



**Institut Régional de Formation aux Métiers de  
Rééducation et de Réadaptation des Pays de Loire**

54, rue de la Baugerie

44230 St Sébastien Sur Loire

## **Analyse de l'effet à court et à long terme des étirements sur la performance par le biais d'une revue de littérature.**

Travail Ecrit de Fin d'Etudes en vue de l'obtention du  
Diplôme d'Etat de Masseur-Kinésithérapeute

ALBERT Flavien

Année scolaire 2012-2013

Région des Pays de la Loire



# Résumé

A l'heure actuelle, les étirements prennent une place importante dans le milieu sportif et depuis toujours les sportifs sont à la recherche de la meilleure performance. Or, étirements et performance sont-ils compatibles pour les sportifs d'aujourd'hui ? C'est au travers de l'analyse d'une revue de littérature que cette question va être évoquée afin de trouver des réponses. Avant cela, il est nécessaire de connaître certaines notions sur les étirements, la physiologie du muscle et la mécanique des étirements. Puis, plusieurs articles seront analysés afin d'englober un maximum d'informations possibles sur les effets à court et long terme des étirements sur la performance. Cependant certaines discordances existent encore entre différents auteurs avec des résultats parfois contradictoires dus aux nombreux paramètres qui peuvent varier d'une étude à l'autre. Des explications donnent parfois des réponses aux résultats mais celles-ci restent à confirmer par d'autres études.

Mots clés : - étirements

- force
- performance
- puissance
- souplesse

key words : - stretching

- strength
- performance
- power
- flexibility

# Sommaire

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>1. LES ETIREMENTS</b> .....	<b>1</b>
1.1 Définitions des étirements.....	1
1.2 Les différents types d'étirements.....	2
1.2.1 Les étirements passifs.....	2
1.2.2 Les étirements activo-dynamique.....	3
1.2.3 Les étirements balistiques.....	4
1.2.4 Les étirements de type PNF.....	5
<b>2. ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE DU MUSCLE SQUELETTIQUE</b> .....	<b>8</b>
2.1 Structure du muscle squelettique.....	8
2.1.1 De l'organe à la cellule.....	8
2.1.2 Le sarcomère.....	8
2.2 La contraction musculaire.....	10
2.2.1 Les ponts d'actine-myosine.....	10
2.2.2 La régulation de l'homéostasie calcique.....	11
2.3 Les différents types de fibres musculaires.....	11
<b>3. PHYSIOLOGIE DES ETIREMENTS</b> .....	<b>11</b>
3.1 Le muscle.....	11
3.2 Le tendon.....	12
3.3 L'aponévrose.....	13
3.4 Les mécanismes nerveux.....	13
<b>4. METHODE DE SELECTION DES ETUDES</b> .....	<b>14</b>
<b>5. EFFETS A COURT TERME DES ETIREMENTS SUR LA PERFORMANCE</b> .....	<b>14</b>
5.1 Définition de la performance.....	15
5.2 Définition de l'expression « à court terme ».....	15
5.3 Effets sur la souplesse musculaire.....	15
5.4 Effets sur la force musculaire.....	16
5.5 Effets sur la puissance musculaire.....	18
<b>6. EFFETS A LONG TERME DES ETIREMENTS SUR LA PERFORMANCE</b> .....	<b>20</b>
6.1 Définition de l'expression « à long terme ».....	20
6.2 Effets sur la souplesse musculaire.....	20
6.3 Effets sur la force musculaire.....	21
6.4 Effets sur la puissance musculaire.....	23
<b>7. DISCUSSION</b> .....	<b>24</b>
<b>8. CONCLUSION</b> .....	<b>27</b>
<b>9. BIBLIOGRAPHIE</b>	
<b>10. ANNEXES</b>	

## INTRODUCTION.

Les étirements sont apparus dans le milieu sportif dans les années 80. A l'époque, cette technique était un énorme progrès et possédait de multiples avantages. Ils étaient utilisés dans le cadre de la prévention des blessures musculaires, permettaient de diminuer les courbatures et amélioraient la performance sportive [1].

Cependant depuis quelques années de nombreuses études sont apparues et montrent que les effets des étirements ne sont peut-être plus ceux escomptés dans les années 80. Or selon une étude d'E.BELLAUD [1] réalisée en 2005, 98% des étudiants de L1 de STAPS (Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives) pratiquent régulièrement des étirements de différentes manières et pour des raisons variées. Ce chiffre montre donc qu'il existe une certaine confusion auprès des sportifs et une contradiction entre la pratique et la littérature actuelle.

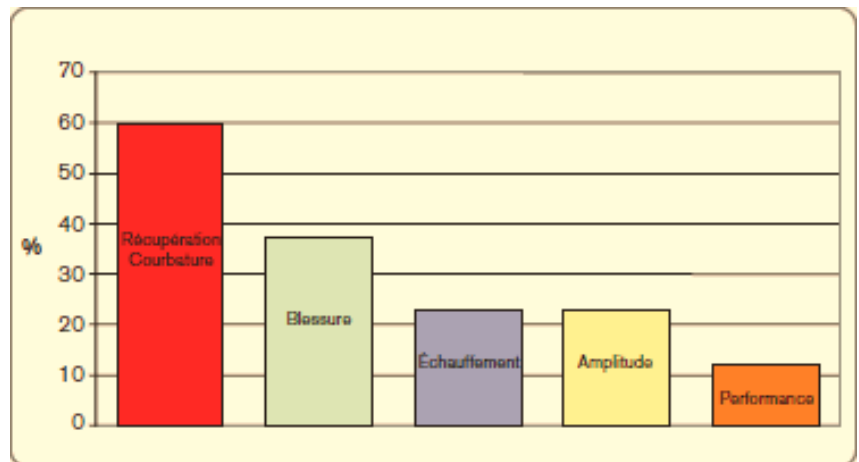


Figure 1 : graphique réalisé suite à la question pourquoi vous étirez vous ? [1]

Des études récentes ont prouvé que la prévention des blessures et la diminution des courbatures n'étaient en aucun cas améliorées par les étirements [2]. Ce travail écrit s'intéresse donc plus à la notion de performance sportive et les effets que peuvent avoir les étirements sur celle-ci que ce soit à court ou long terme.

Il n'existe pas de protocole bien défini pour la pratique des étirements et de nombreux paramètres peuvent varier (durée des étirements, nombre de répétition, à quel moment...) en fonction des différentes études. Le but de ce mémoire n'est donc pas de les comparer mais bien de réaliser une revue de littérature afin d'en ressortir les principaux effets des étirements sur la performance sportive.

## 1. LES ETIREMENTS.

Ce mémoire prend en compte tous les types d'étirements. Il est donc intéressant d'expliquer les différentes techniques qui peuvent être réalisées.

### 1.1 Définition des étirements.

Dans la littérature anglo-saxonne, les étirements se traduisent par le mot stretching. Or, par un abus de langage, ce mot a été adopté par la langue française. Cependant, les deux

mots ont une signification proche mais pas totalement identique. A l'origine, le stretching à plutôt une composante active alors que les étirements ont une composante passive. Dans ce mémoire, afin d'éviter toute confusion, les deux termes signifieront la même idée.

Le mot stretching qui vient du verbe anglais « to stretch » signifie en français « s'étirer ». Selon P.MAQUAIRE, « *les étirements sont des exercices destinés à améliorer la mobilité par un allongement progressif du muscle au maximum de son amplitude* ». [3]

Dans sa définition, WAYMEL ajoute la notion de souplesse qui permet de « *réaliser un geste ou une suite de geste avec un maximum d'amplitude et d'harmonie* ». La souplesse vient du mot souple. On dit qu'un objet ou que quelqu'un est souple lorsqu'il peut se plier et se replier sans qu'il soit cassé ni détérioré. [4]

Au niveau anatomique, cela correspond à un allongement du muscle dû à l'éloignement de ces différents points d'insertions. Certaines techniques (activo-dynamique, Proprioceptive Neuromuscular Facilitation et balistiques) entraînent une contraction musculaire volontaire d'un ou plusieurs muscles concernés par l'étirement.

## 1.2 Les différents types d'étirements.

Il existe de nos jours de nombreuses façons de s'étirer. Chaque individu a ses exercices spécifiques et les applique à sa propre manière. Cependant, au niveau kinésithérapique, on peut regrouper ces différentes techniques en quatre groupes principaux: les étirements passifs, les étirements activo-dynamiques, les étirements balistiques et les étirements de type PNF (Proprioceptive Neuromuscular Facilitation).

Dans ce mémoire, les quatre types d'étirement sont évoqués dans les différentes études et leur effet peut être totalement différent d'une technique à l'autre. Il ne faut donc pas tirer de conclusion générale sur les effets des étirements en se basant seulement sur l'utilisation d'une seule technique.

Les quatre techniques requièrent des paramètres différents (temps, répétitions, etc...). Il est donc important d'analyser la littérature pour voir les recommandations faites par les différents auteurs.

### 1.2.1 Les étirements passifs.

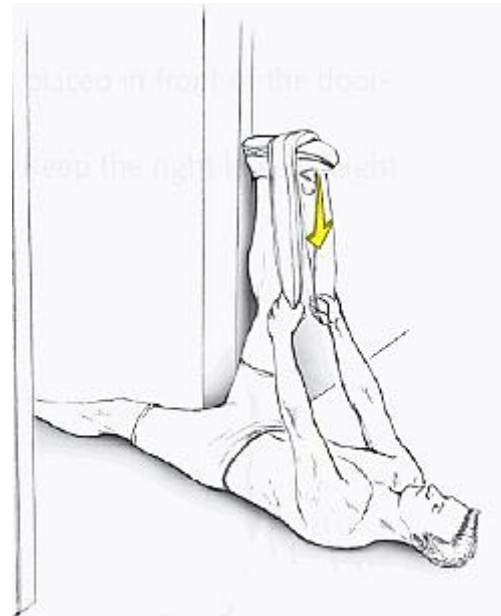
Ce type d'étirement est le plus utilisé dans la pratique sportive [1] [5]. Cette technique correspond à exercer une mise en tension lente, sans réaliser d'à-coups dans le but de rechercher un gain d'amplitude [5]. Elle consiste à allonger de façon globale ou spécifique un segment corporel. Cet allongement peut se faire par le biais d'une traction manuelle, de l'action de la pesanteur sur son propre corps (figure 2), d'une force extérieure (autre personne, élastique, poids...) (figure 3) [6].

La tension maximale doit se trouver à la limite du seuil douloureux et l'allongement doit être réalisé lors de la phase expiratoire.

Selon la littérature, cet étirement doit être réalisé par série de 4 et maintenu entre 10 et 30 secondes par muscle [7], plutôt 20s pour C. GEOFFROY et P.MAQUAIRE [3] [5].



**Figure 2** : étirement passif des ischio-jambiers droits par l'action de la pesanteur sur son corps. (Image issue du livre stretching anatomy)



**Figure 3** : étirement passif des ischio-jambiers à l'aide d'une force extérieure (serviette). (Image issue du livre stretching anatomy)

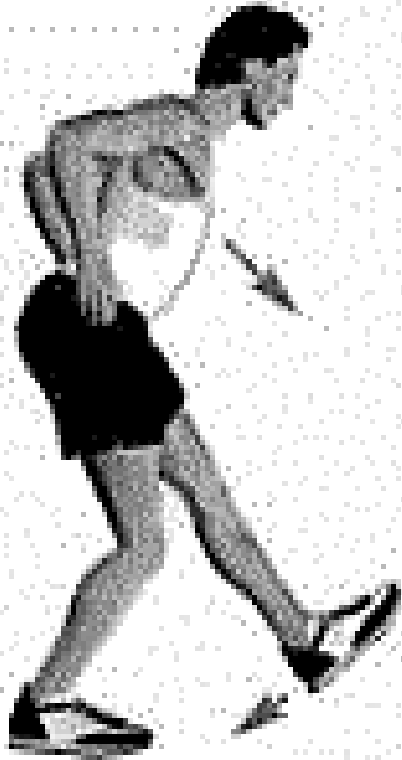
### 1.2.2 Les étirements activo-dynamiques.

Ces étirements sont dits actifs car ils associent étirement et contraction du tissu musculaire. Cela consiste à amener le muscle concerné dans une position d'allongement (inférieure à la longueur maximale du muscle), puis de réaliser une contraction isométrique de ce muscle.

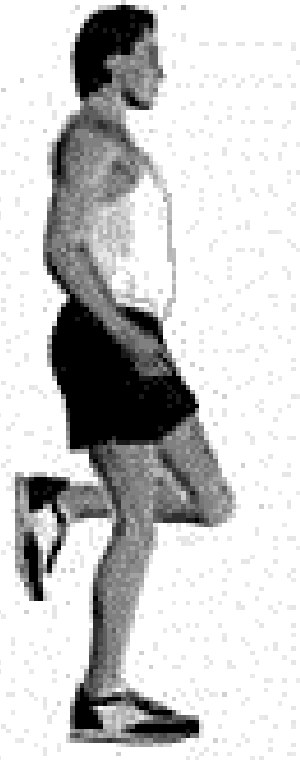
Lorsque cet étirement est suivi, immédiatement après le relâchement du muscle, d'un travail dynamique de celui-ci, il s'agit d'un étirement activo-dynamique.

Ces étirements se font le plus souvent debout afin de mieux se rapprocher des positions contraignantes (pour les sports réalisés debout). De plus ces étirements sont généralement précédés par un échauffement de quelques minutes.

La littérature conseille une contraction musculaire isométrique de 6 à 8 secondes (figure 4) puis d'enchaîner par la phase dynamique qui elle aussi dure environ 8 secondes (figure 5). Chaque exercice doit être répété deux fois par muscle [5] [6] [8].



**Figure 4 :** étirement activo-dynamique des ischio-jambiers : phase de contraction isométrique. (Image issue du livre « une préparation physique programmée »)



**Figure 5 :** étirement activo-dynamique des ischio-jambiers : phase de travail dynamique (talons-fesses). (Image issue du livre « une préparation physique programmée »)

### 1.2.3 Les étirements balistiques.

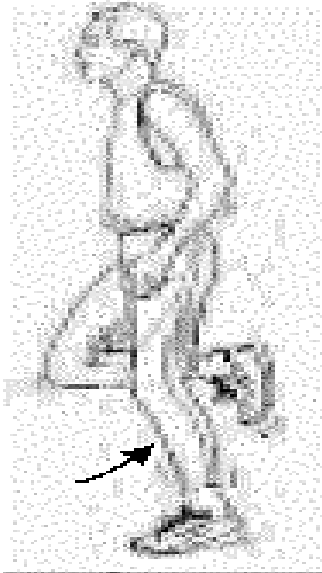
Cette technique est considérée comme dynamique. « *Ce sont des étirements musculaires effectués sous forme de mouvements répétés et par rebond. Bien souvent, il s'agit de balancement rythmique d'un bras ou d'une jambe jusqu'à une position extrême.* » [9].

A cette définition, on peut ajouter la notion de rapidité du mouvement amenée par la contraction des muscles antagonistes à ceux que l'on veut étirer. Ce mouvement entraîne un étirement de ces muscles ce qui provoque un stretch reflexe de ceux-ci. Autrement appelé le reflexe myotatique, ce stretch reflexe correspond à une contraction réflexe du muscle suite à son étirement [6] [10].

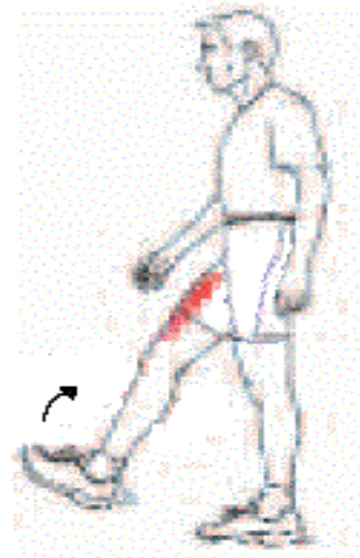
Ce stretching permet le renforcement musculaire des muscles antagonistes et entraîne un réchauffement du muscle étiré par l'effet de pompe grâce à l'alternance de phase de

contraction et de relâchement (figure 6 et 7). Cependant, la force utilisée ne doit pas être trop importante car le risque de lésion musculaire est élevé avec ces étirements balistiques.

Les recommandations de la littérature informent qu'une répétition du mouvement plusieurs fois de suite pendant 30 secondes serait efficace lorsqu'il s'agit d'un échauffement musculaire. Cette technique peut également être utilisée en kinésithérapie pour permettre une détente d'un membre et d'une zone douloureuse. Pour cela, 2 à 3 min serait plus conseillées [5].



**Figure 6** : étirement balistique des ischio-jambiers. (Image issue du site <http://www.editiongeoffroy.fr/upload/1166.pdf>)



**Figure 7** : étirement balistique des ischio-jambiers. (Image issue du site <http://www.editiongeoffroy.fr/upload/1166.pdf>)

#### 1.2.4 Les étirements de type PNF.

Ce type de stretching peut également être qualifié d'activo-passif. Il a pour origine la méthode de KABAT et se base sur l'utilisation du « contracter-relâcher ». Il existe trois formes de cette technique qui se déroulent chacune en trois ou quatre phases selon la littérature [9] [10] [11].

- *C-R-E : Contracter-Relâcher-Étirements.*
  - Le muscle à étirer est placé en position d'allongement maximal de façon passive.
  - La personne effectue une contraction isométrique de ce muscle contre résistance. (figure 8)

Dans certaine littérature, ces deux phases ne font qu'une.



- La personne relâche la contraction sans que le segment corporel ne bouge. (figure 9)
- Le muscle est allongé de façon lente et progressive de la part du praticien, sur le temps expiratoire du patient afin qu'il soit bien relâché. (figure 10)

Cette technique s'appuie sur le fait que la contraction d'un muscle entraîne le relâchement de celui-ci de façon plus importante que son état initial.

Chaque phase de cette méthode se déroule pendant 6 à 8 secondes. Cet exercice peut être répété entre 3 et 5 fois. Il est important de conserver le bénéfice acquis lors de l'étirement précédent [5].



**Figure 8** : phase 1 des étirements C-R-E des ischio-jambiers droits. (Image issue du livre stretching pour tous)



**Figure 9** : phase 2 des étirements C-R-E des ischio-jambiers droits. (Image issue du livre stretching pour tous)



**Figure 10** : phase 3 des étirements C-R-E des ischio-jambiers droits après le relâchement musculaire. (Image issue du livre stretching pour tous)

- *C-R-A-C : Contracter-Relâcher avec Contraction de l'Antagoniste.*

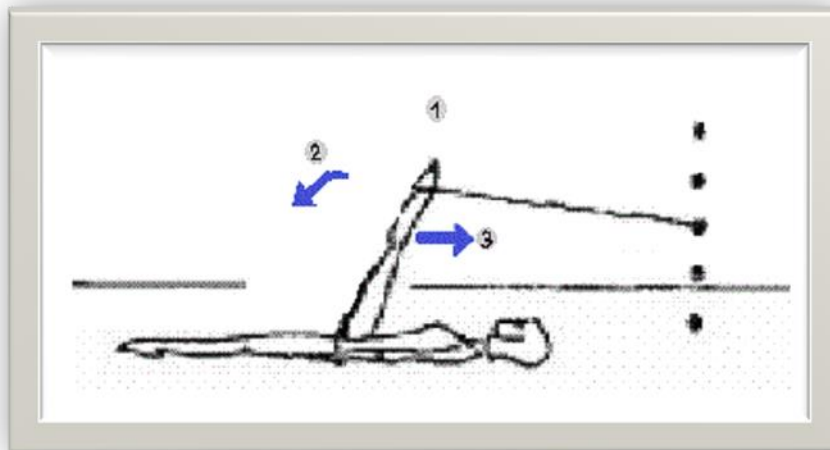
Cette méthode, dérivée de la première ci-dessus, se nomme aussi Contracter-Relâcher en Inhibition Réciproque. Elle est sensiblement identique, mise à part lors de la dernière phase (phase 3) où l'on demande une contraction de l'antagoniste au muscle étiré (figure 11). Cette contraction entraîne ce que l'on appelle le réflexe d'inhibition réciproque, c'est-à-dire que lorsqu'un muscle se contracte, son antagoniste est inhibé et donc se relâche plus facilement [5].



**Figure 11:** phase 3 des étirements C-R-A-C des ischio-jambiers droits avec contraction de l'antagoniste. (Image issue du livre stretching pour tous)

- *C-R-E-P-I : Contracter-Relâcher-Etirements en Post Inhibition.*

Cette technique également dérivée de la première consiste, à partir de la position initiale de tension maximale (1), à réaliser une contraction concentrique du muscle concerné (2). Puis, la personne contracte ce même muscle de façon excentrique (3) à l'aide d'un élastique, par exemple, afin d'étirer ce muscle [10]. (figure 12)



**Figure 12 :** étirement C-R-E-P-I des ischio-jambiers droits à l'aide d'un élastique. (Image issue du site <http://www.cdgy91.com/gam/docs/doc/cours11/soupl.pdf>)

# 1. ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE DU MUSCLE SQUELETTIQUE.

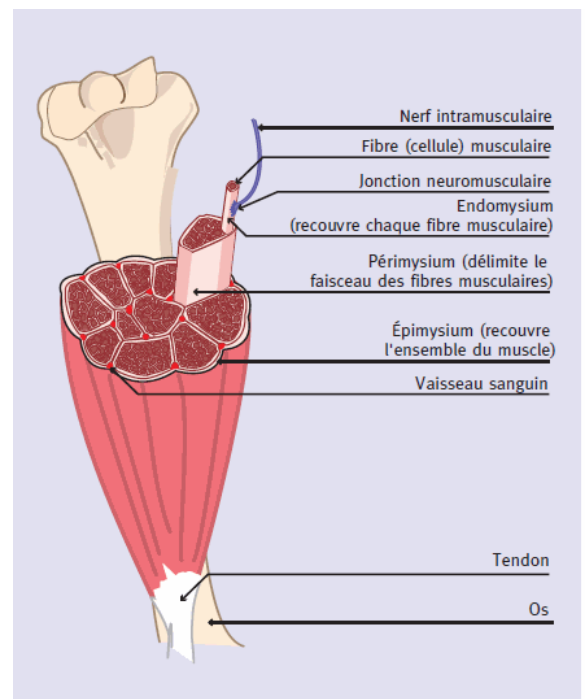
Afin de mieux assimiler la compréhension et le mécanisme des étirements, il est intéressant de rappeler quelques notions d'anatomie et de physiologie du muscle squelettique. Le mécanisme de contraction musculaire va également être abordé dans ce chapitre.

## 2.1 Structure du muscle squelettique.

Le corps humain est composé de plus de 600 muscles ce qui représente environ 40% de la masse corporelle chez un homme. Parmi tous ces muscles, il en existe trois catégories : le muscle squelettique, le muscle lisse et le muscle cardiaque. Dans ce mémoire, seul le muscle squelettique sera évoqué car il est le seul concerné par les étirements. Le rôle de celui-ci est d'induire le mouvement du corps.

### 1.1.1 De l'organe à la cellule.

Le muscle squelettique est une structure complexe entourée d'une enveloppe de tissu conjonctif appelée épimysium. Il est attaché à l'os par les tendons qui sont des tissus fibreux formés essentiellement de collagène. Le muscle se compose de plusieurs faisceaux qui possèdent également une enveloppe appelée péri-mysium. Ces faisceaux sont le regroupement de nombreuses fibres musculaires, elles aussi recouvertes par une membrane conjonctive nommée endomysium (voir figure 13). Ces fibres musculaires sont alors les cellules du muscle squelettique. Toutes ces enveloppes sont évidemment traversées par différents vaisseaux sanguins et nerfs afin de vasculariser et d'innervier le muscle. Les fibres musculaires sont composées d'une succession de myofibrilles qui sont structurées par une alternance de bandes claires et sombres, ce qui donne son aspect strié au muscle. Au niveau de ces bandes, on aperçoit l'enchaînement de sarcomères.

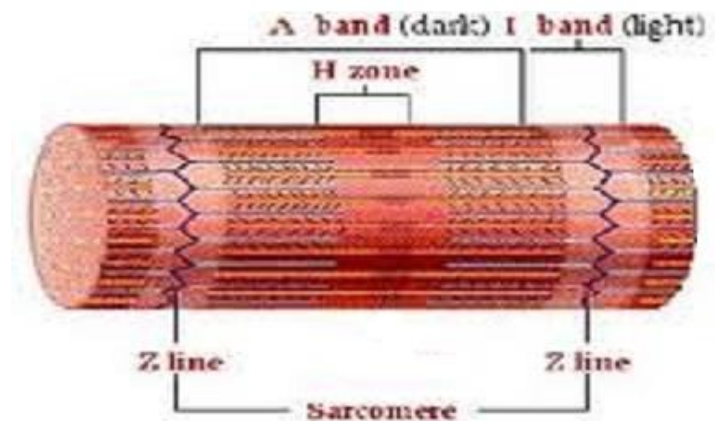


**Figure 13** : structure du muscle squelettique (Image issue du site <http://medias.afm-telethon.fr/Media/38/file.pdf>)

### 1.1.2 Le sarcomère.

C'est la plus petite unité contractile du muscle. Un sarcomère se situe entre deux stries Z. Au milieu de celles-ci, se trouve une zone H, puis de chaque côté de celle-ci se trouve une zone plus foncée appelée zone A pour Anisotropique ce qui signifie ne pas laisser passer la

lumière. A la suite des zones A, une bande claire est présente de chaque côté qui se nomme zone I pour isotropique ce qui veut dire laisser passer la lumière (voir figure 14).

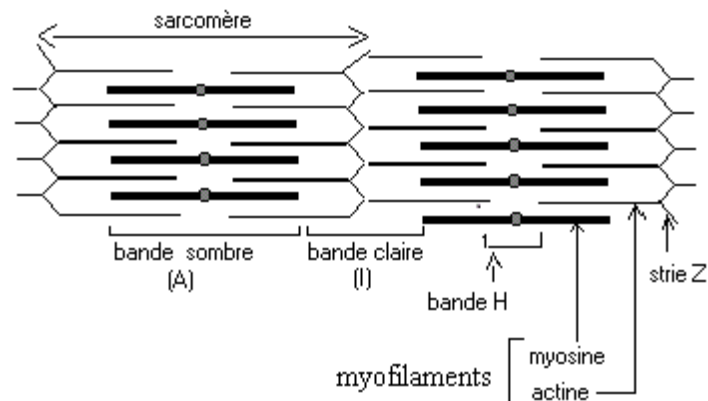


**Figure 14** : schéma de la structure d'un sarcomère.  
(Image issue du site : <http://science-naturalphenomena.blogspot.fr/2009/04/sarcomere.html>)

Si l'on entre encore plus dans les détails, ces bandes sont alors la succession de différents myofilaments : les filaments fins d'actine et les filaments épais de myosine (figure 15). Ceux d'actine forment tout le sarcomère sauf la bande H et ceux de myosine sont situés au niveau de la zone A. Cette bande sombre est donc la superposition des deux myofilaments. Un filament de myosine est lié avec six filaments d'actine.

Le filament de myosine est constitué d'environ 150 à 360 molécules de myosine. Elle est en forme de « club de golf ». Elle possède deux parties : la tête et la queue. Sa tête contient deux sites de fixation importants pour la contraction musculaire.

Le filament fin d'actine est quant à lui porteur de site de fixation aux têtes de myosines. Il est également entouré d'un complexe régulateur tropomyosine/troponine qui va jouer un rôle dans la contraction du muscle squelettique.



**Figure 15** : structure du sarcomère avec les différents filaments. (Image issue du site : <http://pavlov.e-monsite.com/pages/motricite-et-systeme-nerveux/histologie-du-tissu-nerveux-et-musculaire/>)

## 1.2 La contraction musculaire.

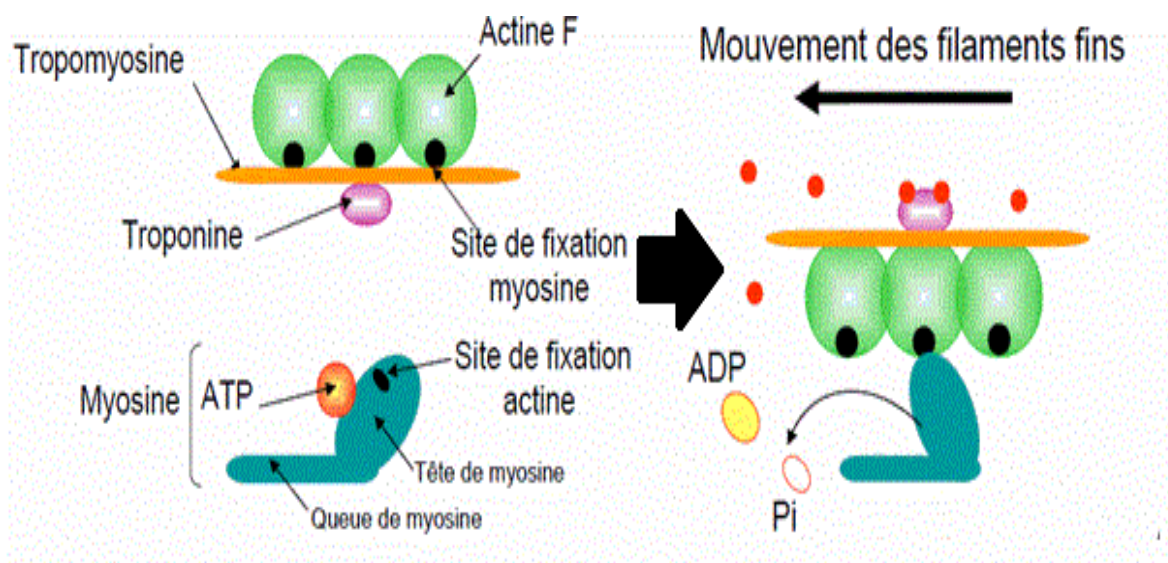
C'est en 1957, qu'un certain biologiste britannique Hugh HUXLEY définit la première théorie concernant la contraction musculaire. Elle se base sur un système de glissement entre les différents filaments présents dans le muscle squelettique et sur la régulation du calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ).

### 1.2.1 Les ponts d'actine-myosine.

Au repos, les sites de fixation aux têtes de myosine des filaments d'actines sont recouverts par le complexe régulateur tropomyosine/troponine. La formation des ponts est donc impossible. De plus, la myosine est liée à une molécule d'ATP (Adénosine Tri-Phosphate). Le muscle est alors relâché.

Lors de la contraction musculaire, la concentration de  $\text{Ca}^{2+}$  intracellulaire va augmenter. Cette élévation permet alors au calcium de se fixer sur la troponine ce qui entraîne une modification et un glissement du complexe tropomyosine/troponine. Ce mécanisme libère donc les sites de fixation au niveau des filaments d'actines. De plus, l'ATP de la myosine s'hydrolyse pour donner de l'ADP (Adénosine Di-Phosphate) + Pi (Phosphate). Tout cela entraîne alors la création de ponts actine-myosine. Les têtes de myosine réalisent ensuite une flexion qui provoque un glissement des filaments fins d'actine sur les filaments de myosine. Le sarcomère est donc raccourci sans qu'il y ait une modification de la longueur des différents filaments. C'est la contraction musculaire (figure 16).

La tête de myosine se décroche ensuite de l'actine. Une nouvelle molécule d'ATP vient se fixer et un autre cycle redémarre. Ce cycle est répété tant que la concentration de  $\text{Ca}^{2+}$  intracellulaire reste élevée.



**Figure 16** : schéma de la contraction musculaire.

### 1.2.2 La régulation de l'homéostasie calcique.

Le calcium joue un rôle important dans la contraction musculaire, il doit donc être régulé. Pour cela, deux systèmes entrent en compte : le système tubulaire transverse et le rétinaculum sarcoplasmique. Ils permettent notamment de transformer un signal nerveux en signal calcique. Des récepteurs (récepteurs aux dihydropyridines et à la ryanodine) situés dans ces deux systèmes reçoivent des potentiels d'actions du système nerveux central qui vont ensuite libérer une quantité importante de calcium dans le sarcoplasme. Ce calcium va ensuite déclencher le processus décrit ci-dessus.

### 1.3 Les différents types de fibres musculaires.

Il existe différentes fibres musculaires en fonction du rôle qu'elle joue dans le corps humain. Certaines fibres musculaires ont plus un rôle de maintien, de posture. Elles sont appelées les fibres de type I et sont qualifiées de lentes car leur contraction est lente et ne nécessite pas beaucoup d'Adénosine Tri-Phosphate (énergie). Cependant, ces fibres sont très résistantes à la fatigue car leur contraction nécessite une endurance importante.

Les autres fibres sont plus utilisées pour créer un mouvement, ce sont des fibres rapides de type II. Leur contraction est rapide et requiert une forte activité ATPasique mais elles sont très rapidement fatigables car leur utilisation ne nécessite pas forcément une grande endurance. Une différenciation entre des fibres IIa et IIb peut être faite. Les fibres IIa correspondent alors à des fibres moyennes qui sont l'intermédiaire entre les lentes et les rapides.

## 2. **PHYSIOLOGIE DES ETIREMENTS.**

Après avoir vu l'anatomie du muscle, il est intéressant de connaître la physiologie des étirements afin de mieux comprendre les mécanismes qu'ils peuvent entraîner. Lors d'un stretching, quatre structures anatomiques sont mises en jeu : le muscle, le tendon, l'aponévrose et les mécanismes de physiologies nerveuses (les différents réflexes).

### 2.1 Le muscle.

Le muscle est la structure la plus déformable lors d'un étirement. Selon Viel et Esnault, un muscle peut se laisser étirer jusqu'à 150% de sa longueur initiale [12]. Plusieurs structures sont donc modifiées pour conférer cette déformation au muscle, notamment les ponts d'actine-myosine et des protéines musculaires : la titine et la nébuline [13].

*Les ponts d'actine-myosine* : Proske et Morgan ont montré que la première raison de la tension passive du muscle rencontrée lors de l'étirement provient de ces ponts d'actine-

myosine. Certains de ces ponts sont encore actifs même au repos à cause du calcium résiduel. Alors que l'étirement va essayer de les défaire, d'autres ponts se créent ailleurs [14].

*La titine et la nébuline* : La titine est une protéine qui consiste à ramener le sarcomère dans sa position initiale après l'étirement de celui-ci et permet aussi de maintenir l'alignement actine-myosine. La nébuline a aussi un rôle de maintien de l'actine. De par leur positionnement et leur rôle, ces protéines exercent une force résistante à l'étirement. De ce fait, selon Wydra et Al [14], les étirements auraient tendance à détruire ces protéines.

## 2.2 Le tendon.

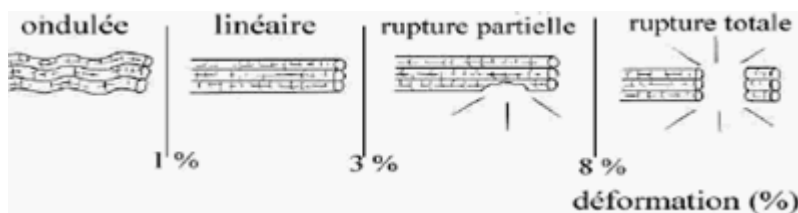
Le tendon est composé essentiellement de collagène (70%) et contient également de l'élastine ce qui lui confère une forme « ondulée ». Selon Butler et Al, on distingue quatre phases différentes dans la réponse du tendon au cours du stretching [15]. (Voir figure 17).

*Phase ondulée* : Lorsque la déformation du tendon ne dépasse pas les 1%, il garde sa forme ondulée. Cette phase se termine quand les fibres du tendon ont pris leur forme linéaire.

*Phase linéaire* : Cette phase est présente dans la plupart des sollicitations sportives. Elle va jusqu'à environ 3% de déformation. Ce sont les fibrilles de collagènes qui s'alignent alors que dans la première phase elles étaient orientées obliquement [16].

*Phase de rupture partielle* : Lors de cette phase, des sollicitations trop intenses vont entraîner de petites ruptures partielles au niveau du tendon. Celles-ci peuvent se reconstruire lorsque la personne se met au repos quelques temps et cela permet même de renforcer le tendon grâce à une reconstruction plus résistante. Elle se passe entre 3 et 8% de déformation.

*Phase de rupture totale* : A partir de 8%, cette phase consiste en la rupture totale du tendon du muscle due à une tension trop importante.



**Figure 17** : les différentes phases de la déformation du tendon. [13]

La liaison tendon-muscle joue également un rôle lors du stretching car elle permet la transmission des tensions (possible dans les deux sens). Elle se fait de deux manières : de façon directe par la jonction classique et indirecte par les structures élastiques transversales du muscle. [13]

*Transmission directe* : La jonction tendon-muscle ne se fait pas de façon continue entre les fibres musculaires et les fibres de collagènes. Elles sont séparées par une membrane appelée lame basale. Celle-ci présente de nombreux replis qui permettent d'augmenter la surface d'échange et de dissiper les tensions lors d'un étirement. Cette transmission des forces se fait par l'intermédiaire de deux chaînes protéiques contenues dans la lame basale.



*Transmission indirecte* : Pater et Lieber ont montré que cette transmission se fait aussi latéralement par le biais des éléments élastiques transversaux. Ceux-ci transfèrent les contraintes aux différentes membranes musculaires (sarcolemme, endomysium, perimysium, épimysium) qui vont ensuite être transmises à l'aponévrose puis, pour finir, au tendon. Cette transmission se fait grâce à différents filaments, notamment la desmine et les costamères. La desmine permet de lier les sarcomères entre eux et les costamères ont pour rôle de lier les myofibrilles au sarcolemme de la fibre. Lors d'un étirement, ces deux filaments sont sollicités et peuvent être rompus. Ainsi selon Barash et Al, il s'en suit une reconstruction plus résistante qu'au début (idem à la reconstruction partielle du tendon) [17].

### 3.3 L'aponévrose.

L'aponévrose (ou fascia) n'est pas la structure la plus impliquée dans les étirements mais elle joue tout de même un rôle dans le stretching. Un muscle est entouré de plusieurs aponévroses que ce soit en interne ou en externe (épimysium, périmysium, etc...). Cela rend alors possible les glissements entre les différents muscles ce qui permet de les étirer. L'aponévrose est un tissu conjonctif microvacuolaire tridimensionnel qui sert à absorber les chocs. Elle est mise sous tension lors d'un étirement et retourne ensuite dans sa position initiale grâce à sa propriété élastique. Beaucoup de techniques kinésithérapiques s'inspirent de ces fascias [13].

### 3.4 Les mécanismes nerveux.

Trois principaux réflexes vont être concernés par les étirements. Certaines méthodes d'étirement utilisent l'un des réflexes pour justifier la technique. « *Les réflexes représentent la réponse automatique et prévisible de l'organisme à une excitation externe donnée* » [3].

*Le reflexe myotatique* : Des fuseaux neuromusculaires se trouvent dans le muscle et sont sensibles à la longueur du muscle. Ceux-ci transmettent une information nerveuse par les voies sensitives jusqu'à la moelle épinière qui renvoie un message nerveux moteur jusqu'aux plaques motrices situées dans ce même muscle. Cette réponse constitue une contraction réflexe. Ce réflexe se déclenche lorsque le mouvement est rapide ou dans une grande amplitude. Ainsi les étirements de type balistique peuvent être à proscrire car l'étirement rapide et complet du muscle entraîne une contraction réflexe qui peut engendrer des risques de lésions musculaires.

*L'innervation réciproque* : Ce réflexe s'explique par le fait que le fuseau neuromusculaire va transmettre un message inhibiteur au muscle antagoniste par le biais de voies afférentes inhibitrices. Ainsi la contraction du muscle antagoniste à celui que l'on souhaite étirer va permettre un relâchement de celui-ci. Ce réflexe est la base de la technique d'étirement de type C-R-A-C (Contracter Relâcher avec Contraction de l'Antagoniste).



*Le reflexe myotatique inverse* : Ce réflexe est réalisable grâce aux organes tendineux de Golgi situés au niveau du tendon du muscle. Ils sont sensibles à la tension du muscle et peuvent transmettre au muscle étiré un message inhibiteur en cas d'augmentation de la tension. Ce message va entraîner une diminution du tonus de ce muscle ce qui signifie qu'il sera plus relâché. Ce mécanisme nerveux peut être déclenché soit par une forte tension durant un temps très court, soit par une tension faible sur un temps plus long. La conséquence pratique de ce réflexe est qu'il est parfois conseillé de réaliser des étirements passifs lents et statiques afin de bien relâcher les structures musculaires.

#### **4. METHODE DE SELECTION DES ETUDES.**

Afin de réaliser cette revue de littérature, une recherche a été effectuée dans différents moteurs de recherche sur internet dans le but de sélectionner plusieurs études. Les moteurs de recherche Refdoc, EMconsulte, Pubmed et Kinédoc ont été utilisés afin d'essayer de choisir les articles les plus pertinents possible.

Certains articles ont également été sélectionnés dans les bibliographies des articles précédemment recherchés.

Pour sélectionner les différentes études en français, il a fallu utiliser les mots-clés suivants : stretching, étirements, performance, souplesse, force, puissance, « long terme », « court terme ».

En ce qui concerne la bibliographie anglo-saxonne, les mots-clés suivant ont permis la recherche : stretching, performance, strength (force), flexibility (souplesse), power (puissance), « chronic effect » (effets à long terme), « acute effect » (effet aigu).

Cette recherche fut effectuée entre le mois d'octobre 2012 et le mois de mars 2013.

*Critères de sélection* : Ces articles ont été sélectionnés afin de prendre en compte tous les étirements décrits auparavant tout en sélectionnant les études les plus récentes possibles.

*Critères de non sélection* : Les études qui analysent un paramètre supplémentaire aux étirements (par exemple un protocole d'échauffement) ne sont pas incluses dans cette revue de littérature.

Les revues de littérature ne sont pas comprises dans cette analyse.

Les étirements ayant beaucoup évolué ces dernières années, les études inférieures aux années 2000 ne sont pas incluses dans ce travail.

#### **5. EFFETS A COURT TERME DES ETIREMENTS SUR LA PERFORMANCE.**

Dans ce chapitre, il va être question de montrer les effets que peuvent avoir les étirements à court terme sur la performance. Pour cela, une analyse a été effectuée ce qui a permis d'en ressortir plusieurs effets majeurs.

## 5.1 Définition de la performance.

Pour qu'il n'y ait pas de confusion, la notion de performance mérite d'être traitée afin de ne pas confondre performance musculaire et performance sportive. Le mot performance vient du mot « parformer », pris à l'anglais au 19<sup>ème</sup> siècle, qui signifie exécuter, accomplir. On dit d'une performance qu'elle est sportive « *quel que soit le niveau de réalisation, dès l'instant où l'action optimise le rapport entre les capacités physiques d'une personne et une tâche sportive à accomplir.* » [18].

Dans cette revue de littérature, on parlera plus de performance musculaire, c'est-à-dire plus sur les caractéristiques du muscle (force, souplesse, puissance). Cependant, afin de démontrer l'effet des étirements sur la performance musculaire, un bon nombre d'études se basent sur une performance sportive (un temps, une hauteur, etc...).

## 5.2 Définition de l'expression « à court terme ».

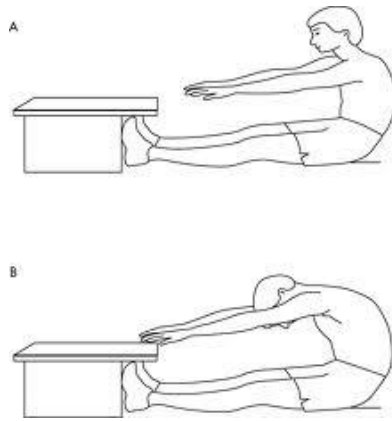
Dans ce chapitre, les effets à court terme des étirements sont analysés. Ainsi, il inclut uniquement les études où les étirements ne sont réalisés qu'avant l'activité physique ou un test. Les études, où les participants ont réalisé des étirements réguliers durant un nombre de semaines consécutives avant l'expérience ne sont donc pas comprises dans ce chapitre, à l'exception que d'autres étirements soient réalisés juste avant l'activité physique.

## 5.3 Effets sur la souplesse musculaire.

Par définition, la souplesse « *est l'augmentation de l'amplitude de ces mouvements durant leur exécution* » [19] ce qui est le rôle premier des étirements sur le muscle. Pour preuve, la notion de « souplesse » se retrouve dans certaine définition des étirements. Cependant certaines définitions ne sont pas toujours très correctes. Les différentes études vont donc permettre de vérifier si la définition est bien vraie et ainsi démontrer l'efficacité ou non des étirements sur la souplesse musculaire. Celle-ci se mesure le plus souvent par l'amplitude d'un mouvement en degré ou ROM (Range Of Motion pour les anglo-saxons)

Dans une étude de 2005, M. Marek [20] s'est entre autre intéressée à l'amplitude active et passive de la flexion de genou chez une population de 19 jeunes personnes en bonne santé et qui pratiquaient entre 1 heure et 5 heures de sport par semaine. La conclusion qui ressort de cet article est qu'avec une moyenne de 16,9 minutes d'étirements de type PNF (pour un groupe) et statiques (pour un autre groupe), on trouve une augmentation de l'amplitude active et passive dans les deux groupes.

A. Nelson (2005) [21] confirme ce résultat en mesurant la flexion de hanche, à l'aide du test sit-and-reach (figure 18) après une séance d'étirements passifs. Il trouve une augmentation de la souplesse d'environ +5,7 cm après un stretching de 15 minutes alors que le groupe contrôle n'a montré aucune augmentation.



**Figure 18** : sit-and-reach test

Concernant les étirements statiques, Behm (2005) [22] et Bacurau (2009) [23] en arrivent à des résultats similaires. Ce dernier a également démontré que les étirements balistiques ont le même effet. Cependant, dans son étude, il montre que sur un groupe de 14 femmes sportives, les étirements statiques permettent un meilleur gain d'amplitude que les étirements balistiques.

Un laboratoire de recherche aux Etats-Unis a sorti une étude afin de déterminer la durée de l'efficacité des étirements statiques sur la souplesse du muscle [24]. C'est-à-dire, qu'ils ont mesuré le gain d'amplitude des ischio-jambiers à plusieurs instants après 4 séries de 30 secondes de stretching. Le résultat qui en ressort est que l'efficacité de ce type de stretching ne dure pas plus de 3 minutes après la séance.

Ce même laboratoire réalise un an plus tard, la même étude en réalisant 5 stretchings de type PNF [25]. Le résultat montre une efficacité de 6 minutes pour ce type d'étirements

En ce qui concerne la souplesse musculaire, les auteurs sont unanimes. Les études réalisées à ce sujet montrent toutes une augmentation de la souplesse musculaire quel que soit le type de stretching [20-25]. Cependant, la durée de cet effet est controversé, car une étude de 2000 montre que l'extensibilité du muscle n'est maintenue que durant 3 minutes [24] pour un étirement statique et 6 minutes pour un étirement de type PNF [25], ce qui est très peu. Ces deux études amènent donc une nouvelle réflexion et d'autres articles seraient nécessaires pour vérifier ce résultat. Pour les sportifs pratiquant un sport où la souplesse est le maître mot, il est judicieux de réaliser quelques étirements avant de réaliser une performance sportive. Cependant il semblerait que l'efficacité soit de courte durée, mais aucun effet néfaste n'est démontré.

#### 5.4 Effets sur la force musculaire.

Avant d'analyser la littérature, il est important de donner une définition claire de ce qu'est la force musculaire. « *La force musculaire peut se définir comme la tension d'un muscle ou d'un groupe de muscles, qui s'oppose à une résistance* » [26]. Elle peut se mesurer

grâce à ce qu'on appelle la 1RM. Cela correspond à la Résistance Maximale que la personne peut soulever seulement une fois. Elle représente une valeur simple qui est très souvent utilisée dans les différentes études afin de comparer plusieurs protocoles.

Dans une étude de 2005, Cramer et Al ont étudié les conséquences des étirements statiques sur 14 femmes jeunes (22 +/- 1 an) actives [27]. Trois étirements actifs et un passif étaient alors réalisés sur une seule jambe sur environ 16 +/- 1 min. Ils ont ensuite démontré une diminution de la force musculaire lors d'un travail concentrique de la jambe étirée juste auparavant, en la mesurant à deux vitesses différentes.

Behm et Al trouvent un résultat identique en comparant deux groupes de 9 personnes [22]. Le groupe qui s'est étiré les quadriceps, ischio-jambiers et triceps pendant une durée totale de 270 secondes a montré une diminution non négligeable de la force que ce soit pour l'extension de genou comme pour la flexion.

Toutes les études citées auparavant concernent le membre inférieur, mais Evetovich et Al ont démontré que, dans son étude de 2003 [28], la conséquence des étirements sur la force était la même au niveau du membre supérieur. Durant ce travail, il utilise un électromyogramme (EMG) qui lui permet de conclure qu'une personne possède plus de facilités à produire de la force lorsque ces tendons sont raides. Ainsi le stretching peut diminuer la performance du muscle.

Nelson, Kokkonen et Al, qui ont beaucoup publié sur les étirements, ont montré que la diminution de force suivant une série de stretching était valable même lorsque les participants s'étirent depuis plusieurs semaines [29]. Cependant, cette étude a été réalisée sur de jeunes individus (22 +/- 1ans) sportifs et n'est pas vérifiée sur un individu quelconque. Ces mêmes auteurs découvrent également que la force n'est pas le seul facteur à diminuer mais que l'endurance de force diminue, c'est-à-dire le nombre de répétition de la force maximale [30]. Cette deuxième expérience se vérifie cette fois chez des individus n'ayant pas pratiqué d'étirements réguliers auparavant.

En ce qui concerne les étirements de type PNF, les résultats sont identiques [20]. Marek et Al comparent les étirements de type PNF et statiques. L'analyse de leur étude arrive à la conclusion que les effets sont similaires selon le type d'étirements concernant la force.

Pour ce qui est des étirements balistiques, plusieurs études s'y intéressent. Dans un premier temps, un article de Bacurau (2009) [23] montre, en comparant les étirements statiques et balistiques, que ces derniers n'affectent pas la force musculaire alors que les étirements statiques la diminuent. Cependant, les résultats dévoilés par l'étude plus ancienne de Nelson et Al (2001) [30] ne vont pas dans le même sens. Une baisse de la résistance maximale en flexion et en extension de genou est à signifier après la réalisation de 5 exercices balistiques.

Dans ce chapitre concernant l'effet à court terme des étirements sur la force musculaire, seule une étude de Bacurau [23] ne montre aucun effet néfaste sur la force musculaire. Or, cela est en contradiction avec l'étude de Nelson et Al [30] qui étudient eux aussi les étirements balistiques. Cela montre qu'il existe encore de nombreux points à éclaircir concernant les étirements. Cependant, la littérature récente (Cramer et Al [27], Behm et Al [22], Nelson et Al [29] [30], Marek et Al [20], Evetovich et Al [28]) tend à dire que les étirements réalisés juste avant une activité physique diminue la force musculaire ainsi que le nombre de répétition à répéter cette force maximale. Il serait donc intéressant de conseiller aux sportifs pratiquant un sport nécessitant une force importante, de ne pas réaliser d'étirements durant leur échauffement avant leur compétition.

### 5.5 Effets sur la puissance musculaire.

La puissance se définit par la capacité qu'a un muscle de surmonter des résistances avec une vitesse la plus importante possible. La puissance se caractérise par la force musculaire multipliée par la vitesse d'exécution ( $P=F \times v$ ) [31]. Elle s'exprime en watts (W). La puissance est très importante dans de nombreux sports et activités physiques, bien plus que la force en elle-même. Elle est donc évaluée dans les études au travers des performances en sprints et en saut par exemple.

Le chapitre précédent conclue par le fait que les étirements diminuent la force musculaire. Il serait donc logique qu'au vu de la formule  $P=F \times v$ , il en soit de même pour la puissance. Cependant on ne connaît pas l'influence du stretching sur le paramètre vitesse. Il est donc intéressant d'analyser la littérature sur ce sujet.

Dans un article récemment publié de 2012, Franco et Al ont comparé l'effet de 3 types d'étirements (PNF, statique, dynamique) sur la puissance musculaire [32]. Ils ont donc mesuré la puissance maximale, moyenne et le temps pour atteindre la puissance maximale sur une population de 15 hommes sportifs amateurs. Les mesures montrent que les étirements statiques et de type PNF engendrent une diminution significative de la puissance moyenne et maximale. Cependant, en ce qui concerne le temps qu'il faut atteindre pour la puissance maximale, il est augmenté quel que soit le type d'étirement effectué.

L'article de Nelson et Al (2005) va dans le sens des résultats précédents [33]. Le temps de réalisation d'un sprint de 20m est augmenté de 0,04 seconde si le sprinteur s'est étiré passivement juste auparavant que ce soit la jambe d'appui pour le départ, l'autre jambe ou les deux. Le sprint étant un sport à haute puissance musculaire, celle-ci est donc diminué lorsque le temps est augmenté.

Kees (2007), quant à lui, ne trouve aucune influence des étirements sur la puissance musculaire [34]. Il obtient trois temps quasi similaires lors d'un test nécessitant de la puissance (Illinois Agility Test) chez un groupe contrôle (sans étirement), un groupe ayant réalisé du stretching dynamique, et un autre du stretching passif (figure 19).



puissance musculaire. . Il est donc intéressant pour chaque sportif d'adapter sa façon de faire en fonction de son sport pratiqué et de son ressenti

## **6. EFFETS A LONG TERME DES ETIREMENTS SUR LA PERFORMANCE.**

L'objectif de ce mémoire est de comparer les effets à court terme et à long terme des étirements sur la performance musculaire. Après avoir analysée la littérature concernant les effets à court terme, le même travail a été réalisé pour les effets à long terme. Ce travail a permis de ressortir différents éléments sur la performance musculaire.

### **6.1 Définition de l'expression « à long terme ».**

Dans ce travail, l'expression « à long terme » est utilisée dans le sens où les étirements sont réalisés de façon régulière. C'est-à-dire que dans les études analysées, les participants ont subi un programme de stretching de plusieurs semaines. Ainsi toutes les études de ce chapitre ne comprennent pas d'étirements durant l'échauffement afin de ne pas mélanger l'effet à court terme et à long terme. Par « long terme », on entend un programme de stretching d'une durée minimale de 2 semaines.

### **6.2 Effets sur la souplesse musculaire.**

Dans le chapitre précédent, les différents auteurs sont d'accord pour dire que les étirements ont une action immédiate sur la souplesse musculaire. Cependant, certaines études montrent un effet de courte durée après une séance de stretching. L'objectif de ce chapitre est donc de vérifier si un programme de stretching régulier permet de conserver cette augmentation d'amplitude vérifiée immédiatement après l'étirement.

Dans une étude récente de 2010, Sainz et Ayala ont étudié les effets d'un programme d'étirements sur la souplesse musculaire chez une population active de 173 personnes (122 hommes et 51 femmes) [38]. Le programme consistait en 12 semaines de stretching, 3 fois par semaine pendant 180 secondes. Les personnes étaient divisées en 6 groupes avec des paramètres différents (durée d'un étirement : 15,30 et 40s ; type d'étirement : actif ou passif) et un groupe témoin. L'étude a abouti à une augmentation significative de la souplesse pour tous les groupes (en moyenne de 15,14°) sauf le groupe contrôle. Cependant, aucune différence notable n'est faite entre les étirements actifs et passifs, et entre la durée d'un étirement.

Nelson et Kokkonen confirment le fait que les étirements réguliers augmentent la souplesse lors de deux études. En 2001, ils montrent une augmentation significative au sit-and-reach test après 10 semaines de stretching contrairement au groupe témoin (2 groupes de 16 personnes) [39]. En 2007, ils retrouvent des résultats identiques dans les mêmes conditions (3 fois par semaine pendant 40 minutes) [40]. Le résultat est similaire pour une autre étude d'Ylinen et Al avec des paramètres légèrement différents (6 étirements de 30 secondes une

fois par jour pendant 4 semaines) [41]. Cependant, ces trois études ne s'intéressent qu'aux étirements passifs et n'évoquent pas les autres types de stretching.

Ferraz et Al confirment ces résultats avec un stretching de type PNF [42]. Après seulement deux semaines de programme, elle retrouve une augmentation de la souplesse de plus de 10° pour une extension active de genou par rapport au groupe contrôle.

Les étirements balistiques vont également dans le même sens. C'est ce que montre une étude de DP. Laroche en 2006 qui retrouve une augmentation d'amplitude [43]. Cependant, il ne trouve pas de véritable différence entre le gain réalisé par des étirements statiques et le gain réalisé par des étirements balistiques.

DS Davis et Al ont quant à eux réalisé une étude permettant de comparer 3 types d'étirement (PNF de type contracter-relâcher en innervation réciproque, statique et actif) [44]. Après 4 semaines d'étirements, les auteurs décrivent une augmentation importante de la souplesse pour les 3 groupes de stretchings différents. Cependant, seuls les étirements passifs ont une différence significative avec le groupe témoin. Ils en déduisent donc que les étirements passifs sont les plus efficace en terme de gain d'amplitude à long terme.

En 2009, une étude anglaise s'est également intéressé à l'effet que peuvent avoir les étirements statiques et de type PNF sur la souplesse [45]. Or, les auteurs ne se sont pas concentré sur un gain d'amplitude comme dans les autres études, mais plutôt à examiner les changements d'amplitudes lors de la course après 5 semaines de stretching des ischio-jambiers. Ils ont ainsi démontré, à l'aide de caméras, une augmentation de la flexion de hanche, une légère diminution de l'extension de genou et une augmentation de la foulée pour les deux différents étirements. Ils concluent donc par le fait que les étirements réguliers modifient la mécanique de course des personnes. Cependant, ils n'évaluent aucun temps pour savoir si cela est bénéfique pour la performance. D'autres études seraient à mener afin de confirmer ce résultat et de montrer l'influence sur la performance.

Comme pour les effets à court terme, les auteurs sont d'accord pour dire que la souplesse musculaire est augmentée avec les étirements de tous types [38-45]. Cependant, sur le long terme, ils ne savent pas exactement lequel est le plus efficace. Pour les sportifs dont le sport nécessite de la souplesse, il sera donc conseillé de pratiquer régulièrement des étirements.

### 6.3 Effets sur la force musculaire.

Sur ce sujet, la littérature récente est beaucoup moins présente, ce qui montre qu'il existe encore une zone d'ombre sur cet effet des étirements. Alors que les auteurs tendent vers un consensus qui dit que les étirements à court terme diminueraient la force musculaire, qu'en est-il de leurs effets à long terme ?

Kokkonen et Nelson se sont intéressés à la force maximale et à l'endurance de force [40]. Dans leur étude de 2007, ils ont remarqué, après 10 semaines d'étirements statiques, 3 fois par semaine durant 40 minutes, une augmentation de la force maximale (1 RM) de 15,3%



pour la flexion de genou et 32,4% pour l'extension. Cependant, il n'explique pas exactement ces résultats. Il trouve aussi une endurance de force augmentée, c'est-à-dire que les participants étirés ont amélioré leur capacité à répéter les mouvements de flexion et d'extension à 60% de la résistance maximale (30,4% pour la flexion et 28,5% pour l'extension).

Dans une étude de 2009, des chercheurs taiwanais trouvent des résultats similaires concernant la force musculaire [46]. Ils ont démontré qu'à une vitesse de 60°/s, la force concentrique maximale était améliorée suite à 8 semaines de stretching que ce soit pour des étirements statiques ou de type PNF. Aucune différence significative n'a été faite entre les deux types de stretching. L'angle, à laquelle la force maximale a été atteinte, a également été modifié ce qui montre une corrélation entre l'angle, la longueur du muscle et la force. Les auteurs parlent d'une augmentation de sarcomères en séries qui pourrait être la raison de cette amélioration mais demandent d'autres études approfondies.

Des finlandais ont également produit un article en lien avec la force musculaire et cet angle [41]. Ils ont comparé les deux jambes de chaque participant (une jambe étirée et l'autre servant de contrôle). Ils trouvent des résultats similaires avec une augmentation de la force d'environ 19N et une modification de l'angle de force maximale. L'explication qu'ils donnent est semblable à celle des taiwanais mais reste assez floue.

Une étude réalisée chez des personnes âgées (67+/-9 ans) démontrent que les étirements actifs à long terme ne permettent pas une augmentation de la force musculaire [47]. Cependant, il faut faire attention à ce résultat car le groupe témoin qui ne s'est pas étiré montre une diminution de la force musculaire due à l'âge. Cette étude va donc en faveur d'un effet bénéfique des étirements actifs réguliers sur la force chez des personnes âgées.

F Higgs et SL Winter ont voulu voir si ces effets étaient similaires pour des étirements de type PNF [48]. Elles ont ainsi analysé la force du quadriceps après 4 semaines de stretching. Les résultats montrent que la force est identique avant et après le programme. Elles expliquent cela par le fait de réaliser un programme d'étirements moins intensif que les autres études (3 étirements de type PNF, 3fois par semaine). L'article de DP Laroche confirme également ce résultat [49]. Il montre, lui aussi, aucune différence significative au niveau de la force musculaire après 4 semaines de stretching balistiques ou statiques.

Selon les articles étudiés, les auteurs sont en accord pour dire que les étirements réguliers n'ont pas d'effets néfastes sur la force musculaire [40,41,46-49], contrairement aux étirements réalisés avant l'activité physique. Cependant, certains auteurs ne décrivent aucune amélioration [47-49] alors que d'autres montrent une augmentation de la force [40-41-46] et un déplacement de l'angle de force maximale. Ainsi, les différents auteurs sont à la recherche de réponses et l'hypothèse concernant une augmentation du nombre de sarcomères est évoquée plusieurs fois. Chez un sportif, qui pratique un sport nécessitant une force importante, il peut être intéressant de suivre un programme de stretching de plusieurs semaines, sans que les résultats ne soient certains.

#### 6.4 Effets sur la puissance musculaire.

Les effets des étirements à court terme ont tendance à être néfaste pour la puissance musculaire. Cependant, ces effets ne sont pas toujours identiques à court ou long terme comme c'est le cas avec la force musculaire. L'analyse de 4 articles d'auteurs différents va donc permettre d'en ressortir les principales informations.

Selon une étude de Bazett-Jones, un programme de 6 semaines n'améliore pas la puissance musculaire [50]. Il utilise le saut vertical et un sprint de 55 mètres afin de démontrer ces résultats. Aucune différence significative n'est trouvée entre le groupe ayant réalisé le programme et le groupe contrôle. De plus, il ne trouve aucune différence de longueur, entre les deux groupes, du muscle étiré (résultat contraire aux autres auteurs). Il explique cela par le fait que son étude est réalisée sur des athlètes de compétition et que les étirements ont été réalisés uniquement sur un seul muscle.

Hall et Al sont du même avis que l'étude précédente, car il ne trouve aucun effet suite à un programme de stretching statique de 6 semaines sur le saut vertical [51]. Cette étude reste discutable car seuls les gastrocnémiens ont été étirés.

Les résultats d'une étude turque de 2009, trouve des résultats similaires aux deux autres. Ils sont vérifiés que ce soit pour des étirements statiques comme pour des étirements de type PNF [52].

Kokkonen et Nelson étudient eux 3 performances sportives utilisant une puissance musculaire importante : le saut vertical, le saut en longueur, et le sprint sur 20 mètres [40]. Ces auteurs n'étirent pas qu'un seul muscle mais tous les principaux muscles du membre inférieur. Les 3 résultats montrent une augmentation de la puissance musculaire après un programme de 10 semaines d'étirements statiques (+2,3% saut en longueur, +6,7% saut vertical, -1,3% temps du sprint).

La littérature récente étant très maigre sur ce chapitre, seulement quatre articles trouvés ont correspondu aux critères [40,50-52]. De plus, de réelles conclusions sont difficiles à réaliser car certaines études ne se concentrent que sur un muscle [50,51] alors qu'elles mesurent une performance sportive qui requiert plusieurs muscles. Par exemple, Hall et Al [51] étudient le saut vertical après un programme de stretching uniquement réservé aux gastrocnémiens. Les résultats sont donc moins significatifs que s'ils avaient étirés les quadriceps et ischio-jambiers qui jouent un rôle dans le saut vertical. Malgré cela, aucun effet néfaste ne ressort de ces différentes études. Ainsi pour une personne réalisant une activité physique avec de la puissance, il peut être judicieux de réaliser un programme d'étirement sur le long terme afin d'optimiser les capacités du muscle.

Pour résumer cette partie, les effets à long terme des étirements sont beaucoup moins étudiés car les expériences sont plus difficiles à réaliser (protocole plus long, autres paramètres influençant). Cependant, les auteurs ne sont pas tous en accord. Les informations qui en ressortent sont un effet positif sur la souplesse musculaire et un effet neutre voir positif

sur la force et la puissance musculaire. Mais des études complémentaires sont nécessaires pour approfondir ce sujet.

## **7. DISCUSSION.**

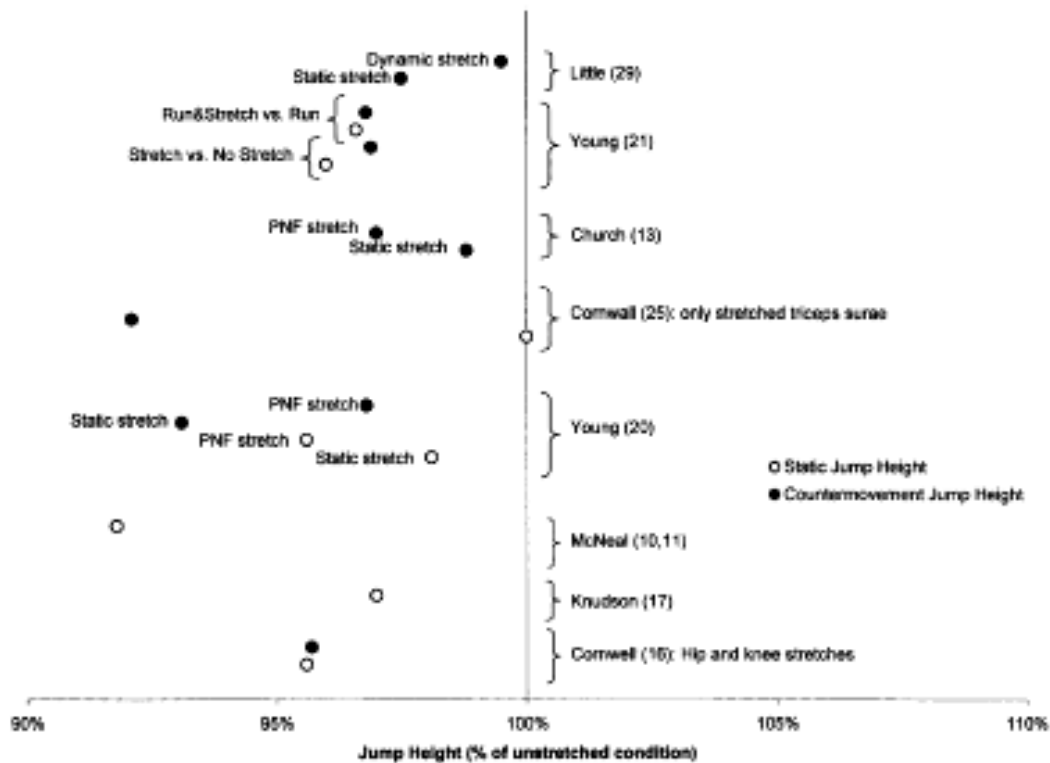
Les étirements prennent une place importante dans la panoplie du sportif. A l'échauffement ou pendant des semaines d'entraînement, ils sont pratiqués de différentes façons, sans réelles preuves fondées. Or, de nos jours, la pratique et la théorie sont parfois en contradiction. Cette analyse de la littérature a permis d'en ressortir différentes informations qui peuvent guider dans la préparation d'un sportif pour réaliser une performance.

Ainsi, la revue de littérature écrite par Kay et Blazeovich [53] confirme les résultats obtenus avec les articles analysés précédemment. Après l'analyse de 106 études, ils retrouvent une diminution de la force et de la puissance dans 55% des cas immédiatement après des étirements statiques. Ils vont plus loin dans la recherche car ils remarquent que les études qui utilisent un stretching supérieur à 60 secondes ont un effet beaucoup plus néfaste pour la force et la puissance musculaire. A contrario, seulement 20% des études montrent une diminution de ces deux paramètres avec des étirements inférieurs à 45 secondes. Cependant, il ne faut pas tirer de conclusion trop générale sur ces informations car cette revue ne concerne que les étirements statiques.

Shrier concluent de la même manière son analyse de littérature sur les effets à court terme des étirements [54]. Ils trouvent une réduction de la force et de la puissance dans 20 articles sur 23 étudiés (figure 20). Cette conclusion ne se vérifie pas seulement aux étirements statiques car il inclut tous les types de stretching. La population étudiée est également très variable selon les articles (jeunes/adultes, sportifs entraînés/sportifs amateurs, hommes/femmes).

En ce qui concerne les étirements réguliers, les résultats sont similaires à ceux retrouvés dans ce mémoire. Sur 9 articles, 7 montrent que les étirements réguliers augmentent les performances analytiques du muscle. Shrier ne mentionne aucune étude relatant un quelconque effet négatif des étirements réguliers.

Une autre revue de littérature confirme les informations citées auparavant [55]. Rubini et Al, retrouvent des effets à court terme néfastes sur la puissance et la force musculaire dans 23 études et aucune ne décrit une amélioration. Pour ce qui est des étirements réguliers, l'auteur ne se prononce pas tellement, à cause d'un nombre insuffisant d'études. Cependant, ils citent deux études améliorant la force musculaire.



**Figure 20** : résultats des études sur l'effet à court terme des étirements sur la taille du saut selon Shrier [54]

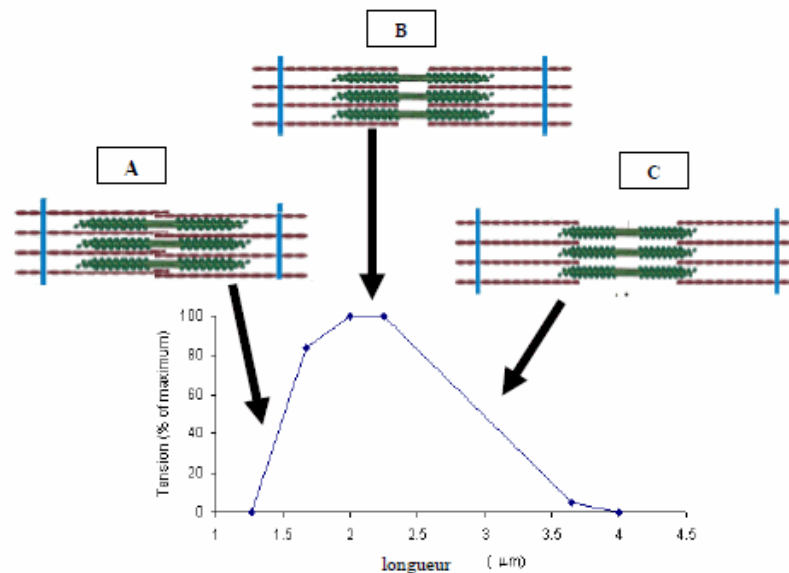
Les conclusions étant en partie identiques aux autres revues, il est maintenant intéressant de voir quels sont les mécanismes qui peuvent induire de tels résultats. Les réponses qui vont être décrites par la suite restent des hypothèses car pour la plupart elles ne sont pas vérifiées par un nombre suffisant d'études.

En ce qui concerne l'augmentation de l'amplitude, elle est en grande partie expliquée dans le chapitre concernant la physiologie des étirements. A cela, la notion de « stretch-tolerance » peut s'ajouter [13] [16]. C'est-à-dire qu'un individu s'habitue à l'étirement (la douleur apparaît moins rapidement). Les chercheurs ne savent pas réellement encore l'origine de cette tolérance mais suppose une implication du système nerveux central ou des processus périphériques.

Une autre notion entre également en jeu, celle d'une possible augmentation des sarcomères en série. Plusieurs études l'évoquent [41] [46] [13]. Cette augmentation permettrait donc un allongement musculaire.

La force musculaire est diminuée après un stretching à court terme. Selon certains auteurs, cette réduction de la force peut parfois durer pendant une heure [16] [56] [57]. Un influx de calcium extracellulaire peut être la cause de problèmes mécaniques et nerveux [14]. La longueur des sarcomères est aussi impliquée dans cette perte de force. Le niveau de force déployé par un sarcomère dépend du chevauchement actine-myosine et donc de sa longueur [13]. Un muscle s'adapte afin de développer une force maximale dans la longueur qu'il est le

plus sollicité. Ainsi lorsqu'un muscle est étiré il sort de sa longueur « de prédilection » et donc il se peut que la force développée soit d'intensité plus faible [13] (Figure 21).



**Figure 21** : courbe tension-longueur du sarcomère selon Cometti [13]

Concernant la diminution de la puissance, Prévost note l'influence de la vitesse [57]. Selon lui, l'effet néfaste des étirements est plus conséquent lorsque les mouvements sont effectués avec une vitesse lente. Par contre les mouvements à vitesse rapide, les effets des étirements seraient moins significatifs. Dans beaucoup d'études, les auteurs utilisent la performance sportive en saut ou en sprint pour donner une indication sur la puissance musculaire. Or, Samuel montre une diminution de la puissance sans diminution de la performance en saut [35]. Cela signifie que d'autres paramètres peuvent entrer en jeu lors de cet exercice. Il ne faut donc pas faire de lien trop rapide entre la performance en saut ou en sprint et la puissance musculaire [14].

Les effets à long terme des étirements ont beaucoup moins été étudiés. Cependant, certains auteurs donnent quelques débuts de réponse qui demandent à être approfondis par d'autres études. Rubini et Al et Shrier parlent d'une hypertrophie du muscle suite à un programme de stretching [54] [55]. Cette hypothèse a été vérifiée chez des animaux mais pas encore chez les Hommes. Selon Barrué-Belou, les structures élastiques auraient une plus grande facilité à emmagasiner de l'énergie suite à plusieurs semaines de stretching [14] et donc à restituer cette énergie lors des mouvements [57]. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les étirements entraîneraient un stimulus permettant une meilleure synthèse protéique.

Toutes ces adaptations suite aux étirements restent cependant à être confirmées. A cela, le facteur psychologique peut s'ajouter. Un sentiment de « bien-être », de « légèreté » peuvent être perçus par l'individu. Ce facteur peut également avoir un rôle sur la performance.

## 8. CONCLUSION.

Lors de la pratique des étirements, de nombreux paramètres peuvent varier. Il est donc difficile de tirer des conclusions trop générales suite à une étude. Malgré beaucoup de progrès dans la recherche sur ce sujet, quelques points restent assez flous. Cependant, la pratique et la littérature actuelle paraissent en légère contradiction.

Aucune étude ne montre un quelconque effet bénéfique des étirements réalisés lors de l'échauffement (à court terme) sur la performance sportive, que ce soit pour la force ou la puissance musculaire. Seule la souplesse musculaire du pratiquant est améliorée suite au stretching.

En ce qui concerne le long terme, les étirements auraient une efficacité plus intéressante. Les auteurs ne sont pas totalement en accord, mais l'idée principale irait vers une amélioration de la souplesse, de la force et de la puissance musculaire. Malgré ces résultats, d'autres études seraient intéressantes afin d'en savoir un peu plus sur ce sujet, notamment sur les modalités d'étirement (temps, durée, nombres de répétitions, type d'étirements...).

Le but de ce mémoire n'est pas d'être pour ou contre les étirements mais de permettre de connaître un peu mieux l'effet des étirements sur la performance. Cela peut alors permettre de mieux conseiller les sportifs dans l'approche de leur compétition ou durant leur échauffement. Ainsi chaque sportif doit s'adapter en fonction de sa morphologie, de son sport pratiqué, de son ressenti.

Il peut être intéressant pour les sportifs de trouver d'autres moyens permettant une amélioration de la performance afin de compléter l'effet des étirements. Ainsi des outils comme le travail excentrique ou même la cryothérapie peuvent être intéressants pour apporter un complément.

## 9. BIBLIOGRAPHIE.

[1] Bellaud E. Les étirements musculaires : résultats d'une enquête de pratique auprès des étudiants de licence 1 en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives. *Kinésithérapie la revue*. 2006, 53, 19-23.

[2] Herbert RD, De Noronha M, Kamper SJ. Stretching to prevent or reduce muscle soreness after exercise (review). *Cochrane database of systematic reviews*. 2011. 7, Art N° CD004577.

[3] Maquaire P. Les étirements : une approche de l'amélioration de la mobilité, la souplesse par les étirements. Accessible sur : [http://www.jka-bsk.org/res/site2225/res9187\\_LES-ETIREMENTS--M-thodes-et-effets-int-r-ts-et-limites.pdf](http://www.jka-bsk.org/res/site2225/res9187_LES-ETIREMENTS--M-thodes-et-effets-int-r-ts-et-limites.pdf)

[4] Robert P, Rey-Debove J, Rey A. Le nouveau petit robert dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française. Nouv. Ed. du Petit Robert. Paris : Dictionnaire le Robert. 2006.

[5] Geoffroy C. Guide pratique des étirements, 150 exercices pour être en forme. 5<sup>ème</sup> édition. Ed Geoffroy 2008, 57-273

[6] Nelson AG, Kokkonen J, Stretching anatomy. *Human Kinetics*. 2007. VI.

[7] Bandy WD, Irion JM, Briggler M. The effect of time and frequency of static stretching on flexibility of the hamstring muscles. *Physical Therapy*, 1997, 77 1090-1096.

[8] Saint-Blanquat C, Vernet M. Les étirements en pratique sportive, Edition Chiron. 1996.

[9] Dellal A. De l'entraînement à la performance en football. Edition De Boeck. 2008, 93-97.

[10] Popineau C, Fernandes C. Méthodes d'étirements et kinésithérapie. Accessible sur : <http://www.frma.ma/medecine-du-sport/kinesitherapiesport-/doc/152/raw>

[11] Bohbot G. Stretching pour tous - exercices, enchainements et séances. Editions emphora. 2008.

[12] Viel E, Esnault M. Stretching : étirements par chaînes musculaires illustrées. 2<sup>ème</sup> édition. Ed Masson. 2002.

[13] Cometti G. Les limites du stretching pour la performance sportive. 2<sup>ème</sup> partie : les effets physiologiques des étirements. Accessible sur : <http://preparationphysique.net/download/stretchingdebut.pdf>.

[14] Barrué-belou S. Les étirements du sportif : revue de littérature et perspectives de recherche. *Kinésithérapie Scientifique*. Juin 2010. 511, 31-44.

[15] Butler DL et Al. Biomechanics of ligaments and tendons. *Exercise Sports Sciences Reviews* 1978. 6, 125-81.

[16] Cometti G. Les limites du stretching pour la performance sportive. 1<sup>ère</sup> partie : intérêt des étirements avant et après la performance. Accessible sur : <http://entrainement-sportif.fr/stretchingfin.pdf>.

[17] Barash IA et Al. Desmin cytoskeletal modifications after bout of eccentric exercise in the rat. *American journal of physiology regulatory integrative and comparative physiology*. 2002. 283, 958-963.

- [18] Billat V. Physiologie et méthodologie de l'entraînement, de la théorie à la pratique. 2<sup>ème</sup> édition. Ed De Boeck. 2003, 7-45
- [19] Prévost P. La souplesse. Accessible sur : <http://prevost.pascal.free.fr/public/pdf/Souplesse.pdf>
- [20] Marek M, Cramer JT, Fincher AL et Al. Acute Effects of Static and Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretching on Muscle Strength and Power Output. *Journal of Athletic Training*. Avril-juin 2005. 40(2), 94-103.
- [21] Nelson AG, Kokkonen J, Arnall DA. Acute muscle stretching inhibits muscle strength endurance performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2005. 19(2), 338-343.
- [22] Behm DG, Bradbury EE, Haynes AT et Al. Flexibility is not related to stretch-induced deficits in force or power. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2006. 5, 33-42.
- [23] Bacurau RFP, Monteiro GA, Ugrinowitsch C et Al. Acute effect of a ballistic and a static stretching exercise bout on flexibility and maximal strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2009. 23(1), 304-308.
- [24] DePino GM, Webright WG, Arnold BL. Duration of maintained hamstring flexibility after cessation of an acute static stretching protocol. *Journal of Athletic Training*. 2000. 35(1), 56-59.
- [25] Spernoga SG, Uhl TL, Arnold BL et Al. Duration of maintained hamstring flexibility after a one-time, modified hold-relax stretching protocol. *Journal of Athletic Training*. 2001. 36(1), 44-48.
- [26] Pasquet G, Potier P, Robert P, et Al. Echauffement du sportif : comment préparer l'organisme à un effort. Editions Amphora, Juin 2004. 24-27.
- [27] Cramer JT, Housh TJ, Johnson GO et Al. Acute effects of static stretching on peak torque in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2004. 18(2), 236-241.
- [28] Evetovich TK, Nauman NJ, Conley DS. Effect of static stretching of the biceps brachii on torque, electromyography, and mechanomyography during concentric isokinetic muscle actions. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2003. 17(3), 484-488.
- [29] Nelson AG, Kokkonen J, Eldredge C. Strength inhibition following an acute stretch is not limited to novice stretchers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 2005. 76(4), 500-506.
- [30] Nelson AG, Kokkonen J. Acute ballistic muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 2001. 72(4), 415-419.
- [31] Wilmore JH, Costill DL, Larry Kenney W. Physiologie du sport et de l'exercice. Editions De Broeck 4<sup>ème</sup> Ed. 2009, 181-183.
- [32] Franco BL, Signorelli GR, Trajano GS et Al. Acute effects of three different stretching protocols on the wingate test performance. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2012. 11, 1-7.
- [33] Nelson AG, Driscoll NM, Landin DK et Al. Acute effects of passive muscle stretching on sprint performance. *Journal of Sports Sciences*. 2005. 23(5), 449-454.
- [34] Kees N. Effects of dynamic and static stretching on explosive agility activity. 2007. Accessible sur :



dspace.calstate.edu/bitstream/handle/2148/195/NathanKees\_%20PDF\_Thesis.pdf?sequence=1

[35] Samuel MN, Holcomb WR, Guadagnoli MA et Al. Acute effects of static and ballistic stretching on measures of strength and power. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2008. 22(5), 1422-1428.

[36] Carvalho FLP, Prati JELR, Carvalho MCGA et Al. Acute effects of static and Proprioceptive Neuromuscular Facilitation stretching on the performance of vertical jump in adolescent tennis players. *Fitness and Performance Journal*. 2009. 8(4), 264-268.

[37] Bradley PS, Olsen PD, Portas MD. The effect of static, ballistic and Proprioceptive Neuromuscular Facilitation stretching on vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2007. 21(1), 223-226.

[38] Sainz de Baranda P, Ayala F. Chronic flexibility improvement after 12 week of stretching program utilizing the ACSM recommendations hamstring flexibility. *International Journal of Sports Medicine*. 2010. 31(6), 389-396.

[39] Nelson AG, Kokkonen J, Eldredge C et Al. Chronic stretching and running economy. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 2001. 11, 260-265.

[40] Nelson AG, Kokkonen J, Eldredge C et Al. Chronic static stretching improves exercise performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2007. 39(10), 1825-1831.

[41] Ylinen J, Kankainen T, Kautiainen H et Al. Effect of stretching on hamstring muscle compliance. *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2009. 41, 80-84.

[42] Ferraz NVA, De Oliveira DAAP, De Oliveira RF et Al. Influence of stretching hamstrings and calf muscles on active knee extension. *Revista terapia manual, fisioterapia manipulativa*. 2010. 8(39), 377-381

[43] Laroche DP, Connolly DAJ, Effects of stretching on passive muscle tension and response to eccentric exercise. *American Journal of Sports Medicine*. 2006. 34(6), 1000-1006.

[44] Davis DS, Ashby PE, McCale KL, et Al. The effectiveness of 3 stretching techniques on hamstring flexibility using consistent stretching parameters. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2005. 19(1), 27-32.

[45] Caplan N, Rogers R, Parr MK et Al. The effect of proprioceptive Neuromuscular facilitation and static stretching training on running mechanics. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2009. 23(4), 1175-1180.

[46] Chen CH, Chen TC, Chen HL et Al. Effects of 8-week static stretch and PNF training on the angle-torque relationship. *Journal of Medical and Biological Engineering*. 2009. 29(4), 196-201.

[47] Gallon D, Rodacki ALF, Hernandez SG et Al. The effects of stretching on the flexibility, muscle performance and functionality of institutionalized older women. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 2011. 44(3), 229-235.

[48] Higgs F, Winter SL. The effect of a four-week Proprioceptive Neuromuscular Facilitation stretching program on isokinetic torque production. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2009. 23(5), 1442-1447.

[49] Laroche DP, Lussier MV, Roy SJ. Chronic stretching and voluntary muscle force. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2008. 22(2), 589-596.

[50] Bazett-Jones DM, Gibson MH, McBride JM. Sprint and vertical jump performances are not affected by six weeks of static hamstring stretching. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2008. 22(1), 25-31.

[51] Hall AC, Russell AM, Sharp JA. Ankle range of motion and vertical jump height are not affected by six weeks of static gastrocnemius stretching. *Proceedings of the 6th Annual GRASP Symposium*. 2012. 115-116.

[52] Yuktasir B, Kaya F. Investigation into the long-term effects of static and PNF stretching exercises on range of motion and jump performance. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2009. 13(1) 11-21.

[53] Kay AD, Blazevich AJ. Effect of acute static stretch on maximal muscle performance : a systematic review. *Medicine of Science in Sports and Exercise*. 2012. 44(1), 154-164.

[54] Shrier I. Does stretching improve performance ? A systematic and critical review of the littérature. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2004. 14, 267-273.

[55] Rubini EC, Costa ALL, Gomes PSC. The effect of stretching on strength performance. *Sports Medicine*. 2007. 37(3), 213-224.

[56] Gremion G. Importance du stretching dans la pratique sportive. Le stretching a-t-il sa raison d'être. Analyse critique sur la pratique des exercices d'étirement. Accessible sur : [http://bernard.lefort.pagesperso-orange.fr/documents\\_captures/stretching\\_analyse\\_critique\\_Gremion.pdf](http://bernard.lefort.pagesperso-orange.fr/documents_captures/stretching_analyse_critique_Gremion.pdf)

[57] Prevost P. Etirement et performance sportive : une mise à jour. *Kinésithérapie scientifique*. 2004. 446.

## **Autres sources bibliographiques :**

Figure 18 :

<http://www.google.fr/imgres?q=sit+and+reach&safe=off&sa=X&hl=fr&biw=1600&bih=805&tbn=isch&tbnid=KPdS7ICFbuyVcM:&imgrefurl=http://mycountdown2forty.blogspot.com/2013/02/the-results-are-in.html&docid=CkkPPg67KdYjGM&imgurl=http://3.bp.blogspot.com/-MIISCFGiDlk/URN09wa-3sI/AAAAAAAAAGBw/TvZxcqdbFn0/s1600/01sitreach.jpg&w=1205&h=1280&ei=XHVtUbO9EYe4O-PCgPAK&zoom=1&iact=hc&vpx=855&vpy=107&dur=1695&hovh=231&hovw=218&tx=133&ty=154&page=1&tbnh=141&tbnw=133&start=0&ndsp=41&ved=1t:429,r:4,s:0,i:94>

Figure 19 :

[http://www.google.fr/imgres?imgurl=http://training.fitness.com/attachments/articles-research/3754d1251370373-illinois-agility-test-illinois\\_diagram.gif&imgrefurl=http://training.fitness.com/articles-research/illinois-agility-test-42155.html&h=328&w=408&sz=7&tbnid=dwAkV8xXEjyMPM:&tbnh=90&tbnw=112&prev=/search%3Fq%3Dillinois%2Bagility%2Btest%26tbn%3Disch%26tbo%3Du&zoom=1&q=illinois+agility+test&usg=\\_\\_05Ecr0U5I11WJUzw0S6vPpYLdKM=&docid=8lOHUGFh37\\_K3M&hl=fr&sa=X&ei=s3RtUZ6NPIHeOZqSgbAK&sqi=2&ved=0CDgQ9QEwAw&dur=1](http://www.google.fr/imgres?imgurl=http://training.fitness.com/attachments/articles-research/3754d1251370373-illinois-agility-test-illinois_diagram.gif&imgrefurl=http://training.fitness.com/articles-research/illinois-agility-test-42155.html&h=328&w=408&sz=7&tbnid=dwAkV8xXEjyMPM:&tbnh=90&tbnw=112&prev=/search%3Fq%3Dillinois%2Bagility%2Btest%26tbn%3Disch%26tbo%3Du&zoom=1&q=illinois+agility+test&usg=__05Ecr0U5I11WJUzw0S6vPpYLdKM=&docid=8lOHUGFh37_K3M&hl=fr&sa=X&ei=s3RtUZ6NPIHeOZqSgbAK&sqi=2&ved=0CDgQ9QEwAw&dur=1)

## 10. ANNEXES.

Auteur /Article	Année	Population	Type d'étirements	Durée étirements	Résultats
<b>Marek M, et Al.</b> Acute Effects of Static and PNF Stretching on Muscle Strength and Power Output.	2005	10 femmes (23+/-3ans) 9 hommes (21+/-3ans) sportifs amateurs	statiques (S) et de type PNF (PNF)	4 étirements de 30s répétés 4x	<b>PNF</b> : amplitude active ↑ et passive ↑ <b>S</b> : active ↑ et passive ↑
<b>Nelson AG et Al.</b> Acute muscle stretching inhibits muscle strength endurance performance.	2005	11 hommes (25+/-4ans) 11 femmes (21+/-2ans)	statiques	15 minutes	<b>S</b> : sit-and-reach ↑
<b>Behm et Al.</b> Flexibility is not related to stretch-induced deficits in force or power.	2006	9 hommes et 9 femmes (25+/-8,3ans)	statiques	3étirements de 30s par muscles	<b>S</b> : amplitude passive ↑
<b>Bacurau RFP et Al.</b> Acute effect of a ballistic and a static stretching exercise bout on flexibility and maximal strength.	2009	14 femmes sportives (23+/-3,6ans)	statiques et balistiques (B)	S : 6 étirements de 30s répétés 3x B : idem	<b>S</b> : amplitude passive ↑ <b>B</b> : passive ↑ <b>S&gt;B</b>
<b>DePino GM et Al.</b> Duration of maintained hamstring flexibility after cessation of an acute static stretching protocol.	2000	30 hommes (18+/-0,6ans) militaires	PNF	5étirements de 28s	↑ de l'amplitude durant 6 minutes
<b>Spernoga SG et Al.</b> Duration of maintained hamstring flexibility after a one-time, modified hold-relax stretching protocol.	2001	30 hommes (19+/-5,1ans)	statiques	4 étirements de 30s	↑ de l'amplitude durant 3 minutes

**Annexe 1** : tableau récapitulatif des études sélectionnées sur l'effet à court terme des étirements sur la souplesse musculaire.

**Légende** : S : étirements statiques    B : étirements balistiques    PNF : étirements de type PNF  
D : étirements dynamiques  
↑ : augmentation    ↓ : diminution    = : aucun effet

Auteur /Article	Année	Population	Type d'étirements	Durée étirements	Résultats
<b>Marek M, et Al.</b> Acute Effects of Static and PNF Stretching on Muscle Strength and Power Output.	2005	10 femmes (23+/-3ans) 9 hommes (21+/-3ans) sportifs amateurs	statiques (S) et de type PNF (PNF)	4 étirements de 30s répétés 4x	<b>PNF et S</b> :Force de flexion du genou ↓
<b>Behm et Al.</b> Flexibility is not related to stretch-induced deficits in force or power.	2006	9 hommes et 9 femmes (25+/-8,3ans)	Statiques	3étirements de 30s par muscles	Force concentrique de l'extension et flexion de genou↓
<b>Bacurau RFP et Al.</b> Acute effect of a ballistic and a static stretching exercise bout on flexibility and maximal strength.	2009	14 femmes sportives (23+/-3,6ans)	Statiques (S) et balistiques (B)	S : 6 étirements de 30s répétés 3x B : idem	<b>B</b> : force maximale = <b>S</b> : force maximale ↓
<b>Cramer JT et Al.</b> Acute effects of static stretching on peak torque in women.	2004	14 femmes (22+/- 1ans) sportives amateurs	Statiques	4 étirements de 30s répétés 4x	Force ↓
<b>Evetovich TK et AL.</b> Effect of static stretching of the biceps brachii on torque, EMG, and MMG during concentric isokinetic muscle actions.	2003	10 hommes et 8 femmes (22,7 +/-2,8ans)	Statiques	3 étirements de 30s répétés 4x	Force ↓
<b>Nelson AG et Al.</b> Strength inhibition following an acute stretch is not limited to novice stretchers	2005	18 femmes (22+/-1ans) et 13 hommes (23+/-1ans) en école de sport	Statiques	5 étirements de 15s répétés 6x	1 RM flexion de genou↓ 1 RM extension de genou↓
<b>Nelson AG et Al.</b> Acute ballistic muscle stretching inhibits maximal strength performance.	2001	15 femmes et 15 hommes (22+/-5ans) en école de sport	Balistiques	5 étirements	1 RM flexion de genou↓ 1 RM extension de genou↓

**Annexe 2** : tableau récapitulatif des études sélectionnées sur l'effet à court terme des étirements sur la force musculaire.

<b>Franco BL et Al.</b> Acute effects of three different stretching protocols on the wingate test performance	2012	15 hommes actifs (25+/-3,3 ans)	Statiques, Dynamiques et PNF	S : 3×30s D : 3×5 répétitions lentes et 3×10 rapides PNF : 3× jusqu'à la tolérance maximale	S, D et PNF : puissance moyenne↓ Puissance maximale↓
<b>Nelson AG et Al.</b> Acute effects of passive muscle stretching on sprint performance.	2005	11 hommes et 5 femmes	Statiques	4 étirements de 30s par muscles	temps de sprint ↑
<b>Kees N.</b> Effects of dynamic and static stretching on explosive agility activity.	2007	19 footballeuses professionnelles	Statiques et Dynamiques	5 étirements de 30s	Illinois Agility Test ↓
<b>Samuel MN et Al.</b> Acute effects of static and ballistic stretching on measures of strength and power.	2008	12 hommes et 12 femmes (22+/-2,8 ans)	Statiques et Balistiques	3 étirements de 30s	S et B : puissance↓ Saut vertical : =
<b>Carvalho FLP et Al.</b> Acute effects of static and PNF stretching on the performance of vertical jump in adolescent tennis players.	2009	9 joueurs de tennis de 14,4 ans de moyenne	Statiques et PNF	5 étirements de 15s répétés 3×	S et PNF : saut vertical =
<b>Bradley PS et Al.</b> The effect of static, ballistic and PNF stretching on vertical jump performance.	2007	18 hommes (24,4+/-3,2 ans)	Statiques, Balistiques et PNF	Etirements de 30s répétés 4× pendant 10 minutes	S, B et PNF : saut vertical ↓

**Annexe 3** : tableau récapitulatif des études sélectionnées sur l'effet à court terme des étirements sur la puissance musculaire.

<b>Auteur /Article</b>	<b>Année</b>	<b>Population</b>	<b>Type d'étirements</b>	<b>Durée étirements</b>	<b>Résultats</b>
<b>Sainz et Al.</b> Chronic flexibility improvement after 12 week of stretching program utilizing the ACSM recommendations hamstring flexibility.	2010	122 hommes et 51 femmes (21+/-2 ans) sportifs amateurs	Statiques ou Dynamiques	180s de stretching 3×/sem pendant 12 sem	S et D : Flexion de hanche ↑
<b>Nelson AG et Al.</b> Chronic stretching and running economy.	2001	16 hommes et 16 femmes lycéens	Statiques	15 stretchings de 15s, 3×/sem pendant 10 sem	Sit-and-reach ↑
<b>Nelson AG et Al.</b> Chronic static stretching improves exercise performance.	2007	16 hommes et 22 femmes	Statiques	40 min 3×/sem pendant 10 sem	Sit-and-reach ↑
<b>Ylinen J et Al.</b> Effect of stretching on hamstring muscle compliance.	2009	12 hommes en bonne santé	Statiques	6 stretchings de 30s, 1×/j pendant 4 sem	Flexion de hanche ↑
<b>Ferraz NVA et Al.</b> Influence of stretching hamstrings and calf muscles on active knee extension.	2010	24 participants en bonne santé	PNF	1 stretching de 30s, 5×/sem pendant 2 sem	Extensibilité ischio-jambiers et triceps ↑
<b>Laroche DP et Al</b> Effects of stretching on passive muscle tension and response to eccentric exercise.	2006	29 hommes en bonne santé	Statiques et Balistiques	180s de stretching 5×/sem pendant 4sem	S et B : Flexion de hanche ↑
<b>Davis DS et Al.</b> The effectiveness of 3 stretching techniques on hamstring flexibility using consistent stretching parameters.	2005	19 participants (23,1+/-1,5 ans)	Dynamiques, Statiques et PNF	1 stretching de 30s 3×/sem pendant 4 sem	D, S et PNF : longueur ischio-jambiers ↑ S > A et PNF
<b>7Caplan N et Al.</b> The effect of PNF and static stretching training on running mechanics.	2009	18 rugbymen	Statiques et PNF	3 stretchings de 10s, 4×/sem pdt 5 sem	Flexion hanche ↑ Extension genou ↑ Longueur du pas ↑

**Annexe 4** : tableau récapitulatif des études sélectionnées sur l'effet à long terme des étirements sur la souplesse musculaire.

Auteur /Article	Année	Population	Type d'étirements	Durée étirements	Résultats
<b>Nelson AG et Al.</b> Chronic static stretching improves exercise performance.	2007	16 hommes et 22 femmes	Statiques	40 min 3×/sem pdt 10 sem	1 RM ↑ Endurance de force ↑
<b>Ylinen J et Al.</b> Effect of stretching on hamstring muscle compliance.	2009	12 hommes en bonne santé	Statiques	6 stretchings de 30s, 1×/j pdt 4sem	Force ↑
<b>Chen CH et Al.</b> Effects of 8-week static stretch and PNF training on the angle-torque relationship.	2009	30 hommes en bonne santé (22+/-2 ans)	Statiques et PNF	5 stretchings de 30s, 3×/sem pdt 8 sem	S : force ↑ PNF : force ↑
<b>Gallon D et Al.</b> The effects of stretching on the flexibility, muscle performance and functionality of institutionalized older women.	2011	17 femmes (67+/-9 ans)	Actifs	4 stretchings de 1min, 3×/sem pdt 8 sem	Force =
<b>Higgs F et Al</b> The effect of a four-week PNF stretching program on isokinetic torque production.	2009	9 femmes sportives (20+/- 1ans)	PNF	3 stretchings de 25s, 3×/sem pdt 4 sem	Force =
<b>Laroche DP et Al.</b> Chronic stretching and voluntary muscle force.	2008	29 hommes de 18 à 60 ans	Statiques et balistiques	10 stretchings de 30s, 3×/sem pdt 4sem	S : force = B : force =

**Annexe 5** : tableau récapitulatif des études sélectionnées sur l'effet à long terme des étirements sur la force musculaire.

Auteur /Article	Année	Population	Type d'étirements	Durée étirements	Résultats
<b>Nelson AG et Al.</b> Chronic static stretching improves exercise performance.	2007	16 hommes et 22 femmes	Statiques	40 min 3×/sem pendant 10 sem	Saut- vertical ↑ - en longueur ↑ Sprint ↑
<b>Bazett-Jones DM</b> Sprint and vertical jump performances are not affected by 6 weeks of static hamstring stretching.	2008	21 femmes athlètes	Statiques	4 stretchings de 45s, 4×/sem pendant 6 sem	Saut vertical = Sprint =
<b>Hall AC et Al.</b> Ankle ROM and vertical jump height are not affected by 6-weeks of static gastrocnemius stretching.	2012	16 femmes et 9 hommes (22,6+/- 1,8ans)	Statiques	5×4 stretchings de 30s, 5×/sem pendant 6 sem	Saut vertical =
<b>Yuktasir B et Al.</b> Investigation into the long-term effects of static and PNF stretching exercises on ROM and jump performance	2009	28 hommes en école de sport (21,8+/- 1,9ans)	Statiques et PNF	4 stretchings de 30s, 4×/sem pendant 6 sem	PNF : Saut = S : Saut =

**Annexe 6** : tableau récapitulatif des études sélectionnées sur l'effet à long terme des étirements sur la puissance musculaire.



