que l'on observe une force musculaire maximale plus importante après réalisation des étirements dynamiques par rapport au groupe contrôle.

Enfin, nous voyons, d'après le **I² = 85%**, une hétérogénéité dite « inacceptable » de notre Forest plot.

Au vu des données recueillies, nous ne pouvons pas conclure sur une potentielle amélioration ou non de notre intervention sur ce critère de jugement précis même si les données tendent vers le groupe expérimental. De plus, les résultats n'étant pas statistiquement significatifs et le nombre de sujet trop faible (n=59), nous ne pouvons pas émettre une conclusion tranchée sur notre hypothèse de départ.

Pour l'interprétation de nos résultats, certaines données nous manquent pour être encore plus précis dans notre analyse. Le score MCID en fait partie. En effet, aucune des 4 études ne précise ce score. Ce manque d'information ne nous permet pas d'interpréter nos résultats comme étant cliniquement significatif ou non.

4.1.2 Analyse des biais et de l'hétérogénéité de la revue

En premier lieu, nous allons aborder tous les biais que nous avons trouvé dans notre revue grâce à l'échelle PEDro.

A partir de l'échelle PEDro, nous avons pu constater que les 4 articles sélectionnés pour notre étude n'ont pas respecté l'assignation secrète lors de la répartition aléatoire des participants. Nous ne savons pas s'il s'agit d'un oubli de mention ou si les sujets ont été répartis uniquement de façon aléatoire. Il s'agit d'un **biais de sélection**. En effet, les examinateurs ont pu attribuer leurs sujets dans les groupes qu'ils souhaitaient en fonction des aptitudes des sujets et cela pourrait influencer les données finales. Une assignation secrète aurait été préférable afin d'avoir une répartition des sujets d'une façon la plus aléatoire possible.

Les 4 études n'ont, non plus, pas respecté l'item 5 de l'échelle PEDro qui consiste à mettre en aveugle les sujets de l'étude quant à leur assignation dans un groupe. En effet, au vu de l'intervention, il était impossible pour les examinateurs de laisser les sujets en aveugle. Tous les participants étaient au courant de la procédure mise en place par les thérapeutes, il était donc impossible pour eux d'être en aveugle. Il existe donc un **biais de performance**.

3 des 4 études n'ont pas respecté la mise en aveugle de leurs thérapeutes [32,63,64]. Cela augmente également le **biais de performance**. Les thérapeutes peuvent être influencés quant aux résultats obtenus après les tests dynamométriques. On ne sait pas s'il s'agit d'une omission de l'information ou si les thérapeutes étaient au courant du groupe dans lequel les sujets appartenaient. Toutefois, cela augmente les biais pour notre revue.

Enfin, au niveau des biais obtenus dans l'échelle PEDro, on constate qu'il y a un autre biais concernant la mise en aveugle des examinateurs. Seule l'étude de Barbosa et al. l'explique dans son protocole. La non mise en aveugle des examinateurs pourrait influencer les résultats en les améliorant ou non en fonction de l'hypothèse de départ. Il pourrait y avoir une surinterprétation des résultats renforçant le **biais de détection**.

En second temps, nous allons évaluer l'hétérogénéité que l'on retrouve dans notre revue de littérature.

Pour ce qui concerne la **population** de notre revue de littérature, nous observons un nombre total de 134 participants ce qui est peu pour pouvoir avoir une idée de l'effet de l'intervention sur l'entièreté de la population concernée. On rappelle qu'une petite population possède un intervalle de confiance plus grand et donc une étendue de résultats hétérogène. Cela amène donc à des résultats moins précis.

De plus, le nombre de personnes au sein de chaque étude est assez variable ce qui rend l'analyse difficilement interprétable à grande échelle.

La différence de sexe entre les études et les participants au sein d'une même étude est aussi considérée comme une limite au vu de la physiologie différente en fonction des sexes. En effet, les femmes seraient physiologiquement plus souples que les hommes. A contrario, les hommes développeraient une force musculaire plus importante que les femmes à activité physique identique [66,67].

Enfin, notre population concerne les sujets sportifs en général, nous n'avons pas trouvé assez d'études réalisant leurs interventions sur une population pratiquant le même sport. En effet, les différents sports inclus n'utilisent pas les ischio-jambiers de la même manière, en même temps ou à la même intensité [68,69] ce qui pourrait différer dans l'analyse de nos résultats.

Pour ce qui est de l'**intervention** de notre étude, nous trouvons aussi quelques limites.

Premièrement, au niveau des autres interventions réalisées au sein des études, nous trouvons des différences entre les articles. En effet, les articles utilisent des protocoles différents notamment pour les articles analysant d'autres critères de jugement (cf. tableau V). Le temps d'exécution des étirements dynamiques n'est pas le même dans toutes les études ce qui présente une limite pour notre revue. En effet, le temps d'exécution ainsi que le temps de récupération des étirements est différent entre toutes les études. Le temps de latence avant et après réalisation du test isocinétique est aussi différent. Certaines études évaluent l'impact des étirements dynamiques sur la force musculaire maximale dans un délai à court terme. Le temps de latence entre les étirements et le test est donc un facteur important car il peut varier si les tests ne sont pas réalisés avec le même délai.

En second lieu, 3 études ont réalisé l'ensemble de leurs interventions sur tous les sujets de l'étude. Cela représente une limite de notre revue car les résultats obtenus pourraient être influencés par l'intervention précédente. Les études de Su et al., Sekir et al. et Ayala et al. ont réalisé toutes leurs interventions sur tous leurs sujets mais dans des ordres différents.

De plus, les interventions ne sont pas réalisées avec la même temporalité. 3 des 4 articles [32,63,64] analysent l'influence des étirements dynamiques sur la force musculaire maximale sur du court terme. Seule l'étude de Barbosa et al. étudie ce sujet sur du long terme. Cette différence de temporalité représente une limite pour notre revue. En effet, une seule étude analysant sur du long terme ne permet pas de justifier à elle-seule les résultats qu'elle a obtenus. De même pour les articles qui ont analysé l'intervention sur du court terme. La différence de réalisation de l'étude ne permet pas de conclure sur notre hypothèse de départ.

Une autre limite vient s'ajouter quant à notre intervention. En effet, celle-ci est comparée, dans 3 de nos études, à un groupe contrôle. On peut donc se demander si l'effet mesuré est vraiment dû à l'intervention des étirements dynamiques ou si la réalisation de n'importe quel mouvement aurait eu le même effet que notre groupe expérimental. Le groupe contrôle ne réalisant aucun mouvement, on pourrait potentiellement se dire que la mobilité serait toujours plus appréciable, en termes de valeurs, que l'immobilité. L'étude de Su et al. n'ayant pas de groupe contrôle, nous avons donc décidé de ne pas comparer l'intervention des étirements dynamiques à une autre intervention qu'un groupe contrôle. En effet, cela pourrait perturber l'analyse de nos résultats.

Enfin, dans l'étude de Ayala et al., les auteurs ont décidé de réaliser des étirements sur 5 muscles différents. Cela remet en cause la conclusion que nous nous sommes faites pour notre revue. L'augmentation de la force musculaire maximale des ischio-jambiers à 60°/s pourrait n'être pas entièrement due à son étirement seul mais possiblement grâce à l'étirement des muscles voisins.

Concernant le **critère de jugement**, nous avons également rencontré des limites dans notre étude. Tous les articles ont analysé d'autres critères de jugement en plus de la force musculaire maximale des ischio-jambiers. Ces autres critères de jugement sont intégrés dans l'intervention de notre groupe expérimental. Cela représente une limite pour notre étude car le critère de jugement étudié avec son intervention pourrait interférer dans les résultats du critère de jugement qui nous intéresse. Prenons

l'exemple de l'étude de Barbosa et al. : dans cette étude, nous avons d'abord le test isocinétique pré-intervention puis l'intervention des étirements dynamiques suivi du triple hop test avant de réaliser le post-test isocinétique. Nous pouvons donc nous demander si l'intervention du triple hop test juste avant la réalisation du test isocinétique n'interférerait pas dans le recueil des résultats. Il en est de même pour l'étude de Su et al. dont la réalisation de plusieurs tests est effectuée avant la réalisation du test isocinétique final. Il aurait peut-être été plus judicieux de n'utiliser qu'un critère de jugement afin d'éviter des risques de biais concernant le recueil final des résultats.

Un autre point vient interférer et créer une limite dans le protocole choisi par les auteurs. Deux des études [32,63] utilisent un échauffement avant la réalisation du premier test isocinétique. Les résultats obtenus lors de ce premier test pourraient être biaisés, par rapport aux deux autres études, car les muscles ont été préalablement échauffés. L'échauffement peut avoir un impact sur la variation de la force musculaire maximale des ischio-jambiers et donc représenter une limite quant aux résultats finaux.

De plus, les dynamomètres utilisés pour évaluer notre critère de jugement ne sont pas tous les mêmes. Celui de Sekir et al. est différent des trois autres études. Malgré les informations précédemment citées, (cf. 1.4.2.2. Le dynamomètre) montrant que les deux dynamomètres utilisés pour notre revue ont des fiabilités identiques, cela peut s'identifier comme une limite au vu des instructions différentes données par le constructeur de la machine. Aucune donnée n'a été trouvée quant à la concordance de validité du Cybex Norm et Biodex System 3. On rappelle également que la fiabilité du Cybex Norm est faible pour des vitesses élevées telles que 180°/s ce qui représente une nouvelle limite pour notre présente étude. [51]

Nous avons également constaté une autre limite quant à l'unité de mesure utilisée dans l'article de Su et al. Celle-ci est exprimée en N.m.kg⁻¹ contrairement aux autres études utilisant l'unité de mesure suivante : N.m. il est donc difficile d'interpréter ces résultats ensemble.

Enfin, le positionnement des sujets sur le dynamomètre représente également une limite pour la comparaison des résultats entre les études incluses. L'étude de Ayala et al. utilise la position allongée avec 10 à 20° de flexion de hanche pour se rapprocher des amplitudes lors de la course. A l'inverse, les études de Su et al. et Barbosa et al. utilisent la position assise pour réaliser les tests. Cette différence de positionnement de la hanche représente une limite car il n'y a pas la même course musculaire pour les muscles quadriceps et ischio-jambiers.

L'amplitude choisie par les auteurs dans les différentes études est aussi différente. L'étude de Ayala et al. balaye l'amplitude du genou de 0° à 90° contrairement à l'étude de Barbosa et al. dont l'amplitude s'étend de 20° à 90° de flexion de genou. Le positionnement du bras de levier varie aussi : 3cm au-dessus de la malléole pour l'étude de Ayala et al. et dans le tiers distal de la jambe pour Barbosa et al. En revanche, pour ce qui est du positionnement des sangles et des repères de calibrations, toutes les études ont utilisé les mêmes repères.

Nous pouvons également retrouver des limites concernant le **financement des études**. En effet, les études de Barbosa et al. et Ayala et al. précisent qu'elles ont été financées par des organismes. Dans l'étude de Ayala et al. le financement provient des organismes INFO et FEDER qui sont impliqués dans la recherche et le développement de nombreux projets. Cela pourrait représenter une limite car l'organisme aurait un intérêt financier à ce que les données soient concluantes. De même, Barbosa et al. a reçu le financement de la NSCA « National Strength and Conditioning Association », organisme spécialisé dans la force et le conditionnement. Il y aurait également un intérêt derrière ce financement. Cependant, l'étude de Barbosa et al. explicite le fait qu'aucun résultat n'a été influencé par le

financement de cet organisme. Cela représente tout de même une limite quant à l'interprétation des résultats.

A propos du **schéma d'étude**, nous retrouvons quelques limites sur ce sujet.

Premièrement, une de nos études [65] est un essai clinique randomisé et les 3 autres des essais cliniques randomisés croisés [32,63,64]. La réalisation des études par les auteurs n'est donc pas tout à fait la même, ce qui représente une limite. En effet, dans un des essais cliniques randomisés croisés, il n'y a pas de groupe contrôle.

De plus, l'utilisation d'un essai clinique randomisé croisé pour notre intervention ne permet pas de certifier complètement que l'augmentation ou la diminution de la force musculaire maximale est réellement due à l'intervention des étirements dynamiques.

Enfin, pour notre revue nous avons sélectionné des articles dont le score PEDro varie entre 6/10 et 8/10. Ce score relate le manque de qualité méthodologique de ces études jugées comme « bonnes » et par conséquent il en va de même pour notre revue de littérature.

Au niveau de **l'interprétation des résultats** tant dans les études que dans notre revue de littérature, nous obtenons également des biais.

De prime abord, dans l'interprétation de nos résultats, nous n'avons pas pu réaliser un Forest plot pour toutes les études sélectionnées. En effet, l'étude de Su et al. n'a pas réalisé son étude en comparant avec un groupe contrôle et ne donne que des valeurs intra-groupe. Nous nous retrouvons seulement avec les données du groupe expérimental. Le Forest plot n'a pu donc être réalisé que sur 2 critères de jugement ce qui ne donne pas une conclusion globale de notre revue.

De plus, dans l'étude de Ayala et al. les auteurs ont calculé les intervalles de confiance à 90%. Toutes les autres études ont pu être calculées avec un intervalle de confiance à 95%. A l'aide des résultats que nous avons dans l'étude de Ayala et al., nous avons pu calculer l'intervalle de confiance à 95% pour toutes les études afin d'être le plus homogène possible. Cependant cela représente une limite car les calculs ont été réalisés par l'auteure de la revue.

Enfin, les résultats statistiques que nous avons calculés pour chaque étude peuvent représenter une limite car on ne peut pas s'assurer que l'auteure de la revue n'ait pas commis d'erreurs.

Enfin, concernant **l'auteur de la revue**, il existe aussi des limites.

Lors de l'écriture d'une revue ou d'une étude, il peut y avoir un spin. En effet, au vu des résultats statistiques, l'auteure peut être amenée à rendre les résultats plus favorables en se rapprochant le plus de son hypothèse de départ.

De plus, il s'agit de la première revue de littérature réalisée par l'auteure. Il se peut donc que des erreurs aient été faites par manque d'expériences sur la réalisation d'une revue de littérature.

4.1.3 Qualité des preuves

Afin d'évaluer la qualité des preuves de notre revue de littérature, nous allons nous appuyer sur le système GRADE « Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation » (cf. annexe 6) [61,70]. La qualité des preuves représente « la capacité de l'étude à répondre à la question posée » d'après la HAS.

Les critères qui diminueraient la qualité des preuves sont « les limites de l'étude, l'incohérence des résultats, les évidences indirectes, les imprécisions ou encore les biais de publication ». [70] (cf. annexe 7)

À la suite des critères évalués par l'échelle, nous allons pouvoir noter nos articles selon son niveau de preuve : élevé, modéré, faible ou très faible.

Nous jugerons ensuite notre revue de littérature selon les 3 grades de recommandations de la HAS¹⁴ :

- Grade A : preuve scientifique établie avec des études à fort niveau de preuve
- Grade B : présomption scientifique avec des études de niveau de preuve intermédiaire
- Grade C : faible niveau de preuve scientifique

Critères de jugement : FMM	Nombre de participants (Nombre d'études)	Critères déterminants le niveau de preuve					Niveau de preuve
		Risques de biais	Hétérogénéité	Évidences indirectes	Imprécisions	Biais de publications	
Concentrique à 60°/s	40 (2)	Très sérieux	Sérieux	Sérieux	Très sérieux	Aucun	Faible ⊕⊕○○
Concentrique à 180°/s	10 (1)	Sérieux	Aucune	Aucune	Très sérieux	Aucun	Modéré ⊕⊕⊕○
Excentrique à 60°/s	104 (3)	Sérieux	Sérieux	Aucune	Très sérieux	Aucun	Modéré ⊕⊕⊕○
Excentrique à 180°/s	59 (2)	Très sérieux	Très sérieux	Aucune	Très sérieux	Aucun	Faible ⊕⊕○○

FMM : force musculaire maximale

Tableau XV : Niveau de preuve des études incluses dans notre revue de littérature selon le système GRADE

Concernant les schémas d'études utilisés dans notre revue, nous faisons face à 4 essais clinique randomisés dont 3 d'entre eux sont croisés. D'après le Center of Evidence Based Medicine, il s'agit du plus haut niveau de preuve.

Cependant, l'hétérogénéité, les risques de biais, les limites ainsi que les imprécisions au niveau des résultats font baisser la qualité des preuves de nos études.

D'après le tableau récapitulatif tiré du Haut Conseil de la Santé Publique (cf. annexe 8), nous pouvons estimer qu'il s'agit d'une revue de littérature de **Grade B** « **méta-analyse avec biais** » avec des niveaux de preuve variant entre « faible » et « modéré » pour nos 4 critères de jugement étudiés. Nous évaluons également notre revue en tant que **Grade B** selon l'échelle de recommandation de la HAS.

¹⁴ HAS, niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique, avril 2013, [cité le 9 avril 2024] disponible sur : https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf

4.2 Applicabilité des résultats en pratique clinique

Pour commencer, nous rappelons qu'à la suite de cette analyse, les études tendent à nous montrer qu'il y aurait une augmentation de la force musculaire maximale des ischio-jambiers en concentrique et en excentrique après réalisation des étirements dynamiques pour une vitesse de 60°/s et 180°/s. Les données et les résultats étant trop imprécis, nous ne pouvons affirmer ou infirmer notre hypothèse de départ.

Cette revue de littérature s'est intéressée à des sportifs, représentant une population non-négligeable dans la kinésithérapie et surtout dans la kinésithérapie du sport ou au sein d'un club. Les coureurs représentent la population majoritaire dans notre revue de littérature.

La présence d'un kinésithérapeute au sein d'un club de sport est de plus en plus fréquente. L'utilisation des étirements dynamiques pour augmenter la force musculaire maximale serait donc applicable en pratique clinique dans cet environnement.

Cependant, au vu des différents protocoles mis en place par les études incluses dans notre revue, il serait judicieux d'établir un protocole d'étirement musculaire qui pourrait être reproductible, simple, fiable, valide et vérifié par des études complémentaires afin d'augmenter la force musculaire maximale de ces sportifs. Il serait intéressant d'établir un nombre de séries et de répétitions avec un temps de pause et d'exécution bien précis. Ce protocole ne doit pas faire intervenir d'autres tests ou exercices, comme vu dans nos articles, afin d'être le plus spécifique possible.

Les étirements dynamiques sont des mouvements facilement reproductibles et qui ne nécessitent d'aucun matériel en particulier, leur réalisation serait donc simple. Les dynamomètres coûtent très cher, il est donc impossible pour toutes les structures de se fournir cet appareil afin de vérifier son efficacité. Un protocole en amont serait donc la solution la plus simple.

De plus, si des études complémentaires sont faites à ce sujet et qu'elles affirment notre hypothèse de départ, cette intervention serait très utile dans le domaine de la kinésithérapie mais aussi pour la préparation à l'entraînement. En effet, l'étirement dynamique se rapproche d'un geste sportif. Si sa réalisation augmente la force musculaire maximale, elle pourrait être utilisée dans le cadre d'une amélioration de la performance sportive.

Cependant, dans notre revue, les auteurs ont décidé d'inclure seulement des sportifs n'ayant aucun trouble musculosquelettique ou pathologie associée et ayant de bonnes amplitudes articulaires. Cela n'est pas représentatif de la population que nous pourrions trouver en pratique clinique. En effet, la majorité de notre patientèle présentera des troubles donc cela nécessitera d'intervenir dans une population plus représentative de la réalité.

Notre revue s'appliquerait donc plutôt dans un contexte d'échauffement avant une pratique sportive, pour une préparation à l'effort ou en fin de réathlétisation plus que dans un cadre de début de rééducation en tant que telle.

Nous voyons également dans notre revue que notre population possède un âge de 21 ans +/- 2 ans. Cela représente une limite dans l'applicabilité clinique puisque nous avons seulement une réponse à notre hypothèse pour cette tranche d'âge précise. Il faudrait alors évaluer notre intervention sur une population présentant des âges plus élevés afin de vérifier si cette intervention est toujours sans effet ou non.

Il en est de même pour l'applicabilité chez les sportifs en général. En effet, notre population se compose majoritairement de sportifs réalisant de la course à pied ou de l'athlétisme ; il aurait été intéressant de voir si ce genre d'intervention peut être efficace dans d'autres disciplines.

L'utilisation d'étirements dynamiques sur un autre muscle que les ischio-jambiers serait aussi intéressante à évaluer car cela pourrait être plus à même de répondre à notre hypothèse de départ.

On peut également se demander si cette intervention est légitime par rapport au nombre de demande des patients. En effet, il serait intéressant de savoir si notre population ciblée aimerait augmenter leur force musculaire maximale après réalisation d'étirements dynamiques et si cela représente une interrogation de la part de cette population.

Pour finir, il aurait été intéressant de réaliser d'autres études de ce type avec une population plus homogène. En effet, choisir un type de sportif en particulier avec un nombre plus important de participants serait plus spécifique à la pratique sportive et à l'efficacité ou non de cette intervention. A noter qu'il serait préférable de réaliser un protocole comprenant seulement une intervention, comme cité précédemment.

Les auteurs n'ont signalé aucun effet secondaire à la suite du protocole qu'ils avaient mis en place. On ne sait pas s'il s'agit d'une omission de la part des auteurs ou simplement qu'aucun effet secondaire ait été relevé. Il serait donc intéressant de vérifier cela si d'autres études à ce sujet sont publiées dans les années à venir.

4.3 Biais potentiel de la revue

Nous allons désormais évaluer les biais potentiels que nous aurions pu faire lors de la réalisation de notre revue de littérature. Pour cela, nous avons décidé d'utiliser la grille AMSTAR-2.

L'échelle de qualité méthodologique AMSTAR-2 est utilisée pour côter la validité interne de notre revue de littérature. Elle s'intéresse aux revues de littératures qui incluent des essais cliniques randomisés ou non randomisés. [71,72]

Rappelons que la « validité interne consiste à vérifier si les données recueillies représentent la réalité » [73]

Items	Cotations	Réponses
1	Est-ce que les questions de recherche et les critères d'inclusion de la revue ont inclus les critères PICO ?	
2	Est-ce que le rapport de la revue contenait une déclaration explicite indiquant que la méthode de la revue a été établie avant de conduire la revue ? Est-ce que le rapport justifiait toute déviation significative par rapport au protocole ?	
3	Les auteurs ont-ils expliqué leur choix de schémas d'étude à inclure dans la revue ?	
4	Les auteurs ont-ils utilisé une stratégie de recherche documentaire exhaustive ?	
5	Les auteurs ont-ils effectué en double la sélection des études ?	
6	Les auteurs ont-ils effectuée en double l'extraction des données ?	
7	Les auteurs ont-ils fourni une liste des études exclues et justifié les exclusions ?	
8	Les auteurs ont-ils décrit les études incluses de manière suffisamment détaillée ?	
9	Les auteurs ont-ils utilisé une technique satisfaisante pour évaluer le risque de biais des études individuelles incluses dans la revue ?	

10	Les auteurs ont-ils indiqué les sources de financement des études incluses dans la revue ?	
11	Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils utilisé des méthodes appropriées pour la combinaison statistique des résultats ?	
12	Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils évalué l'impact potentiel des risques de biais des études individuelles sur les résultats de la méta-analyse ou d'une autre synthèse des preuves ?	
13	Les auteurs ont-ils pris en compte le risque de biais des études individuelles lors de l'interprétation / de la discussion des résultats de la revue ?	
14	Les auteurs ont-ils fourni une explication satisfaisante pour toute hétérogénéité observée dans les résultats de la revue, et une discussion sur celle-ci ?	
15	S'ils ont réalisé une synthèse quantitative, les auteurs ont-ils mené une évaluation adéquate des biais de publication (biais de petite étude) et ont discuté de son impact probable sur les résultats de la revue ?	
16	Les auteurs ont-ils rapporté toute source potentielle de conflit d'intérêts, y compris tout financement reçu pour réaliser la revue ?	

Tableau XVI : Grille d'évaluation de l'échelle de la qualité méthodologique AMSTAR-2 de notre revue de littérature

Concernant l'item 2, toute la procédure de recherche a été détaillée dans la partie « 2. Méthode » mais celle-ci n'a pas été établie avant la conduite de la revue.

Pour ce qui concerne les items 5 et 6, nous rappelons qu'il s'agit d'une revue de littérature dans le cadre d'un mémoire de fin d'étude. La sélection et l'extraction des données ont donc dû être réalisés seulement par l'auteure de la revue.

L'item 7 est partiellement validé. En effet, une liste de toutes les études exclues aurait été trop imposante au vu du nombre d'études que nous avons exclus à partir de nos équations de recherche dans les 4 bases de données différentes utilisées. Nous rappelons que 2018 études ont été exclues ce qui représente un nombre bien trop important pour être détaillé. Cependant, les justifications d'exclusions ont été explicitées et un tableau des études exclues avec lecture intégrale a été réalisé (cf. annexe 4)

Enfin, l'item 15 est, selon nous, non validé car seule une analyse des biais de publication par le système GRADE a été réalisée. D'autres évaluations auraient peut-être été préférable à réaliser.

4.4 Conflits d'intérêts

Dans cette revue de littérature, les études de Su et al. et Barbosa et al. déclarent ne pas avoir eu de conflits d'intérêts. Les études de Ayala et al. et Sekir et al. ne se sont pas prononcées à ce sujet.

Aucun conflit d'intérêt n'est à relever quant à notre revue de littérature. Aucun financement n'a été reçu pour la réalisation et la rédaction de notre revue.

5 Conclusion

5.1 Implication pour la pratique clinique

Tout d'abord, nous rappelons que notre revue de littérature avait pour intérêt de mettre en évidence si la pratique d'étirements dynamiques des ischio-jambiers pouvait augmenter la force musculaire maximale de ces muscles chez le sportif régulier.

Notre population dans cette étude se compose majoritairement d'athlètes réalisant de la course à pied. Les ischio-jambiers sont des muscles dont l'implication lors de la course à pied est importante. Une bonne utilisation des étirements dynamiques des ischio-jambiers pourrait les rendre plus performants pour la suite.

Au vu des résultats que nous avons obtenus, nous pouvons voir qu'il existerait une potentielle amélioration de la force musculaire maximale des ischio-jambiers en concentrique et en excentrique pour des vitesses de 60°/s et 180°/s pour les deux types de contractions. Cependant, le manque de significativité des résultats, l'hétérogénéité des études et le faible nombre de sujets dans notre revue ne permettent pas de conclure précisément et d'affirmer si notre hypothèse de départ est juste.

Il serait intéressant de réaliser d'autres études à ce sujet pour démontrer l'efficacité des étirements dynamiques dans l'augmentation de la force musculaire car celle-ci semble montrer un intérêt pour ce type de population dans un contexte sportif. Des recherches complémentaires sont donc intéressantes à mener en ciblant, peut-être, une population cible plus spécifique afin d'avoir des résultats les plus cohérents possibles.

5.2 Implication pour la recherche

Après réalisation de cette revue de littérature, nous nous sommes rendu compte que peu d'articles se sont intéressés à notre sujet. Cela rend donc l'analyse plus difficile avec un choix limité quant aux articles sélectionnés. Même si tous nos articles sont des essais cliniques randomisés, nous obtenons une qualité de preuve moyenne de notre revue classée grade B selon l'échelle d'évaluation du système GRADE.

De plus, nos études incluses manquent de précisions et de rigueur ce qui représente de nombreuses limites dans notre revue de littérature. L'hétérogénéité, le faible nombre de sujets, les différences dans les protocoles ou encore les biais concernant la mise en aveugle des participants et des thérapeutes sont des freins à la bonne analyse de nos résultats et à une bonne conclusion concernant notre hypothèse de départ.

Il serait donc intéressant de réaliser d'autres types d'études à ce sujet à posteriori avec un nombre de sujet plus conséquent et plus représentatif de la population générale afin d'affirmer ou infirmer notre hypothèse de départ. Un protocole commun à tous les sujets serait intéressant à mettre en place afin d'éviter les biais concernant l'intervention et l'efficacité des étirements dynamiques. Un temps de réalisation et de pause avec un nombre de séries et de répétitions bien défini serait nécessaire à la bonne reproduction du protocole.

Nous pouvons émettre un premier avis quant à la corrélation entre l'intervention des étirements en général et l'augmentation de la force musculaire maximale. La méta-analyse datant de 2023 citée en introduction révèle des résultats significatifs sur l'augmentation de la force maximale après réalisation des étirements statiques [6]. Au vu de nos résultats, il se pourrait que les étirements dynamiques soient également efficaces sur la force musculaire. Il serait donc intéressant de comparer ces deux types d'étirements afin de déceler si l'un ou l'autre prédomine pour notre critère de jugement ciblé.

Une étude de 2022 a voulu savoir à quelle vitesse il serait plus intéressant de réaliser des étirements dynamiques des ischio-jambiers afin d'avoir une augmentation de la force musculaire maximale. Il en a été conclu qu'une réalisation de ces étirements à vitesse rapide permettait une meilleure efficacité de l'augmentation de la force musculaire maximale des ischio-jambiers en concentrique à 60°/s [74]. Cette nouvelle information pourrait être incluse dans un protocole si d'autres études complémentaires sont à réaliser à ce sujet.

6 Bibliographie

- [1] Geoffroy C. Méthodes et positions d'étirements : logique, précision et individualisation pour plus d'efficacité. *Kinésithérapie Rev* 2015;15:41–52. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2015.07.002>.
- [2] Bruyneel A-V, editor. Effets des étirements musculaires et modalités pratiques dans le contexte des activités physiques et sportives. Mains Libr 2019.
- [3] Jaffard V. Protocole d'échauffement: effets des étirements dynamiques dans les performances de saut. Mémoire. Aix Marseille, 2022.
- [4] Schoenfeld BJ, Grgic J, Van Every DW, Plotkin DL. Loading Recommendations for Muscle Strength, Hypertrophy, and Local Endurance: A Re-Examination of the Repetition Continuum. *Sports Basel Switz* 2021;9:32. <https://doi.org/10.3390/sports9020032>.
- [5] Suchomel TJ, Nimphius S, Bellon CR, Stone MH. The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports Med Auckl NZ* 2018;48:765–85. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0862-z>.
- [6] Arntz F, Markov A, Behm DG, Behrens M, Negra Y, Nakamura M, et al. Chronic Effects of Static Stretching Exercises on Muscle Strength and Power in Healthy Individuals Across the Lifespan: A Systematic Review with Multi-level Meta-analysis. *Sports Med Auckl NZ* 2023;53:723–45. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01806-9>.
- [7] Geoffroy C. Guide pratique des étirements : 150 exercices pour être en forme. 1ère édition. Collection sport +; 2008.
- [8] Saint Blanquat C. Les étirements en pratique sportive. 1ère édition. Chiron; 1993.
- [9] Tortora GJ, Derrickson B. Anatomie et physiologie. 5ème édition. De Boeck Supérieur; 2018.
- [10] Henry S. Evaluation et comparaison de la force maximale mesurée du quadriceps et du biceps fémoral dans un mode de contraction statique et concentrique. Mémoire. IFMK de Nancy, 2016.
- [11] Walker B. Anatomie du stretching : Guide illustré de l'assouplissement et de la rééducation du sportif. 1ère édition. Budo; 2013.
- [12] Benoist C. Stretching pour le sportif. 1ère édition. Amphora; 2002.
- [13] Anderson B. Le stretching : pour être en forme et le rester. 2ème édition. Solar; 2011.
- [14] Portero, McNair P Peter. Les étirements musculo-tendineux : des données scientifiques à une pratique raisonnée - ScienceDirect 2015. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2015.06.009>.
- [15] Cometti G. Les limites du stretching pour la performance sportive. 2003.
- [16] Gremion G. Les exercices d'étirement dans la pratique sportive ont-ils encore leur raison d'être ? Une revue de la littérature. *Rev Médicale Suisse* 2005.
- [17] Popineau C, Paulo Fernandes C. Physiologie des étirements 2008.
- [18] Martin E. Étirements -Levées de tension -Muscles -Postures Stretching -Muscle relaxation - Muscles -Posture. *Kinesitherapie* 2011:31–4.

- [19] Poire M. Intérêt des étirements activo-dynamiques dans la pratique du tennis. Mémoire. IFMK du CHU d'Amiens-Picardie, 2019.
- [20] Geoffroy C. Les étirements : méthodes et exercices pour tous. 5ème édition. Broché-Illustré; 2018.
- [21] Opplert J, Babault N. Acute Effects of Dynamic Stretching on Muscle Flexibility and Performance: An Analysis of the Current Literature. *Sports Med* 2018;48:299–325. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0797-9>.
- [22] Chatzopoulos D, Galazoulas C, Patikas D, Kotzamanidis C. Acute Effects of Static and Dynamic Stretching on Balance, Agility, Reaction Time and Movement Time. *J Sports Sci Med* 2014;13:403–9. <https://doi.org/PMID : 24790497>.
- [23] Behm DG, Blazevich AJ, Kay AD, McHugh M. Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: a systematic review. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appl Nutr Metab* 2016;41:1–11. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0235>.
- [24] Godges JJ, Macrae H, Longdon C, Tinberg C, Macrae PG. The effects of two stretching procedures on hip range of motion and gait economy. *J Orthop Sports Phys Ther* 1989;10:350–7. <https://doi.org/10.2519/jospt.1989.10.9.350>.
- [25] Hubley CL, Kozey JW, Stanish WD. The effects of static stretching exercises and stationary cycling on range of motion at the hip joint*. *J Orthop Sports Phys Ther* 1984;6:104–9. <https://doi.org/10.2519/jospt.1984.6.2.104>.
- [26] Bandy WD, Irion JM. The effect of time on static stretch on the flexibility of the hamstring muscles. *Phys Ther* 1994;74:845–50; discussion 850-852. <https://doi.org/10.1093/ptj/74.9.845>.
- [27] Zakaria AA, Kiningham RB, Sen A. Effects of Static and Dynamic Stretching on Injury Prevention in High School Soccer Athletes: A Randomized Trial. *J Sport Rehabil* 2015;24:229–35. <https://doi.org/10.1123/jsr.2013-0114>.
- [28] Baxter C, Mc Naughton LR, Sparks A, Norton L, Bentley D. Impact of stretching on the performance and injury risk of long-distance runners. *Res Sports Med Print* 2017;25:78–90. <https://doi.org/10.1080/15438627.2016.1258640>.
- [29] Rudisill SS, Varady NH, Kucharik MP, Eberlin CT, Martin SD. Evidence-Based Hamstring Injury Prevention and Risk Factor Management: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Am J Sports Med* 2023;51:1927–42. <https://doi.org/10.1177/03635465221083998>.
- [30] Mellerin I. Interêts des étirements pour la performance, la prévention des blessures et les douleurs post-exercice. Mémoire Revue de littérature. Université Nice Sophia Antipolis, 2012.
- [31] Faelli E, Panasci M, Ferrando V, Bisio A, Filipas L, Ruggeri P, et al. The Effect of Static and Dynamic Stretching during Warm-Up on Running Economy and Perception of Effort in Recreational Endurance Runners. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18:8386. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168386>.
- [32] Su H, Chang N-J, Wu W-L, Guo L-Y, Chu I-H. Acute Effects of Foam Rolling, Static Stretching, and Dynamic Stretching During Warm-ups on Muscular Flexibility and Strength in Young Adults. *J Sport Rehabil* 2017;26:469–77. <https://doi.org/10.1123/jsr.2016-0102>.

- [33] Silvers-Granelli HJ, Cohen M, Espregueira-Mendes J, Mandelbaum B. Hamstring muscle injury in the athlete: state of the art. *J ISAKOS Jt Disord Orthop Sports Med* 2021;6:170–81. <https://doi.org/10.1136/jisakos-2017-000145>.
- [34] Dufour M. Anatomie de l'appareil locomoteur : membre inférieur (tome 1). vol. 1. 3e édition. Elsevier Masson; 2015.
- [35] Linklater JM, Hamilton B, Carmichael J, Orchard J, Wood DG. Hamstring injuries: anatomy, imaging, and intervention. *Semin Musculoskelet Radiol* 2010;14:131–61. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1253157>.
- [36] Martin RL, Cibulka MT, Bolgia LA, Koc TA, Loudon JK, Manske RC, et al. Hamstring Strain Injury in Athletes. *J Orthop Sports Phys Ther* 2022;52:CPG1–44. <https://doi.org/10.2519/jospt.2022.0301>.
- [37] Benfica P do A, Aguiar LT, Brito SAF de, Bernardino LHN, Teixeira-Salmela LF, Faria CDC de M. Reference values for muscle strength: a systematic review with a descriptive meta-analysis. *Braz J Phys Ther* 2018;22:355–69. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2018.02.006>.
- [38] Volaklis KA, Halle M, Meisinger C. Muscular strength as a strong predictor of mortality: A narrative review. *Eur J Intern Med* 2015;26:303–10. <https://doi.org/10.1016/j.ejim.2015.04.013>.
- [39] Febvre P, Villain L, Taillet R. Dictionnaire de physique. 5e édition. DeBoeck Supérieur; 2023.
- [40] Baltzopoulos V, Brodie DA. Isokinetic dynamometry. Applications and limitations. *Sports Med Auckl NZ* 1989;8:101–16. <https://doi.org/10.2165/00007256-198908020-00003>.
- [41] Martins J, da Silva JR, da Silva MRB, Bevilaqua-Grossi D. Reliability and Validity of the Belt-Stabilized Handheld Dynamometer in Hip- and Knee-Strength Tests. *J Athl Train* 2017;52:809–19. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-52.6.04>.
- [42] Sabourin F. L'isocinétisme. *Sci Sports* 1992;7:127–32. [https://doi.org/10.1016/S0765-1597\(05\)80185-6](https://doi.org/10.1016/S0765-1597(05)80185-6).
- [43] Croisier J-L, Delvaux F, Kaux J-F, Crielaard J-M, Forthomme B. Isocinétisme : aspects spécifiques chez le sportif, Département des Sciences de la Motricité Université de Liège et CHU Sart Tilman (Belgique): 2013.
- [44] Farrell M, Richards JG. Analysis of the reliability and validity of the kinetic communicator exercise device. *Med Sci Sports Exerc* 1986;18:44–9. <https://doi.org/PMID : 3959863>.
- [45] Timm KE, Gennrich P, Burns R, Fyke D. The Mechanical and Physiological Performance Reliability of Selected Isokinetic Dynamometers. *Isokinet Exerc Sci* 1992;2:182–90. <https://doi.org/10.3233/IES-1992-2406>.
- [46] Bemben MG, Grump KJ, Massey BH. Assessment of Technical Accuracy of the Cybex II® Isokinetic Dynamometer and Analog Recording System. *J Orthop Sports Phys Ther* 1988;10:12–7. <https://doi.org/10.2519/jospt.1988.10.1.12>.
- [47] Patterson LA, Spivey WE. Validity and Reliability of the LIDO Active Isokinetic System. *J Orthop Sports Phys Ther* 1992;15:32–6. <https://doi.org/10.2519/jospt.1992.15.1.32>.
- [48] Drouin JM, Valovich-mcLeod TC, Shultz SJ, Gansneder BM, Perrin DH. Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. *Eur J*

Appl Physiol 2004;91:22–9. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0933-0>.

[49] Taylor NA, Sanders RH, Howick EI, Stanley SN. Static and dynamic assessment of the Biodex dynamometer. *Eur J Appl Physiol* 1991;62:180–8. <https://doi.org/10.1007/BF00643739>.

[50] Brown R, Greig M. The influence of isokinetic dynamometer configuration on eccentric hamstring strength metrics: implications for testing and training. *Res Sports Med* 2022;0:1–9. <https://doi.org/10.1080/15438627.2022.2079988>.

[51] de Araujo Ribeiro Alvares JB, Rodrigues R, de Azevedo Franke R, da Silva BGC, Pinto RS, Vaz MA, et al. Inter-machine reliability of the Biodex and Cybex isokinetic dynamometers for knee flexor/extensor isometric, concentric and eccentric tests. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med* 2015;16:59–65. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2014.04.004>.

[52] Impellizzeri FM, Bizzini M, Rampinini E, Cereda F, Maffiuletti NA. Reliability of isokinetic strength imbalance ratios measured using the Cybex NORM dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging* 2008;28:113–9. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2007.00786.x>.

[53] Croisier JL, Crielaard JM. Exploration isocinétique: analyse des paramètres chiffrés. *Ann Réadapt Médecine Phys* 1999;42:538–45. [https://doi.org/10.1016/S0168-6054\(00\)88381-6](https://doi.org/10.1016/S0168-6054(00)88381-6).

[54] Freckleton G, Pizzari T. Risk factors for hamstring muscle strain injury in sport: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 2013;47:351–8. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090664>.

[55] Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.

[56] PRISMA 2020. *J Clin Epidemiol* 2021;134:A5–6. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.04.008>.

[57] Durieux N, Vandenput S, Pasleau F. la hiérarchisation des preuves par le Centre for Evidence-Based Medicine d'Oxford. *Rev Med Liège* 2013. <https://doi.org/PMID : 24564030>.

[58] Tripepi G, Jager KJ, Dekker FW, Zoccali C. Selection bias and information bias in clinical research. *Nephron Clin Pract* 2010;115:c94-99. <https://doi.org/10.1159/000312871>.

[59] Cashin AG, McAuley JH. Clinimetrics: Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale. *J Physiother* 2020;66:59. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2019.08.005>.

[60] de Morton NA. The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study. *Aust J Physiother* 2009;55:129–33. [https://doi.org/10.1016/s0004-9514\(09\)70043-1](https://doi.org/10.1016/s0004-9514(09)70043-1).

[61] Phi L, Ajaj R, Ramchandani MH, Brant XM, Oluwadara O, Polinovsky O, et al. Expanding the Grading of Recommendations Assessment, Development, and Evaluation (Ex-GRADE) for Evidence-Based Clinical Recommendations: Validation Study. *Open Dent J* 2012;6:31–40. <https://doi.org/10.2174/1874210601206010031>.

[62] Monnier L, Colette C, Schlienger J-L, Halimi S. Les méta-analyses en recherche clinique : forces et faiblesses. *Médecine Mal Métaboliques* 2020;14:239–49. <https://doi.org/10.1016/j.mmm.2019.12.011>.

- [63] Sekir U, Arabaci R, Akova B, Kadagan SM. Acute effects of static and dynamic stretching on leg flexor and extensor isokinetic strength in elite women athletes. *Scand J Med Sci Sports* 2010;20:268–81. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00923.x>.
- [64] Ayala F, De Ste Croix M, Sainz De Baranda P, Santonja F. Acute effects of static and dynamic stretching on hamstring eccentric isokinetic strength and unilateral hamstring to quadriceps strength ratios. *J Sports Sci* 2013;31:831–9. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.751119>.
- [65] Barbosa GM, Trajano GS, Dantas GAF, Silva BR, Vieira WHB. Chronic Effects of Static and Dynamic Stretching on Hamstrings Eccentric Strength and Functional Performance: A Randomized Controlled Trial. *J Strength Cond Res* 2020;34:2031–9. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003080>.
- [66] Zhang C, Liu Y, Xu S, Sum RK-W, Ma R, Zhong P, et al. Exploring the Level of Physical Fitness on Physical Activity and Physical Literacy Among Chinese University Students: A Cross-Sectional Study. *Front Psychol* 2022;13:833461. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.833461>.
- [67] Nagai T, Bates N, McPherson A, Hale R, Hewett T, Schilaty ND. Effects of Sex and Age on Quadriceps and Hamstring Strength and Flexibility in High School Basketball Athletes. *Int J Sports Phys Ther* 2021;16:1302–12. <https://doi.org/10.26603/001c.27986>.
- [68] Mann RA, Moran GT, Dougherty SE. Comparative electromyography of the lower extremity in jogging, running, and sprinting. *Am J Sports Med* 1986;14:501–10. <https://doi.org/10.1177/036354658601400614>.
- [69] Mann RA, Hagy J. Biomechanics of walking, running, and sprinting. *Am J Sports Med* 1980;8:345–50. <https://doi.org/10.1177/036354658000800510>.
- [70] Guyatt GH, Oxman AD, Vist GE, Kunz R, Falck-Ytter Y, Alonso-Coello P, et al. GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ* 2008;336:924–6. <https://doi.org/10.1136/bmj.39489.470347.AD>.
- [71] Pallot A, Rostagno S. AMSTAR-2 : traduction française de l'échelle de qualité méthodologique pour les revues de littérature systématiques. *Kinésithérapie Rev* 2021;21:13–4. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2019.12.050>.
- [72] Shea BJ, Reeves BC, Wells G, Thuku M, Hamel C, Moran J, et al. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. *The BMJ* 2017;358. <https://doi.org/10.1136/bmj.j4008>.
- [73] Aubin-Auger I, Mercier A, Baumann L, Lehr-Drylewicz A-M, Imbert P. Introduction à la recherche qualitative n.d.;19.
- [74] Takeuchi K, Nakamura M, Matsuo S, Akizuki K, Mizuno T. Effects of Speed and Amplitude of Dynamic Stretching on the Flexibility and Strength of the Hamstrings. *J Sports Sci Med* 2022;21:608–15. <https://doi.org/10.52082/jssm.2022.608>.

7 Annexes

Annexe 1 : Schéma synthétisant les différents effets des étirements dynamiques

Annexe 2 : Schéma synthétisant les facteurs de risque de lésion des ischio-jambiers

Annexe 3 : Le dynamomètre Cybex Norm tiré de The Education University of Hong Kong (en haut) et le dynamomètre Biodex System 3 tiré du Journal of Rehabilitation Research and Development (en bas)

Annexe 4 : Tableau récapitulatif des études exclues

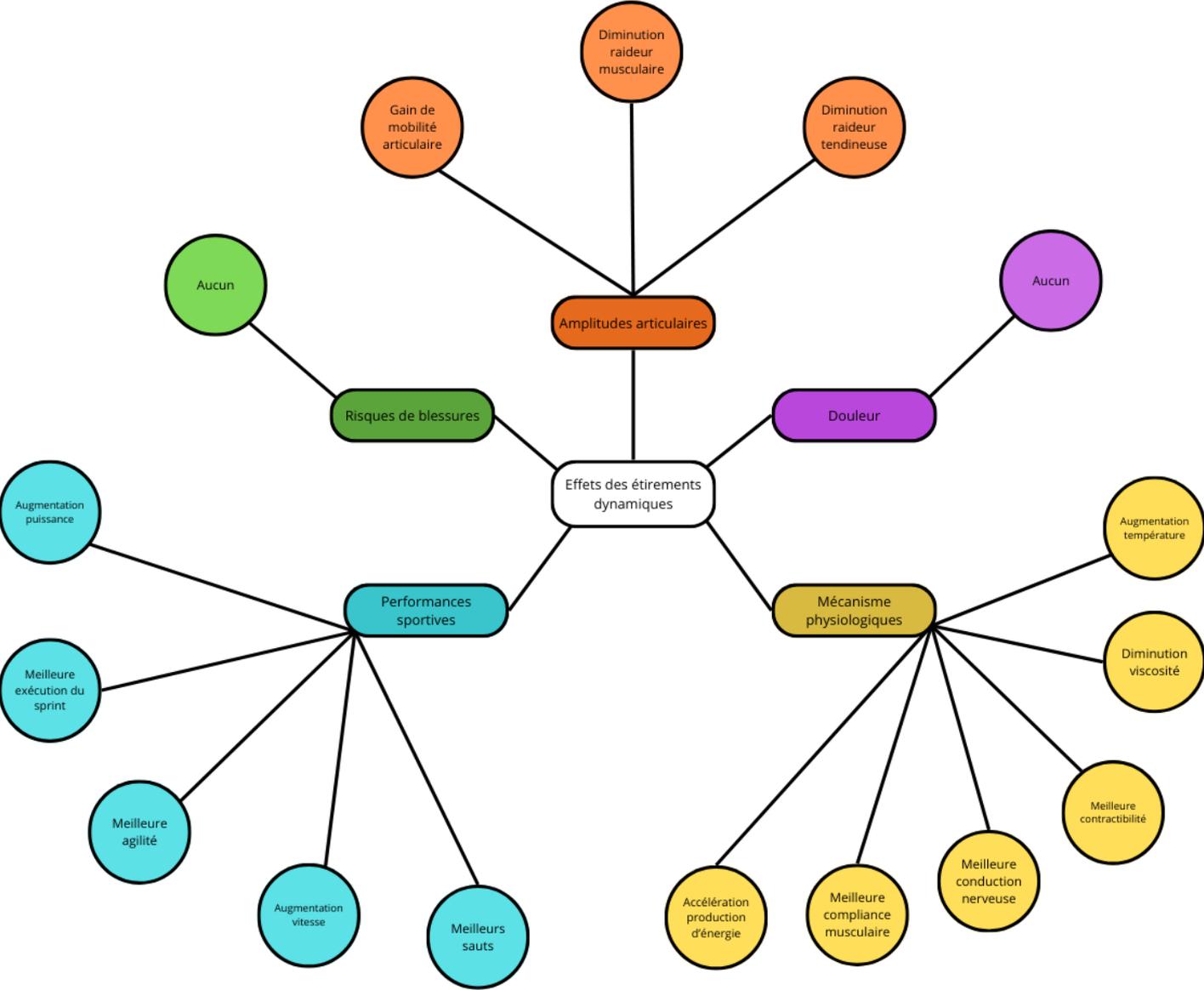
Annexe 5 : L'échelle PEDro

Annexe 6 : L'échelle GRADE

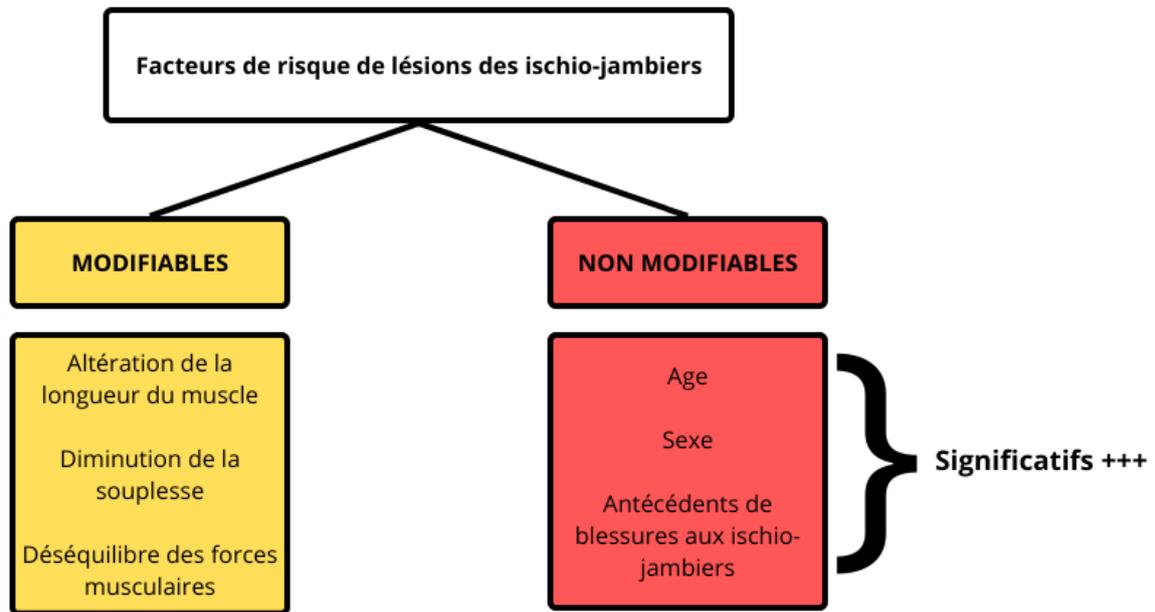
Annexe 7 : Tableau regroupant les facteurs diminuant la qualité des données scientifiques d'après « Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique » de la HAS.

Annexe 8 : Force de recommandations selon le niveau de confiance des données scientifiques tiré du Haut Conseil de la Santé Publique

Annexe 1 : Schéma synthétisant les différents effets des étirements dynamiques



Annexe 2 : Schéma synthétisant les facteurs de risque de lésion des ischio-jambiers



Annexe 3 : Le dynamomètre Cybex Norm tiré de The Education University of Hong Kong (en haut) et le dynamomètre Biodex System 3 tiré du Journal of Rehabilitation Research and Development (en bas)



Annexe 4 : Tableau récapitulatif des études exclues

Raison de l'exclusion	Nombre d'articles exclus	Nom des articles
Mauvaise population	3	Curry et al. 2009 Herda et al. 2013 Muanjai et al. 2023
Mauvaise intervention	17	Çetin et al. 2018 Park et al. 2018 Souza et al. 2017 Takeuchi et al. 2022 Cagno et al. 2019 Curry et al. 2009 Gesel et al. 2022 Herman et al. 2008 Khan et al. 2021 Kirmizigil et al. 2014 Lima et al. 2018 Muanjai et al. 2023 Samuel et al. 2008 Wiktorsson et al. 1983 Ayala et al. 2015 Souza et al. 2017 Alp et al. 2020
Mauvais critère de jugement	21	Amruta et al. 2016 Chen et al. 2018 Dali et al. 2010 Gonçalves et al. 2013 Haghshenas et al. 2014 Kabesova et al. 2019 Washif et al. 2015 Yuan et al. 2022 Costa et al. 2014 Werstein et al. 2012 Haddad et al. 2019 Chaouachi et al. 2017 Gesel et al. 2022 Kirmizigil et al. 2014 Morrin et al. 2013 Paradisis et al. 2014 Perrier et al. 2011 Serefoglu et al. 2017 Smith et al. 2018 Turki Belkhiria et al. 2014 Yamaguchi et al. 2015
Mauvais schéma d'étude	5	Anderson et al. 2020 D'anna et al. 2015

		Rucker et al. 2015 Kallerud et al. 2013 Benny Aprial et al. 2023
Doublon	5	Sekir et al. 2008 Sekir et al. 2010 Alp et al. 2020 Paradisis et al. 2014 Ayala et al. 2013
Non accessible	9	Behm et al. 2011 Ali et al. 2020 Williams et al. 2015 Menek et al. 2023 Chen et al. 2023 Chen et al. 2015 Benny et al. 2023 Behm et al. 2011 Beedle et al. 2008

Échelle PEDro – Français

1. les critères d'éligibilité ont été précisés	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
2. les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement)	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
3. la répartition a respecté une assignation secrète	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
5. tous les sujets étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
8. les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
9. tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter"	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
11. pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:

L'échelle PEDro est basée sur la liste Delphi développée par Verhagen et ses collègues au département d'épidémiologie de l'Université de Maastricht (*Verhagen AP et al (1998). The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology, 51(12):1235-41*). Cette liste est basée sur un "consensus d'experts" et non, pour la majeure partie, sur des données empiriques. Deux items supplémentaires à la liste Delphi (critères 8 et 10 de l'échelle PEDro) ont été inclus dans l'échelle PEDro. Si plus de données empiriques apparaissent, il deviendra éventuellement possible de pondérer certains critères de manière à ce que le score de PEDro reflète l'importance de chacun des items.

L'objectif de l'échelle PEDro est d'aider l'utilisateur de la base de données PEDro à rapidement identifier quels sont les essais cliniques réellement ou potentiellement randomisés indexés dans PEDro (c'est-à-dire les essais contrôlés randomisés et les essais cliniques contrôlés, sans précision) qui sont susceptibles d'avoir une bonne validité interne (critères 2 à 9), et peuvent avoir suffisamment d'informations statistiques pour rendre leurs résultats interprétables (critères 10 à 11). Un critère supplémentaire (critère 1) qui est relatif à la validité "externe" (c'est "la généralisabilité" de l'essai ou son "applicabilité") a été retenu dans l'échelle PEDro pour prendre en compte toute la liste Delphi, mais ce critère n'est pas comptabilisé pour calculer le score PEDro cité sur le site Internet de PEDro.

L'échelle PEDro ne doit pas être utilisée pour mesurer la "validité" des conclusions d'une étude. En particulier, nous mettons en garde les utilisateurs de l'échelle PEDro sur le fait que les études qui montrent des effets significatifs du traitement et qui ont un score élevé sur l'échelle PEDro, ne signifie pas nécessairement que le traitement est cliniquement utile. Il faut considérer aussi si la taille de l'effet du traitement est suffisamment grande pour que cela vaille la peine cliniquement d'appliquer le traitement. De même, il faut évaluer si le rapport entre les effets positifs du traitement et ses effets négatifs est favorable. Enfin, la dimension coût/efficacité du traitement est à prendre compte pour effectuer un choix. L'échelle ne devrait pas être utilisée pour comparer la "qualité" des essais réalisés dans différents domaines de la physiothérapie, essentiellement parce qu'il n'est pas possible de satisfaire à tous les items de cette échelle dans certains domaines de la pratique kinésithérapique.

Précisions pour l'utilisation de l'échelle PEDro:

Tous les critères **Les points sont attribués uniquement si le critère est clairement respecté**. Si, lors de la lecture de l'étude, on ne retrouve pas le critère explicitement rédigé, le point ne doit pas être attribué à ce critère.

- Critère 1 Ce critère est respecté si l'article décrit la source de recrutement des sujets et une liste de critères utilisée pour déterminer qui était éligible pour participer à l'étude.
- Critère 2 Une étude est considérée avoir utilisé une *répartition aléatoire* si l'article mentionne que la répartition entre les groupes a été faite au hasard. La méthode précise de répartition aléatoire n'a pas lieu d'être détaillée. Des procédures comme pile ou face ou le lancé de dés sont considérées comme des méthodes de répartition aléatoire. Les procédures quasi-aléatoires, telles que la répartition selon le numéro de dossier hospitalier ou la date de naissance, ou le fait de répartir alternativement les sujets dans les groupes, ne remplissent pas le critère.
- Critère 3 Une *assignation secrète* signifie que la personne qui a déterminé si un sujet répondait aux critères d'inclusion de l'étude ne devait pas, lorsque cette décision a été prise, savoir dans quel groupe le sujet serait admis. Un point est attribué pour ce critère, même si l'assignation est secrète, lorsque l'article mentionne que la répartition a été réalisée par enveloppes opaques cachetées ou que la répartition a été réalisée par table de tirage au sort en contactant une personne à distance.
- Critère 4 Au minimum, lors d'études concernant des interventions thérapeutiques, l'article doit décrire au moins une mesure de la gravité de l'affection traitée et au moins une mesure (différente) sur l'un des critères de jugement essentiels en début d'étude. L'évaluateur de l'article doit s'assurer que les résultats des groupes n'ont pas de raison de différer de manière cliniquement significative du seul fait des différences observées au début de l'étude sur les variables pronostiques. Ce critère est respecté, même si les données au début de l'étude ne sont présentées que pour les sujets qui ont terminé l'étude.
- Critères 4, 7-11 Les *critères de jugement* essentiels sont ceux dont les résultats fournissent la principale mesure de l'efficacité (ou du manque d'efficacité) du traitement. Dans la plupart des études, plus d'une variable est utilisée pour mesurer les résultats.
- Critères 5-7 Être "*en aveugle*" signifie que la personne en question (sujet, thérapeute ou évaluateur) ne savait pas dans quel groupe le sujet avait été réparti. De plus, les sujets et les thérapeutes sont considérés être "*en aveugle*" uniquement s'il peut être attendu qu'ils ne sont pas à même de faire la distinction entre les traitements appliqués aux différents groupes. Dans les essais dans lesquels les critères de jugement essentiels sont autoévalués par le sujet (ex. échelle visuelle analogique, recueil journalier de la douleur), l'évaluateur est considéré être "*en aveugle*" si le sujet l'est aussi.
- Critère 8 Ce critère est respecté uniquement si l'article mentionne explicitement *à la fois* le nombre de sujets initialement répartis dans les groupes *et* le nombre de sujets auprès de qui les mesures ont été obtenues pour les critères de jugement essentiels. Pour les essais dans lesquels les résultats sont mesurés à plusieurs reprises dans le temps, un critère de jugement essentiel doit avoir été mesuré pour plus de 85% des sujets à l'une de ces reprises.
- Critère 9 Une *analyse en intention* de traiter signifie que, lorsque les sujets n'ont pas reçu le traitement (ou n'ont pas suivi l'intervention contrôle) qui leur avait été attribué, et lorsque leurs résultats sont disponibles, l'analyse est effectuée comme si les sujets avaient reçu le traitement (ou avaient suivi l'intervention contrôle) comme attribué. Ce critère est respecté, même sans mention d'une analyse en intention de traiter si l'article mentionne explicitement que tous les sujets ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle comme attribué.
- Critère 10 Une comparaison statistique *intergroupe* implique une comparaison statistique d'un groupe par rapport à un autre. Selon le plan expérimental de l'étude, cela peut impliquer la comparaison de deux traitements ou plus, ou la comparaison d'un traitement avec une intervention contrôle. L'analyse peut être une simple comparaison des résultats mesurés après administration des traitements, ou une comparaison du changement dans un groupe au changement dans un autre (quand une analyse factorielle de variance a été utilisée pour analyser les données, ceci est souvent indiqué sous la forme d'une interaction groupe x temps). La comparaison peut prendre la forme d'un test sous hypothèses (qui produit une valeur "p", décrivant la probabilité que les groupes diffèrent uniquement du fait du hasard) ou prendre la forme d'une estimation (par exemple: différence de moyennes ou de médianes, différence entre proportions, nombre nécessaire de sujets à traiter, risque relatif ou rapport de risque instantané dit "hazard ratio") et de son intervalle de confiance.
- Critère 11 Une *estimation de l'effet* est une mesure de la taille de l'effet du traitement. L'effet du traitement peut être décrit soit par une différence entre les groupes, soit par le résultat au sein (de chacun) de tous les groupes. Les *estimations de la variabilité* incluent les écarts-types, les erreurs standards, les intervalles de confiance, les intervalles interquartiles (ou autres quantiles) et les étendues. Les estimations de l'effet et/ou de la variabilité peuvent être fournies sous forme graphique (par exemple, les écarts-types peuvent être représentés sous forme de barres d'erreurs dans une figure) à la condition expresse que le graphique soit clairement légendé (par exemple, qu'il soit explicite que ces barres d'erreurs représentent des écarts-type ou des erreurs-standard). S'il s'agit de résultats classés par catégories, ce critère est considéré respecté si le nombre de sujets de chaque catégorie est précisé pour chacun des groupes.

Annexe 6 : L'échelle GRADE

Grade des recommandations	Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature
<p>A</p> <p>Preuve scientifique établie</p>	<p>Niveau 1</p> <ul style="list-style-type: none"> - essais comparatifs randomisés de forte puissance ; - méta-analyse d'essais comparatifs randomisés ; - analyse de décision fondée sur des études bien menées.
<p>B</p> <p>Présomption scientifique</p>	<p>Niveau 2</p> <ul style="list-style-type: none"> - essais comparatifs randomisés de faible puissance ; - études comparatives non randomisées bien menées ; - études de cohortes.
<p>C</p> <p>Faible niveau de preuve scientifique</p>	<p>Niveau 3</p> <ul style="list-style-type: none"> - études cas-témoins. <p>Niveau 4</p> <ul style="list-style-type: none"> - études comparatives comportant des biais importants ; - études rétrospectives ; - séries de cas ; - études épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale).

1.1-Echelle des grades de recommandation et des niveaux de preuve associés, publiée par la HAS en 2013

Annexe 7 : Tableau regroupant les facteurs diminuant la qualité des données scientifiques d'après « Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique » de la HAS.

Facteurs	Description du facteur	Niveau de qualité de départ (nombre de niveaux en moins ou en plus)
Type d'études	essais contrôlés randomisés	élevé
	études observationnelles*	faible
Facteurs qui peuvent diminuer le niveau de qualité des données scientifiques provenant d'études observationnelles et d'essais contrôlés randomisés	risque de biais	
	sérieux	(-1)
	très sérieux	(-2)
	hétérogénéité des résultats	
	importante	(-1)
	très importante	(-2)
	caractère direct des données	
	incertitude	(-1)
	incertitude majeure	(-2)
	imprécision	
	sérieuse	(-1)
	très sérieuse	(-2)
	biais de publication	
	probable	(-1)
	très probable	(-2)

Annexe 8 : Force de recommandations selon le niveau de confiance des données scientifiques tiré du Haut Conseil de la Santé Publique

Système de gradation selon GRADE, AAP	Système de gradation selon HAS, INCa	Niveau de preuve scientifique
Elevée	A	<ul style="list-style-type: none"> • Essais comparatifs randomisés • Méta-analyses sans biais • Etudes observationnelles avec niveau de confiance élevé • Rapports de structures d'expertise (OMS, CDC, ECDC, EMA, etc.)
Intermédiaire (ou Modérée)	B	<ul style="list-style-type: none"> • Essais randomisés avec biais • Méta-analyses avec biais • Etudes observationnelles • Etudes de cohorte • Rapports de structures d'expertise (OMS, CDC, ECDC, EMA, etc.)
Faible	C	<ul style="list-style-type: none"> • Etudes cas-témoins • Etudes comparatives avec des biais importants • Etudes rétrospectives, séries de cas
	D (pour l'INCa uniquement)	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de données scientifiques • Forte incertitude sur l'effet estimé

Effets des étirements dynamiques des ischio-jambiers sur la force musculaire maximale chez le sportif régulier

Hamstrings dynamic stretching effects on maximal muscular strength on regular athlete

Nombre de pages (avec les annexes) : 73

Directeur de mémoire : BLACHERE Adrien

RESUME : **Introduction :** Les étirements font partie intégrante de la formation kinésithérapique mais son utilisation est controversée. De nos jours, les étirements dynamiques (ED) sont de plus en plus pratiqués, et leur efficacité a été prouvée dans plusieurs domaines notamment le sport en particulier pour les ischio-jambiers (IJ). Les sportifs sont attentifs à leur force musculaire maximale (FMM) mais le lien entre les ED et la FMM n'est pas clair contrairement à son homologue : l'étirement statique. **Objectif :** le but de cette revue est d'identifier si la pratique des ED peut augmenter la FMM chez le sportif régulier. **Méthode :** 4 études ont été incluses et trouvées dans 4 bases de données différentes (PubMed, Cochrane, PEDro, Google Scholar). Les études sélectionnées doivent être des ECR écrites après 2010 et doivent inclure des sportifs pratiquant du sport régulièrement. Les études doivent utiliser des dynamomètres pour mesurer la FMM des IJ. **Résultats :** 4 ECR sont inclus. 4 critères de jugement ont été identifiés : la FMM en concentrique et excentrique des IJ à 60°/s et 180°/s pour les deux. Toutes les études n'ont pas trouvé de résultats statistiquement significatifs sur le lien entre les ED et l'augmentation de la FMM. En effet, certaines valeurs $p > 0,05$. La plupart des intervalles de confiance à 95% contiennent la valeur 0 donc l'intervention pourrait n'avoir aucun effet sur nos critères de jugements. Dans ces études, le nombre de sujets est faible et les protocoles sont différents diminuant la significativité de nos résultats. De plus, aucune significativité clinique n'a été trouvée. **Discussion :** malgré la non-significativité des résultats, on observe une augmentation de la FMM dans la plupart des études. Il serait intéressant de réaliser le même type d'étude avec un protocole valide et fiable sur une population plus large afin de vérifier s'il existe bien un lien entre les ED et l'augmentation de la FMM.

ABSTRACT: **Introduction:** Stretching is a part of physiotherapy training, but its use is still controversial. Nowadays, dynamic stretching (DS) is increasingly practiced, and its efficiency has been proven in some domains like sport especially for the hamstring. Athletes pay particular attention to maximal muscular strength (MMS), but the link between DS and increasing MMS is still unclear unlike its counterpart: static stretching. **Objective:** the aim of this systematic review is to determine if practicing DS can improve hamstring MMS in regular athletes. **Method:** 4 studies were included for our review. These were found in four different databases (PubMed, Cochrane, PEDro, Google Scholar). Selected studies had to be RCTs written after 2010 and had to include athletes who often practiced sport. Studies had to use dynamometer to measure hamstring MMS. **Results:** 4 RCTs were included. 4 outcomes were identified: concentric and eccentric MMS of hamstring at 60°/s and 180°/s for both. Not all the studies found significant results about the link between DS and MMS. Indeed, some of the p values were above 0,05. Most of 95% confidence intervals contain 0 as value, suggesting that the intervention might have no effect on our outcomes. In these studies, there is a small sample size and the different protocols decrease the significance of the results. Then, no clinical relevance was found in all studies. **Discussion:** Despite non-significant results, an increase in MMS was observed in most studies. It would be interesting to do the same research with a valid and reliable protocol on a larger sample size to determine if there is still interaction between DS and the increase in MMS.

Mots clés : étirement dynamique, force musculaire maximale, concentrique, excentrique, ischio-jambiers, sportif

Key words: dynamic stretching, maximal muscular strength, concentric, eccentric, hamstrings, athlete