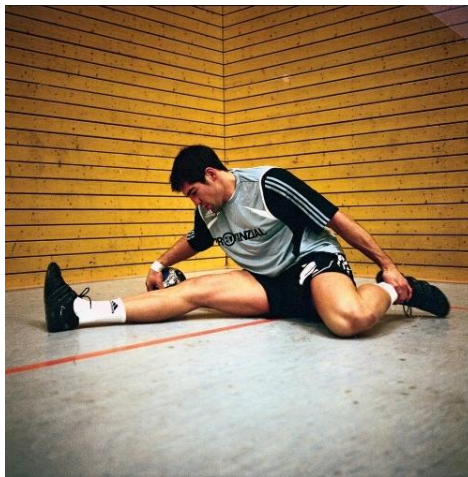


**Institut Régional de Formation aux métiers de
Rééducation et de Réadaptation des Pays de Loire**
54, rue de la Baugerie
44230 St Sébastien Sur Loire

**Analyse à l'aide d'une revue de littérature de l'effet
préventif des étirements passifs sur les blessures et
les courbatures du sportif**



ABGRALL Chloé

Année 2011/2012

REGION DES PAYS DE LA LOIRE

Sommaire

1	Introduction	1
2	Les étirements	2
2.1	Définition	2
2.2	Les différents types d'étirement.....	2
2.2.1	Les étirements passifs	3
2.2.2	Les étirements activo-dynamiques	3
2.2.3	Les étirements ballistiques.....	4
2.2.4	Les étirements activo-passifs de type PNF.....	5
3	Données anatomiques et physiologiques du muscle squelettique	6
4	Les effets physiologiques des étirements	9
4.1	Le muscle.....	9
4.1.1	L'extensibilité musculaire	9
4.1.2	La titine et la nébuline	10
4.1.3	Les ponts d'actine-myosine	10
4.2	Le tendon	11
4.3	La liaison tendon-muscle.....	12
4.4	L'aponévrose ou fascia :	13
4.5	Les circuits nerveux :.....	14
5	Méthode de recherche et articles sélectionnés	15
6	Stretching et prévention des blessures	16
6.1	Définition de la blessure « sportive ».....	16
6.2	Analyse de la littérature.....	17
7	Stretching et courbatures	19
7.1	Définition et mécanisme d'apparition des courbatures	19
7.2	Analyse de la littérature	20
8	Discussion	22
9	Conclusion	24

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

De nombreux sportifs amateurs ou professionnels s'étirent avant et/ou après une activité physique ou sportive et ce quelque soit leur âge. Les principaux effets attribués à ces étirements sont de réduire les courbatures survenant après l'effort, de diminuer le risque de blessure, d'augmenter leur souplesse musculaire et leur performance (force, endurance, vitesse). Mais cela est-il scientifiquement prouvé ?

Tout d'abord des rappels de physiologie musculaire seront présentés afin de définir les structures impliquées lors des étirements. Puis seront abordés les effets physiologiques des étirements sur le système musculo-tendineux, nerveux et aponévrotique. Enfin 10 articles sélectionnés de la littérature anglophone seront analysés afin de montrer l'effet, s'il y en a un, des étirements passifs sur la prévention des blessures et l'apparition des courbatures après une pratique sportive.

Mots clés / Key words

- Etirement passif
- Sport
- Prévention
- Blessure
- Courbature
- Passive stretching
- Sport
- Prevention
- Injury
- Delayed onset muscle soreness (DOMS)

1 Introduction

Les différentes techniques d'étirements ont une place importante dans la pratique sportive que ce soit au moment de l'échauffement, après un entraînement ou une compétition et qu'ils soient actifs ou passifs.

De nombreuses vertus sont attribuées à ces étirements : un gain d'amplitude articulaire, un gain de force et de puissance, une diminution de raideur musculaire, une action sur la prévention des lésions et douleurs musculaires... Pourtant des études validées actuelles et plus anciennes remettent en causes certains de ces paramètres comme nous pourrons le voir par la suite.

Il n'existe pas de consensus sur leur bon usage et leur bonne pratique, chaque joueur, entraîneur, kinésithérapeute les pratique ou les met en place selon son expérience, son ressenti. Des données de plus en plus précises et détaillées permettent de mieux connaître leurs actions et donc de mieux adapter leur mise en place.

Le but de ce travail écrit est de mettre à jour par une revue de littérature leurs effets attendus (négatif, positif ou sans effet) sur la prévention à la fois des blessures et des courbatures ou DOMS (delayed onset muscle soreness traduit en français par douleur musculaire d'apparition retardée). Cette revue a été réalisée après sélection et analyse d'articles sur leur méthodologie, la taille de leur échantillon et les résultats ainsi obtenus.

2 Les étirements

2.1 Définition

Les étirements sont un ensemble de techniques (actives ou passives) visant à allonger un muscle (ou groupe musculaire) et à mobiliser une articulation dans une amplitude extrême par une mise en tension progressive dans la limite des possibilités d'allongement de ce muscle. Ils correspondent plus spécifiquement à un éloignement des points d'insertion du muscle et agissent à la fois sur le muscle et sur le tendon. Les techniques actives sont caractérisées par la contraction du muscle agoniste ou antagoniste. [1] [2] [3]

Dans la littérature anglaise le mot étirement est traduit par « stretching » qui en France peut aussi avoir le sens de pratique de gymnastique douce réalisée en salle de fitness.

Nous utiliserons dans cette revue le mot étirement et stretching pour signifier la même chose : une pratique thérapeutique à visée d'allongement d'un muscle ou d'un groupe musculaire.

2.2 Les différents types d'étirement

On peut distinguer de nombreuses formes d'étirements que l'on peut rassembler en quatre types principaux pour la pratique kinésithérapique en milieu sportif : les étirements passifs, les étirements activo-dynamiques, les étirements ballistiques et les étirements de type Proprioceptive Neuromuscular Facilitation (PNF). [2] [4]

De part l'existence ces différentes méthodes il ne faut pas généraliser à l'ensemble des étirements un quelconque effet obtenu par une seule technique que ce soit sur la prévention mais aussi sur les différents facteurs de la performance sportive (force, vitesse, récupération, prévention).

2.2.1 Les étirements passifs

Ils correspondent à un allongement global et lent d'un segment corporel réalisé par l'action de la pesanteur, grâce à une traction manuelle ou par l'intervention d'une force extérieure que ce soit par l'action d'une autre personne ou du praticien (fig. 1), du poids du corps (fig. 2), à l'aide de poids, d'un élastique (fig. 3). [1] [5] [6] L'amplitude obtenue est telle que l'étirement est maximal, maintenu à type de posture durant environ 20 secondes et répété 3 fois. [6] [7]



Figure 1 : étirement passif des ischio-jambiers (IJ) gauches par le praticien



Figure 2 : étirement passif des IJ par le sujet



Figure 3 : étirement passif des IJ à l'aide d'un élastique

2.2.2 Les étirements activo-dynamiques

Ils sont de type actif c'est-à-dire que lorsque le muscle concerné (ou son antagoniste) est étiré il est immédiatement précédé ou suivi d'une contraction statique.

Les étirements dits activo-dynamiques consistent après avoir placé le muscle (ou groupe musculaire) concerné en étirement sous maximal, à réaliser une contraction isométrique de ce muscle dans cette position (fig. 4). Cette contraction est ensuite suivie d'un travail dynamique du muscle (fig. 5). [1]



Figure 4 : étirement activo-dynamique des IJ : phase de contraction isométrique

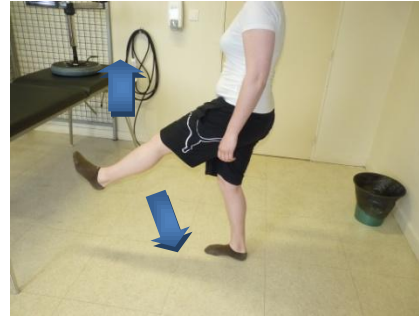


Figure 5 : étirement activo-dynamique des IJ : phase de travail dynamique du muscle préalablement étiré

2.2.3 Les étirements ballistiques

Ce sont des étirements actifs réalisés par le « balancement » d'un membre ou d'une articulation en position maximale de façon rapide et répétée (fig. 6 et 7).

La contraction des agonistes est associée au poids du membre pour étirer les groupes musculaires antagonistes.

Durant ce type d'étirement il y a contraction de l'antagoniste du muscle que l'on veut étirer. [1] [4]

Ce type de stretching provoque donc un étirement du muscle opposé au mouvement ce qui va mettre en jeu le réflexe myotatique (à un étirement fait suite une contraction réflexe).

Ces étirements entraînent un renforcement musculaire du muscle antagoniste et vont favoriser l'échauffement musculaire (augmentation de température et effet pompe par l'alternance des phases de contraction/relâchement) mais ils induisent une contraction réflexe sur un muscle étiré ce qui pourrait selon les modalités de vitesse et d'amplitude être source de lésions musculaires. [5]



Figure 6 : étirement ballistique des IJ.



Figure 7 : étirement ballistique des IJ.

2.2.4 Les étirements activo-passifs de type PNF

Ils ont comme base la méthode de KABAT : ce sont des techniques de « contracter-relâcher » fondées sur l'utilisation des reflexes musculaires. [1] [4] [5]

Il en existe principalement de deux types :

- CRE = contracter-relâcher-étirement :

Selon 3 étapes de 6 à 8 secondes pour chacune :

1 : chercher l'étirement passif maximal du muscle concerné (fig. 8).

2 : dans cette position demander une contraction statique de 6 secondes contre résistance puis obtenir un relâchement de ce muscle (sans mouvement) (fig. 9).

3 : étirement passif lent et progressif réalisé par le praticien (fig. 10).

Il y a mise en jeu du reflexe myotatique inverse afin de gagner en amplitude : la contraction d'un muscle entraîne son relâchement et ce de façon plus importante que son état tonique initial.



Figure 8 : étirement de type CRE appliqué aux IJ : **Etape 1** : étirement passif



Figure 9 : étirement de type CRE appliqué aux IJ : **Etape 2** : contraction isométrique



Figure 10 : étirement de type CRE appliqué aux IJ : **Etape 3** : étirement passif (après relâchement)

- CRAC = contracter-relâcher avec contraction de l'antagoniste :

Elle correspond à la même technique en ajoutant au moment de l'étirement final (3^{ème} étape) une contraction du muscle antagoniste au mouvement (fig. 11).

Il y a grâce à la contraction de l'antagoniste, mise en jeu du réflexe d'inhibition réciproque : la contraction d'un antagoniste favorise le relâchement de l'agoniste lors de son étirement.



Figure 11 : étirement de type CRAC appliqué aux IJ : **Etape 4** : contraction du quadriceps (muscle antagoniste des IJ)

3 Données anatomiques et physiologiques du muscle squelettique

Le muscle strié squelettique est entouré d'une membrane conjonctive appelée l'épimysium. Il est lié à l'os par le tendon, structure conjonctive constituée essentiellement de collagène.

Dans ce muscle se trouvent des faisceaux séparés les uns des autres par du tissu conjonctif : le périmysium, et formés de milliers de cellules : les fibres musculaires (fig. 12). Ces fibres sont individualisées par une autre membrane conjonctive, l'endomysium, et sont divisées en myofibrilles, les cellules constituant le muscle. [8]
[9]

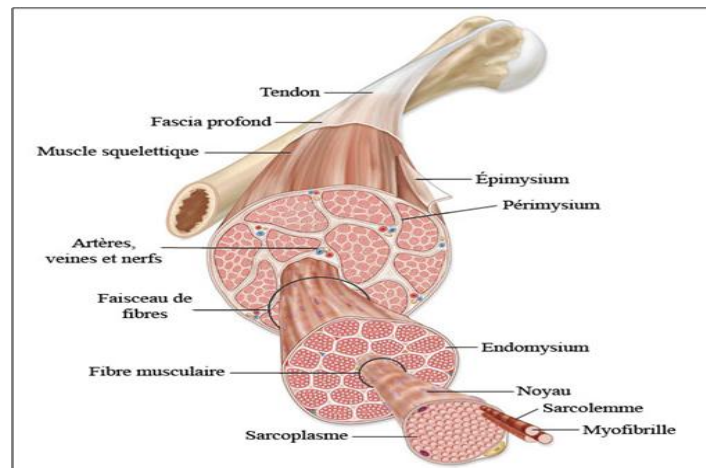


Figure 12 : organisation interne du muscle

Ces myofibrilles sont structurées par une alternance répétée de bandes claires et sombres qui donne l'aspect strié du muscle.

Au niveau de ces bandes on peut distinguer la succession de sarcomères, unité physiologique et fonctionnelle du muscle (fig. 13). Chaque sarcomère est situé entre deux stries Z, de part et d'autre de la zone H. Il est constitué d'une demi bande claire I (pour isotropique, laisse passer la lumière), d'une bande A (pour anisotropique, ne laisse pas passer la lumière) et par une autre demi bande claire I.

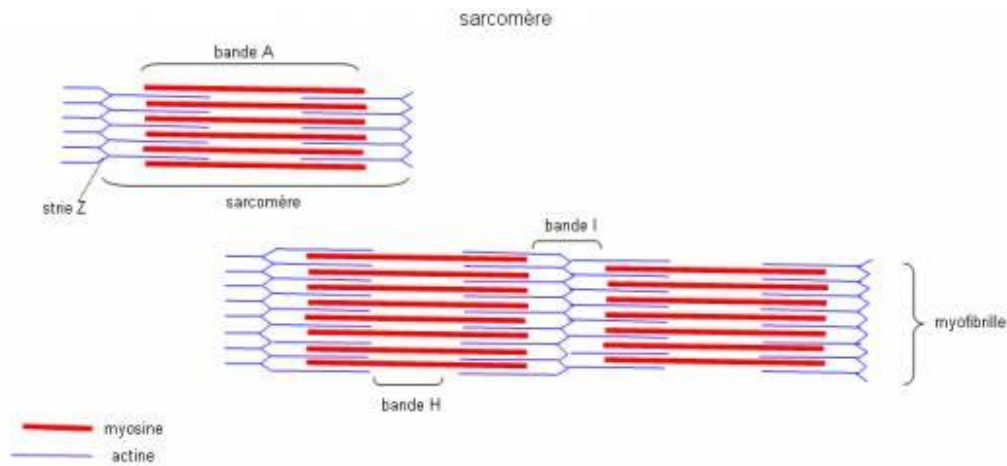


Figure 13 : structure du sarcomère

Dans ces sarcomères, il existe des filaments de protéines de deux types : les filaments de myosine et les filaments d'actine. Les filaments de myosine, les plus épais, forment la bande A et les filaments fins d'actine s'étendent entre deux stries Z. [8] [9]

La myosine comporte deux têtes et l'actine présente des sites de liaison à la myosine qui sont « fermés » au repos par la disposition tridimensionnelle de l'actine et la présence d'une autre protéine la troponine bloquant ces sites.

Lors d'une contraction, du calcium intracellulaire (Ca^{2+}) va se fixer à la troponine ce qui va induire un mouvement de cette protéine et libérer les sites de liaison.

Il va s'en suivre une création de ponts et la mise en place du cycle actine-myosine (fixation de la tête, glissement de l'actine et détachement de la tête). Ceci permettant la contraction du muscle.

Le raccourcissement et l'allongement du muscle se font par un système de glissement entre les filaments d'actine et de myosine sans modification de longueur des filaments. [8]

Ces ponts d'actine-myosine sont très peu présents au repos et donc lors d'un étirement passif les filaments vont pouvoir glisser assez facilement entre eux. [10] [11]

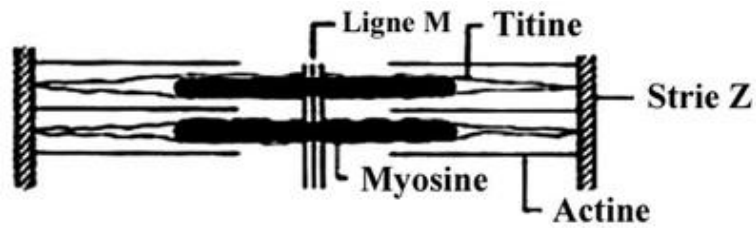


Figure 14 : la titine, une protéine élastique du sarcomère

Une autre protéine est présente dans les sarcomères : la titine (fig. 14).

C'est une protéine élastique liée à la myosine dont le rôle est de ramener en position initiale le sarcomère suite à son allongement. Elle s'étend d'une strie Z à la ligne M correspondant au milieu de la bande H. [11]

4 Les effets physiologiques des étirements

Les étirements agissent par ordre d'extensibilité sur le muscle, l'aponévrose et le tendon. Ils interviennent également sur le système nerveux en mettant en jeu différents réflexes.

4.1 Le muscle

Au niveau du muscle les structures sollicitées lors des étirements sont les ponts d'actine-myosine et les protéines musculaires dont la titine et la nébuline.

4.1.1 L'extensibilité musculaire

Le muscle est l'élément de plus déformable lors d'un étirement.

Son extensibilité lui est conférée par 3 composantes : une composante contractile (ponts actine-myosine), une composante élastique en série (collagène intracellulaire, les tendons, les stries Z) et une composante élastique en parallèle (sarcolemme, les différents tissus conjonctifs internes comme l'épimysium, le périmysium, l'endomysium).

Lors d'un étirement le muscle s'allonge selon différentes phase [2]:

Une phase élastique : après un étirement faible le muscle allongé retourne dans son état, sa longueur initiale. On parle de déformation élastique.

Une phase plastique : après un étirement important l'allongement, qui est plus marqué, persiste. C'est la déformation plastique.

Une phase de rupture : après un étirement très intense il y a rupture partielle ou totale des fibres musculaires.

Pour entretenir l'extensibilité il faut rester dans la phase élastique et pour l'améliorer il faut aller au-delà, c'est-à-dire en phase plastique.

Un autre facteur intervient en plus de l'intensité de l'étirement appliqué c'est la durée de maintien. En effet plus la tension appliquée sera maintenue longtemps et plus l'allongement sera important.

4.1.2 La titine et la nébuline

- La titine, protéine liant la myosine aux stries Z, est un élément élastique dont la fonction est de ramener le sarcomère dans sa position initiale à la suite d'une déformation et de maintenir l'alignement actine-myosine. Cet élément est très sollicité lors des étirements (WYDRA, WIEMANN et KLEE). [11]

- nébuline est une protéine guidant les mouvements de l'actine. Elle aussi peut être détruite par un étirement important.

Les étirements intenses ainsi que les contractions excentriques vont altérer ces deux protéines et donc l'organisation interne des sarcomères.

4.1.3 Les ponts d'actine-myosine

La composante formée par les ponts d'actine-myosine est très extensible. Elle a une possibilité d'allongement de 20 à 50% de sa longueur de repos et se déforme donc de façon élastique pendant un étirement non extrême.

Au repos certains ponts de liaison faible restent activés, l'étirement va détacher certains de ces ponts qui se reconstruiront par la suite (PROSKE et MORGAN). [2]
[11]

4.2 Le tendon

Il relie le muscle à l'os et permet la transmission des forces musculaires afin de produire un mouvement.

C'est un élément très résistant mais peu déformable de part sa constitution et l'orientation de ses fibres de collagène.

Il est constitué par du tropocollagène donnant des microfibrilles réunies en subfibrilles puis en fibrilles qui vont former des faisceaux pour donner le tendon (70% de sa masse sont formés par du collagène). Les faisceaux sont parallèles entre eux et selon l'axe du tendon. [12]

Lors d'un étirement on peut distinguer 4 phases principales de déformation de ce tendon (fig. 15) [2] [11] :

-aspect ondulé au départ jusqu'à 1% de la déformation: cette phase se termine dès que les fibres prennent un aspect linéaire.

-linéaire de 1 à 3% : les fibres sont tendues (généralement c'est la phase subie par le tendon lors d'une activité sportive).

-rupture partielle de 3 à 8% : les sollicitations intenses vont entraîner des ruptures microscopiques qui vont pouvoir se reconstruire à l'arrêt de l'effort. Cette phase permet un renforcement du tendon par un mécanisme de reconstruction de qualité supérieure.

-rupture totale au-delà de 8%.

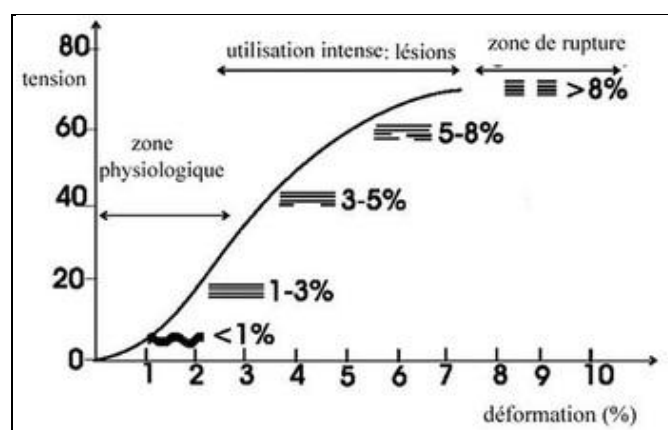


Figure 15 : courbe de l'état de tension du tendon en fonction du pourcentage de sa déformation

Un phénomène de Creeping décrit par WYDRA [13] se mettrait en place suite à une séance d'étirements importants. Lors d'un étirement intense les fibres du tendon qui sont naturellement obliques vont s'aligner d'où l'augmentation de longueur. Ce phénomène dit de Creeping explique le gain d'extensibilité à cours terme du système muscle-tendon. Mais ce gain d'allongement entraîne une modification des capacités du tendon à emmagasiner de l'énergie (ceci de manière réversible). Cet effet semble indiquer que les étirements placés au moment d'un échauffement vont avoir un effet négatif par l'altération des performances sportives.

4.3 La liaison tendon-muscle

La transmission de tensions du tendon au muscle et du muscle au tendon se fait de deux façons : par une voie directe, la jonction tendon-muscle, et par une voie indirecte, les structures élastiques transversales du muscle. [2] [11] [14]

La voie directe ou série : le muscle et le tendon ne sont pas en continuité il y a entre les fibres musculaires et les fibres de collagène une membrane le sarcolemme, formé d'une membrane plasmique et d'une lame basale. (fig 16)

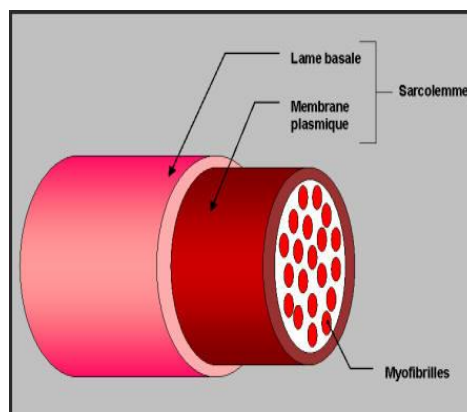


Figure 16 : le sarcolemme : membrane formée par la lame basale et la membrane plasmique

La transmission des forces, des tensions issues ou subies par les sarcomères en série se fait à travers la lame basale par l'intermédiaire de chaînes protéiques partant de l'actine et allant jusqu'aux fibres de collagène du tendon.

Cette membrane basale est composée de replis qui vont augmenter la surface d'application des tensions et les dissiper lors de l'étirement.

La voie transversale ou parallèle : les tensions sont aussi dissipées de manière latérale par l'intermédiaire des différentes membranes musculaires (tissus conjonctif interne): du sarcolemme à l'endomysium, au péri-mysium puis au muscle pour la transmettre ensuite aux aponévroses puis au tendon (et inversement lors de la transmission des tensions du tendon au muscle).

Cette diffusion se fait grâce à la desmine qui lie les sarcomères entre eux de façon parallèle et grâce aux costamères, chaînes de protéines liant les myofibrilles au sarcolemme de la fibre.

Ces éléments protéiques sont fortement sollicités lors des étirements. Différentes études à la fois chez l'Homme et le rat ont montrées que les efforts intenses d'étirement ou des contractions excentriques vont détruire ces différentes protéines avec par la suite un remaniement de meilleure qualité après reconstruction.

Ces deux voies vont ainsi transmettre les tensions subies par le tendon lors d'un allongement passif.

Par analogie à l'effet des contractions excentriques (LIEBER et FRIDEN [11]) les étirements passifs peuvent de la même façon avoir une influence positive sur le remodelage musculaire par destruction puis reformation de qualité supérieure des différents éléments lésés (desmine et costamères).

4.4 L'aponévrose ou fascia :

Le muscle est entouré d'aponévrose aux niveaux externe et interne ce qui permet une continuité entre la peau, les tissus conjonctifs et le muscle lui-même.

Les différents muscles sont ainsi mobilisables entre eux au moyen de glissements assurés par ces fascias.

C'est un système élastique organisé par des microvacuoles extensibles qui vont se déformer selon les contraintes et reprendre ensuite leur forme initiale. C'est un réseau maillé peu extensible [4].

Les étirements vont mettre en tension cette structure conjonctive externe.

4.5 Les circuits nerveux :

3 reflexes vont être mis en jeu selon la méthode d'étirement utilisée [1] [4].

- le reflexe myotatique (= d'étirement):

Les fuseaux neuro-musculaires présents dans le muscle sont sensibles aux changements de longueur brusques du muscle.

Un étirement va donc stimuler ces fuseaux qui vont par l'intermédiaire de voies nerveuses sensibles puis motrices passant par la moelle épinière provoquer une réponse musculaire : une contraction réflexe.

Ce reflexe myotatique se met en jeu si l'étirement est rapide et/ou intense, c'est pourquoi les étirements de type ballistiques sont déconseillés car la contraction réflexe alors obtenue sur le muscle préalablement étiré peut être génératrice de lésions.

-l'innervation réciproque :

Ce mécanisme neurologique repose sur la stimulation des fuseaux neuro-musculaires (lors d'une contraction) qui vont par leurs voies sensibles mettre en jeu des neurones inhibiteurs au niveau de la moelle épinière ce qui va entraîner par des efférences motrices l'inhibition du muscle antagoniste c'est-à-dire une diminution de son tonus.

La contraction de l'antagoniste va donc entraîner par l'intermédiaire de voies inhibitrices le relâchement du muscle agoniste, celui que l'on veut étirer.

C'est sur ce principe que repose la méthode CRAC (contracter-relâcher avec contraction de l'antagoniste).

-le reflexe myotatique inverse (=tendineux) :

Les organes tendineux de Golgi sont situés au niveau du tendon. Ils sont sensibles à la tension de ce tendon.

La contraction d'un muscle va stimuler ces fuseaux neuro-tendineux par augmentation de la tension ce qui va déclencher un réflexe inhibiteur provoquant le relâchement de ce muscle.

Il peut être déclenché par une forte tension mais aussi par une faible tension maintenue longtemps. C'est pourquoi on conseillera plutôt de pratiquer un stretching de façon lente, provoquant un relâchement des structures musculaires.

L'étirement sollicite donc d'abord le tendon puis la jonction muscle-tendon, les éléments élastiques par la transmission latérale et finalement le muscle.

Pour autant d'un point de vue physiologique les facteurs intervenant de façon importante lors des étirements sont les ponts d'actine-myosine puis les éléments élastiques du sarcomère (titine) et en dernier lieu le tendon (et les structures conjonctives) [11] [14].

De nombreux réflexes nerveux vont se mettre en place et sont la justification de certaines techniques spécifiques de stretching.

5 Méthode de recherche et articles sélectionnés

Les articles étudiés dans les points suivants et réalisant la revue de littérature ont été recherché sur des moteurs de recherche sur internet.

Pour les articles en anglais les sites « pub med » et « pedro » ont été utilisé avec comme mots clés : stretching, sport, prevention, injury, delayed onset muscle soreness (ou DOMS).

Pour les articles en français le site « EMconsulte » a permis la recherche d'article avec comme mot clés : étirement, stretching, sport, prévention, blessures, courbatures, DOMS.

Certains articles ont aussi été sélectionnés dans les différentes bibliographies d'articles déjà recherchés.

Cette recherche s'est déroulée du 3 janvier 2012 au lundi 19 mars 2012.

Les 10 articles retenus sont uniquement issus de la littérature anglophone (absence d'études francophones validées et randomisées).

Les critères d'inclusion sont les suivants :

- étude de moins de 15 ans (janvier 1997 au plus tard)
- traitant des étirements de type passif
- réalisée sur une population pratiquant une activité sportive ou physique
- montrant l'incidence des étirements seuls (sont exclues les études associant les étirements à une autre pratique thérapeutique telle la cryothérapie par exemple).

Les critères de non inclusion : les revues et analyses de la littérature ne sont pas prises en compte, seules les études seront utilisées.

6 Stretching et prévention des blessures

6.1 Définition de la blessure « sportive »

D'après le dictionnaire LE PETIT LAROUSSE [15] une blessure est définie par « *une lésion locale du corps due à l'action plus ou moins violente d'un agent extérieur (choc, piqûre, chaleur, etc)* ».

La blessure du sportif se caractérise comme « *un état ressenti qui garde l'athlète à l'écart des séances d'entraînement et de la compétition pendant au moins un jour après l'incident et qui implique une attention médicale autre que la simple application de glace ou le strapping* » [16]. Cette définition prend en compte la perception subjective de la douleur par le sportif variant selon le seuil de tolérance de la douleur ainsi que le temps de mise à l'écart du sport pratiqué. Ainsi une blessure mineure est caractérisée par un arrêt de 1 à 7 jours d'entraînement, une blessure modérée un arrêt de 8 à 21 jours et une blessure majeure un arrêt de plus de 21 jours. Cette classification déterminant la sévérité de la blessure est basée sur l'intensité de douleur, la perte de force et la quantité de tissus endommagés. [16] [17]

6.2 Analyse de la littérature

Les blessures du sportif concernent le muscle (crampe, contusion, courbature, claquage, déchirure, rupture, désinsertion) les ligaments et tendons (entorse, tendinite), les articulations (luxation) et les os (fracture).

La réalisation d'étirements dans la pratique sportive se justifie le plus souvent par son effet positif sur la prévention du risque des lésions qu'ils soient placés avant, pendant ou après l'effort.

L'incidence de ses blessures varie selon le sport pratiqué, selon le sexe (l'homme se blesse de 30% plus que la femme d'après le National Institute of Arthritis and Musculoskeletal and Skin Diseases.) ainsi que l'âge (les 25-44 ans comptent le plus de blessés du fait du nombre élevé de participants dans cette tranche d'âge). [18]

Dans 2 études randomisées POPE et al. (1998 et 2000) ont montré que sur une population importante de militaires (1093 et 1538) réalisant un programme intensif d'entraînement physique les étirements de 20 secondes au moment de l'échauffement (soit avant l'effort) ne permettent pas de façon significative une diminution du risque global de blessures du membre inférieur (pas de comparaison pour chaque type de blessure). [19] [20]

CROSS et WORELL ont de la même manière trouvés en comparant deux saisons de football, une sans étirements et une avec étirements que les étirements placés après une activité intense ne réduisent pas le nombre total de blessures mais ont une incidence positive sur la diminution des blessures musculotendineuses. [21]

Cependant il existe de nombreux biais à cette étude car elle compare deux saisons (1994 et 1995) et ne comporte donc pas le même nombre et type d'entraînement, les mêmes exercices, les mêmes joueurs, les mêmes conditions de match (froid, pluie) qui peuvent fortement influencer les résultats.

Pour autant ce résultat se retrouve dans l'étude récente de JAMTVEDT et al. qui par l'intermédiaire d'un questionnaire sur internet a suivis un nombre important de sportifs. Il conclut dans cette étude que les étirements placés avant ou après un effort ne permettent pas une diminution du risque total de blessures mais diminuerait isolément l'incidence des lésions musculaires, tendineuses et ligamentaires. [22]

L'étude dirigée en 2003 par AMAKO aboutie au même résultat, les étirements réalisés avant et après l'effort diminuent l'incidence des blessures musculaires mais ne préviennent pas les lésions articulaires et osseuses. [23]

L'étude de HARTIG et HANDERSEN montre un réel effet positif des étirements. Ils ont réalisé leur étude sur 298 militaires pratiquant 13 semaines d'entraînement intensif et démontrent que les étirements réduisent de façon significative le nombre de blessures dans cette population. [24]

Cependant la méthode reste discutable, ils ont mesurés le nombre de blessures d'un groupe contrôle réalisant des étirements des ischios jambiers avant l'effort et d'un groupe expérimental réalisant 3 sessions de plus (une avant l'effort, une avant déjeuner, une avant diner et une avant le coucher). Ils comparent donc un groupe témoin et un groupe expérimental effectuant tout deux des étirements. Il paraît ainsi difficile de conclure de façon précise que les étirements diminuent réellement le taux de blessures mais on peut penser que la répétition des étirements et leur place après l'effort pourrait prévenir l'apparition de blessures.

Sur ces articles sélectionnés aucun ne montre une augmentation du nombre de blessures après la réalisation d'étirements.

L'analyse des études les plus récentes évaluant l'impact des étirements placés avant ou après un effort sur l'incidence des blessures montre des résultats divergents (cf annexes 1 et 2).

Mais les études randomisées et réalisées sur un nombre élevés de participants arrivent à la conclusion que la pratique des étirements passifs n'induit pas une diminution du risque de blessures que ce soit chez le militaire en entraînement intensif (POPE 1998 et 2000, AMAKO, HARTIG/HENDERSEN) ou sur les sportifs de différents sports et niveaux (JAMTVEDT, CROSS/WORELL).

Dans 3 études (JAMTVEDT, CROSS/WORELL et AMAKO) il semble apparaître un effet préférentiel des étirements sur certaines blessures. Mais s'il y a diminution des blessures musculaires et tendineuses sans incidence sur le nombre global de blessures c'est donc bien au détriment d'autres blessures (articulaires, osseuses et ligamentaires). Il paraît difficile de croire que les étirements favoriseraient des lésions lors de l'activité sportive.

Il serait intéressant de réaliser d'autres études montrant l'impact des étirements sur les différents types de blessures pour voir l'application que l'on pourrait en faire suivant le sport pratiqué. Par exemple au rugby il semble important de pouvoir prévenir les blessures osseuses en comparaison à l'athlétisme où les atteintes osseuses semblent moins importantes que les lésions musculaires.

La pratique des étirements réalisée chez tout sportif au moment de l'échauffement à l'entraînement ou en match dans le but de réduire les blessures ne semble donc pas justifiée à l'analyse de ces 6 études.

7 Stretching et courbatures

7.1 Définition et mécanisme d'apparition des courbatures

Les courbatures ou « DOMS » en anglais sont l'expression d'un mécanisme complexe à l'origine de douleurs.

Cette sensation d'inconfort survient 12 à 48 h après l'exercice et est provoquée par des exercices musculaires excentriques intenses et/ou inhabituels en durée ou intensité. Elles surviennent le plus souvent lors d'une reprise, une augmentation ou une modification du type d'entraînement. Leur disparition peut nécessiter 2 à 5 jours. Elles concernent surtout le membre inférieur (quadriceps et triceps suraux le plus souvent). Un muscle courbaturé est douloureux au repos mais aussi à l'étirement passif à la palpation et à la contraction. [25] [26]

Le travail sur un mode excentrique peut amener une altération de la structure musculaire pouvant aller jusqu'à des lésions musculaires par les contraintes importantes qu'il engendre sur l'ensemble muscle-tendon. Ces microlésions engendrées au niveau du muscle (atteinte essentiellement des stries Z et des enveloppes membranaires) vont alors être résorbées par un processus inflammatoire associé d'une sensation de douleurs diffuses et retardées, d'inconfort et d'une altération des capacités musculaires (diminution de la force musculaire en moyenne de 40%, persistant le plus souvent 2 à 10 jours après apparition de douleurs). [26]

L'acide lactique au sein du muscle favoriserait l'apparition des lésions mais ne peut pas être à l'origine des douleurs post-effort car son élimination nécessite une vingtaine de minutes. [26] [27]

De plus l'enzyme créatine kinase (enzyme impliquée dans le métabolisme cellulaire) apparaît 24h après l'effort excentrique. Son taux est maximum à 5-7 jours avec en moyenne une douleur maximale 24 à 72h post-exercice. Elle n'est donc pas seule responsable de l'apparition des douleurs.

Les microlésions ne survenant que 12 à 48 heures après c'est donc le processus inflammatoire suivant ces lésions qui serait responsable de ces sensations douloureuses.

Ce processus engendre une augmentation de stimulation des nocicepteurs intramusculaires par augmentation de pression et de température interne liées à l'inflammation. Ces nocicepteurs vont libérer une substance (P) qui décuple le mécanisme inflammatoire mis en jeu. Ceci favorise donc l'hyperalgie globale ressentie. [26]

La sensation de douleur s'arrête avant la fin de récupération fonctionnelle du muscle D'où l'importance de la prévention pour éviter les lésions dans cet intervalle de temps où le sportif serait moins prudent que lorsqu'il ressent encore les courbatures.

Cette douleur musculaire ou courbature est donc due à des microlésions musculaires qui seraient entretenues par un processus inflammatoire.

Il existe différents moyens de traiter ces courbatures après leur apparition : le massage (diminution des douleurs durant 5 jours post-effort), des bains froids ou écossais (diminue le mécanisme inflammatoire et douloureux) et en prévention réaliser des exercices excentriques sous maximaux (la résistance d'un muscle pour un effort excentrique de même intensité augmente au cours du temps). [25]

7.2 Analyse de la littérature

Le mécanisme physiologique des courbatures reste un sujet encore soumis à de nombreuses controverses. En effet dans les années 60 et 70 les courbatures étaient

définies comme un spasme ou une contracture musculaire (DE VRIES 1961 [28]). Les étirements semblaient donc une technique judicieuse pour éviter leur apparition car ils favorisent le relâchement musculaire. Cette théorie a par la suite été discréditée par BOBBERT. [29]

Les courbatures ne sont pas liées aux modifications de tonus du muscle mais aux différentes lésions internes du muscle au niveau des sarcomères. [28]

Pour autant les étirements restent largement pratiqués. L'analyse des 4 articles sélectionnés à pour but de savoir s'ils diminuent ou non l'intensité et le seuil d'apparition des courbatures.

L'ensemble des études met en évidence l'apparition de courbatures après un travail excentrique intensif chez des sujets non habitués.

L'étude de JOHANSSON [30] étudie l'effet des étirements des ischios jambiers réalisés avant un effort excentrique (au moyen d'un appareil d'isocinétisme) sur les douleurs induites par cet effort (au 1^{er} et au 4^{ème} jour). Il compare les douleurs ressenties sur la jambe témoin ne réalisant pas d'étirements et la jambe ayant réalisée une série d'étirements. Il retrouve une douleur sur les 2 jambes et dont l'intensité n'est pas significativement différente. Il conclut que les étirements placés avant un effort excentrique n'ont pas d'effet préventif sur l'apparition des courbatures et sur leur intensité.

Deux études, une de LUND [31] et une de DAWSON [32], étudient l'effet des étirements placés respectivement après un effort excentrique et après un match. Ces études arrivent à la même conclusion : les étirements passifs réalisés après un effort important qu'il soit excentrique ou de longue durée ne permettent pas la diminution des sensations douloureuses et ne favorisent pas la récupération musculaire du sportif.

Une seule étude met en avant une diminution de douleur et de souffrance musculaire, celle de REISMAN [33]. Il compare l'intensité des courbatures des muscles fléchisseurs de coudes réalisant un travail excentrique sans étirement (droite ou gauche) et ceux de l'autre côté qui ont été étirés après cet exercice.

L'importance de cette diminution d'intensité reste cependant faible et non significative.

Aucune étude n'a démontré que les étirements passifs réalisés avant ou après un effort préviennent l'apparition de courbatures.

L'analyse de ces 4 articles ne permet pas de mettre en évidence un effet des étirements sur la réduction des douleurs musculaires induites par l'effort (cf annexe 3 et 4)

Ces études reposent toutes sur un faible nombre de participants à savoir respectivement 10, 7, 17 et 16.

Ces résultats manquent donc de précision. Il paraît impossible de généraliser sur un effet positif ou négatif obtenu.

Pour conclure à une véritable inaction préventive des étirements sur les courbatures que ce soit sur leur apparition ou leur intensité il faudrait des études plus conséquentes, randomisées (aucun article sélectionné ne repose sur une étude randomisée avec un groupe témoin et un groupe expérimental) et reposant sur un plus grand nombre de participants.

8 Discussion

L'échauffement avant un match ou un entraînement est souvent accompagné d'étirements. Ils sont considérés comme primordiaux pour prévenir les blessures. Pourtant il semble y avoir une vraie discordance entre la pratique des sportifs et les résultats scientifiques obtenus jusque là. Les différentes revues documentées réalisées à ce jour vont dans le même sens que les résultats trouvés précédemment.

HERBERT [29] a montré dans une revue de littérature une réduction du risque non significative lorsque les étirements sont placés avant l'effort. Il faudrait selon les résultats de l'étude 23 années d'étirement pour prévenir une seule lésion.

NUHU [34] et SMALL [35] tirent les mêmes conclusions, le stretching passif pré-effort ne diminue pas le risque de blessure.

THACKER [36] sur 6 études montre une absence de réduction globale et significative des blessures mais il présente tout comme O'SULLIVAN [37] une autre notion, celle de l'augmentation de l'extensibilité musculaire après un étirement. THACKER montre que les étirements statiques de 15 à 30 secondes augmentent l'extensibilité musculaire dans un temps limité de 6 à 90 minutes et que les athlètes ayant une hypo ou une hyper extensibilité sont plus à risque de se blesser. Pour lui un programme important sur plusieurs semaines de stretching pourrait être recommandé chez ces personnes ayant une raideur marquée pour diminuer le risque de certaines blessures.

Si des études montrent l'absence d'effet préventif des étirements sur les blessures (ou au mieux sur les blessures musculo-tendineuses) lorsqu'ils sont réalisés avant l'effort il n'existe pas d'études analysant leur effet s'ils sont placés après cet effort.

Il serait de même important de réaliser des études sur le long terme en pratiquant des étirements sur un temps très long et de voir l'évolution du taux de blessures entre un groupe témoin et un groupe expérimental.

Pour conclure sur un réel effet préventif, il faudrait des études montrant à la fois une réduction de l'apparition des blessures de tout type et une diminution des lésions musculaires, tendineuses et ligamentaires. Ce qui n'est pas le cas jusqu'à aujourd'hui.

On peut alors se demander pourquoi les étirements ne peuvent-ils prévenir ces blessures ?

Selon COMETTI [11] les étirements auraient un effet antalgique, par augmentation de la tolérance à l'étirement. Le sujet supporte un étirement de plus en plus intense et va donc de plus en plus loin, le risque de blessure durant l'activité est alors augmenté.

SHRIER cité par BARRUE-BELOU [14] ajoute que tout étirement peut induire des dommages quelque soit son intensité et aborde lui aussi leur effet analgésique potentiellement pathogène lors de l'effort.

De plus selon WIEMANN et KLEE [11] les étirements passifs engendrent des tensions telles que les structures élastiques du sarcomère, dont la titine, sont très fortement sollicités et subissent des lésions qui pourront être majorées s'ils sont suivis d'une activité physique intense.

Il y aurait aussi un rôle de décoordination des étirements par modification de la tension d'un muscle au niveau du couple agoniste/antagoniste. Un muscle trop étiré mettrait plus de temps à se contracter lorsque son antagoniste est mis en jeu.

Le travail excentrique permet un gain de force important mais il est aussi pourvoyeur de douleurs musculaires communément appelées courbatures.

Cette revue a mis en évidence que les étirements qu'ils soient placés avant ou après un effort intense ou à forte composante excentrique ne préviennent pas l'apparition des courbatures et au mieux, selon une seule étude, ils limiteraient faiblement leur intensité.

D'autres auteurs ont montrés sur des études plus anciennes des résultats similaires. HERBERT et GABRIEL [37] ont analysés 5 études (publiées de 1989 à 1999) et ont comparés les résultats à 24h, 48h et 72h. Ils constatent eux aussi aucun effet notable des étirements à 1, 2 ou 3 jours post-effort.

HERBERT et DE NORONHA [29] après analyse de 10 articles ont montré que les étirements pré-exercice entraînent une diminution de l'intensité des courbatures de 0,5 point sur une échelle de 100 points et une diminution de 1 point pour les étirements post-effort. Ces valeurs obtenues indiquent que le stretching ne réduit pas de façon sensible les DOMS.

Les matchs ou entraînements intensifs engendrent des microlésions des fibres musculaires. Les étirements eux aussi peuvent altérer la structure interne du muscle. Il ne semble donc pas justifié de réaliser des étirements juste après un match pour diminuer ou empêcher l'apparition tardive des courbatures car ils risqueraient de majorer les lésions obtenues lors de cet effort physique.

9 Conclusion

Les étirements ne diminuent pas l'intensité et ne préviennent pas l'apparition des DOMS, ils majorent les microtraumatismes du travail excentrique

Aucune donnée validée à ce jour n'indique les étirements pour diminuer l'incidence des DOMS et des blessures. Si l'objectif premier lors de leur pratique est de diminuer

le risque de blessures ou de réduire les courbatures musculaires il ne semble pas judicieux que le kinésithérapeute conseille aux sportifs dont il à la charge de s'étirer avant ou après une pratique sportive. Mais pour savoir s'il faut réaliser des étirements avant ou après un effort intense il ne faut pas prendre en compte que le côté préventif mais aussi l'impact sur la performance que ce soit la force, la vitesse ou la puissance. Ces effets ont été abordé dans différents articles et revues de la littérature [13] [14].

De nouveaux travaux sont nécessaires afin de pouvoir apporter de nouvelles recommandations sur la bonne pratique des étirements qu'ils soient statiques ou dynamiques même s'il apparaît difficile de généraliser selon l'âge, le sexe et le sport pratiqué par l'athlète.

Le milieu du sport est un milieu exigeant en terme de qualité de traitement et de résultats attendus. La prévention est alors un outil primordial de l'arsenal thérapeutique du kinésithérapeute.

Il ne faut néanmoins pas oublier l'importance de l'abord psychologique du sportif car s'il a l'habitude de s'étirer il paraît illusoire de vouloir l'en dissuader. Il faut alors proposer une éducation thérapeutique de façon à mieux encadrer leur pratique et afin d'optimiser leur performance et leur récupération.

Références bibliographiques

- [1] **HAUSSWIRTH C.** *Récupération et performance en sport.* Paris : INSEP, 2010, 29-51.
- [2] **GEOFFROY C.** *Les étirements (1^{ère} partie).* Kiné actualité 2008, n°1110, 18-21.
- [3] **PORTERO P.** *Le stretching des connaissances actuelles à son bon usage.* Sport, santé et préparation physique, Juin 2002, 8-9.
- [4] **FERNANDES C., POPINEAU C.** *Méthodes d'étirements et kinésithérapie.* Disponible en ligne sur : <http://www.frma.ma/medecine-du-sport/kinesitherapiesport/doc/152/raw>. (consulté le 19.02.2012).
- [5] **COULMY N.** *Etirements : Intérêt et limites dans le cadre de la pratique sportive.* Profession kinésithérapeute, décembre 2006 - janvier/février 2007, 13, 5-10.
- [6] **MAQUAIRE P.** *Les étirements : une approche de l'amélioration de la mobilité, la souplesse par les étirements.* Disponible sur http://www.jka-bsk.org/res/site2225/res9187_LES-ETIREMENTS--M-thodes-et-effets-int-r-ts-et-limites.pdf. (consulté le 08.03.2012).
- [7] **ROBE J.** *Les étirements.* Disponible sur <http://www.preparationphysique.net/download/etirements.pdf>. (consulté le 08.03.12)
- [8] **HERMANN H.** *Précis de physiologie.* Tome 1. Paris : Masson, 1974, 237-268.
- [9] **ASTRAND P.-O., RODAHL K.** *Manuel de physiologie de l'exercice musculaire.* Paris : Masson, 1978. 20-257
- [10] **MEYER P.** *Physiologie humaine.* Paris : Flammarion Médecine Sciences, 1977. 733-743
- [11] **COMETTI G.** *Les limites du stretching pour la performance sportive. 2^{ème} partie : Les effets physiologiques des étirements.* Disponible sur <http://www.preparationphysique.net/download/stretchingdebut.pdf>. (consulté le 15/01/12).

[12] **FERNANDES C., POPINEAU C.** *Physiologie des étirements*. Disponible sur <http://www.irbms.com/rubriques/DOCUMENTS/these-physiologie-des-etirements.pdf>. (consulté le 19/02/12)

[13] **COMETTI G.** *Les limites du stretching pour la performance sportive. 1^{ère} partie : Intérêt des étirements avant et après la performance*. Disponible sur <http://entrainement-sportif.fr/stretchingfin.pdf>. (consulté le 15/01/12)

[14] **BARRUE-BELOU S.** *Les étirements du sportif : revue de littérature et perspectives de recherche*. *Kinésithérapie scientifique* 2010, 511, 31-43

[15] **LAROUSSE FIRM.** *Le Petit Larousse*. Paris : Larousse 2002, 139.

[16] **FOURNIER J., ARRIPE-LONGUEVILLE F., FLEURANCE P., SOULARD A.** (INSEP). *La blessure chez les athlètes de haut niveau français : étude des stratégies d'adaptation psychologique et perspectives d'intervention*. Disponible sur http://www.fftri.com/files/pdf/La%20blessure%20chez%20le%20sportif%20de%20haut%20niveau%20français_0.pdf. (consulté le 10/04/12)

[17] **THEISEN D. FRISH A., VAILLANT M., COUFFIGNAL S. LAIR-HILLION M.-L., URHAUSEN A., SEIL R.** *Etude rétrospective sur l'incidence des blessures aiguës et lésions de surcharge chez les jeunes sportifs de haut niveau du G-D de Luxembourg*. Disponible sur <http://www.sante.public.lu/publications/rester-bonne-sante/activite-physique/prevention-blessures-jeunes-sportifs-gdl/prevention-blessures-jeunes-sportifs-gdl.pdf>. (consulté le 10/04/12)

[18] **HOT P.** *L'activité sportive : par où « re » commencer ?* *Kiné actualité* 2010, 1192, 18.

[19] **POPE R.P., HERBERT R.D., KIRWAN J.D.** *Effects of ankle dorsiflexion range and pre-exercise calf muscle stretching on injury risk in Army recruits*. *Australian Journal of Physiotherapy* 1998, 44, 3, 165-172.

[20] **POPE R.P., HERBERT R.D., KIRWAN J.D. GRAHAM B.J.** *A randomized trial of preexercise stretching for prevention of lower-limb injury*. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2000, 32, 2, 271-277.

- [21] **CROSS K.M., WORELL T.W.** *Effects of a Static Stretching Program on the Incidence of Lower Extremity Musculotendinous Strains.* Journal of Athletic Training 1999, 34, 1, 11-14.
- [22] **JAMTVEDT G., HERBERT R.D., FLOTTORP S., ODGAARD-JENSEN J., HAVELSRUD K., BARRATT A. MATHIEU E., BURLS A., OXMAN A.D.** *A pragmatic randomized trial of stretching before and after physical activity to prevent injury and soreness.* British Journal of Sports Medicine 2010, 44, 1002-1009.
- [23] **AMAKO M., ODA T., MASUOKA K., YOKOI H., CAMPISI P.** *Effect of Static Stretching on Prevention of Injuries for Military Recruits.* Military Medicine 2003, 168, 6, 442-446.
- [24] **HARTIG D., HENDERSON J.** *Increasing Hamstring Flexibility Decreases Lower Extremity Overuse Injuries in Military Basic Trainees.* The American Journal of Sports Medicine 1999, 27, 2, 173-176.
- [25] **COHEN J., CANTERCORP K.** *Les DOMS : compréhension d'un mécanisme en vue d'un traitement masso-kinésithérapique préventif.* Kinésithérapie la revue 2011, 113, 15-20.
- [26] **COUDREUSE J-M., DUPONT P., NICOL C.** *Douleurs musculaires post-effort.* Journal de traumatologie du sport 2007, 24, 103-110.
- [27] **CHEUNG K., HUME P., MAXWELL L.** *Delayed Onset Muscle Soreness. Treatment Strategies and Performance Factors.* Sports Medicine 2003, 33, 2, 145-164.
- [28] **HERBERT R.D.** *Le stretching avant ou après l'exercice physique ne réduit pas les courbatures musculaires ni le risque de lésions.* Kinésithérapie, la revue 2008, 78, 38-40.
- [29] **HERBERT R.D., DE NORONHA M.** *Stretching to prevent or reduce muscle soreness after exercise (review).* Cochrane Database of Systematic Reviews 2007, 4, 1-25.

- [30] **JOHANSSON P.H., LINDSTROM L., SUNDELIN G., LINDSTROM B.** *The effects of preexercise stretching on muscular soreness, tenderness and force loss following heavy eccentric exercise.* Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports 1999, 9, 219-225.
- [31] **LUND H., VESTERGAARD-POULSEN P., KANSTRUP I.-L., SEJRSEN P.** *The effect of passive stretching on delayed onset muscle soreness, and other detrimental effects following eccentric exercise.* Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports 1998, 8, 216-221.
- [32] **DAWSON S., GOW S., MODRA S., BISHOP D., STEWART G.** *Effects of immediate post-game recovery procedures on muscle soreness, power and flexibility levels over the next 48 hours.* Journal of Science and Medicine in Sport 2005, 8, 2, 210-221.
- [33] **REISMAN S., WALSH L.-D., PROSKE U.** *Warm-up Stretches Reduce Sensations of Stiffness and Soreness after Eccentric Exercise.* Medicine & Science in Sports & Exercise 2005, 37, 6, 929-936.
- [34] **NUHU A. FRANTZ J.** *A systematic review on the effect of stretching in sports injury prevention.* Journal of Community and Health Sciences 2008, 3,1, 51-58.
- [35] **SMALL K., MC NAUGHTON, MATTEWS M.** *A Systematic Review into the Efficacy of Static Stretching as Part as Warm-Up for the Prevention of Exercise-related injury.* Research in Sports Medicine: An International Journal 2008, 16, 3, 213-231
- [36] **THACKER S.B., GILCHRIST J., STROUP D.F., KIMSEY JR C.D.** *The Impact of Stretching on Sports Injury Risk: A Systematic Review of the Literature.* Official Journal of the American College of Sports Medicine 2004, 36, 3, 371-378.
- [37] **HERBERT R.D., GABRIEL M.** *Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury : systematic review.* British Medical Journal 2002, 325, 1-5.

Autres sources bibliographiques :

Figure 12 :

http://www.google.fr/imgres?q=muscle+epimysium+endomysium&um=1&hl=fr&sa=N&biw=1280&bih=685&tbnid=Hml8bPler_F1oM:&imgrefurl=http://archimede.bibl.ulaval.ca/archimede/fichiers/25962/ch03.html&docid=9Hk7m-dgMysaqM&imgurl=http://archimede.bibl.ulaval.ca/archimede/fichiers/25962/25962_1.png&w=512&h=430&ei=PMCPT5KpGYm7hAfA-NCEBA&zoom=1&iact=rc&dur=311&sig=109392340084861717417&page=3&tbnh=148&tbnw=176&start=37&ndsp=22&ved=1t:429,r:7,s:37,i:168&tx=47&ty=70

Figure 13 :

http://www.google.fr/imgres?q=sarcom%C3%A8re&um=1&hl=fr&biw=1280&bih=685&tbnid=Z2e6dhOiplrOM:&imgrefurl=http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php3%3Fid_article%3D1490&docid=jauunCNXRRFEcM&imgurl=http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/IMG/sarco-545x248.jpg&w=545&h=248&ei=ncCPT570Eli3hAeauqG6BA&zoom=1&iact=hc&vpx=580&vpy=363&dur=270&hovh=151&hovw=333&tx=184&ty=99&sig=109392340084861717417&page=2&tbnh=95&tbnw=209&start=16&ndsp=20&ved=1t:429,r:7,s:16,i:159

Figure 14 :

http://www.google.fr/imgres?q=sarcom%C3%A8re+titine&um=1&hl=fr&biw=1280&bih=685&tbnid=4liXkR7cxXKttM:&imgrefurl=http://campusport.univ-lille2.fr/ressource_gym/co/Theorie_1.html&docid=Wu_O2aQLmkKrfM&imgurl=http://campusport.univ-lille2.fr/ressource_gym/res/im_physio4.jpg&w=420&h=129&ei=1MCPT82yH8XPhAfBs4WyBA&zoom=1&iact=hc&vpx=773&vpy=203&dur=298&hovh=103&hovw=336&tx=196&ty=81&sig=109392340084861717417&page=1&tbnh=57&tbnw=187&start=0&ndsp=15&ved=1t:429,r:3,s:0,i:70

Figure 15 :

http://www.google.fr/imgres?q=courbe+tendon&um=1&hl=fr&biw=1280&bih=685&tbm=isch&tbnid=FVdWBjvF-qSDMM:&imgrefurl=http://www.kungfutanglang.izihost.com/souplesse_582.htm&docid=GNvK1WWAyBx-kM&imgurl=http://www.kungfutanglang.izihost.com/image_571.jpg&w=350&h=224&ei=_MCPT5-MG4iDhQfC9tGrBA&zoom=1&iact=hc&vpx=624&vpy=395&dur=126&hovh=179&hovw=280&tx=116&ty=95&sig=109392340084861717417&page=1&tbnh=133&tbnw=208&start=0&ndsp=16&ved=1t:429,r:13,s:0,i:92

Figure 16 :

http://www.google.fr/imgres?q=sarcolemme&num=10&um=1&hl=fr&biw=1280&bih=685&tbm=isch&tbnid=TQOhbTGyFgbK2M:&imgrefurl=http://www.igb.umontreal.ca/Info-muscle_2009/module1283.htm&docid=Aml4nldsUX995M&imgurl=http://www.igb.umontreal.ca/Info-muscle_2009/module3.jpg&w=447&h=307&ei=gMGPT9S9IYew0QWI3fXXAQ&zoom=1&iact=rc&dur=265&sig=109392340084861717417&sqi=2&page=1&tbnh=144&tbnw=195&start=0&ndsp=17&ved=1t:429,r:3,s:0,i:70&tx=41&ty=66

ANNEXE 1 : tableau descriptif des articles sélectionnés pour l'analyse de l'effet préventif des étirements passifs sur les blessures (1^{ère} partie)

Auteurs/Article	Type d'étude	Année	Participants	Méthode	Etirement avant/après effort	Données mesurées/collectées
JAMTVEDT/ HERBERT et col. <i>A pragmatic randomised trial of stretching before and after physical activity to prevent injury and soreness</i>	Etude de cohorte prospective	2010	.2377 adultes pratiquant une activité physique .Sur 12 semaines .Recrutement et questionnaire via internet .Pays Australie, Norvège	. <u>Groupe témoin</u> : 1220 participants . <u>Groupe expérimental</u> : 1157 participants réalisant des étirements statiques de 30 secondes (s.) avant et après l'effort sur 7 groupes musculaires du tronc et des membres inférieurs	Avant et après	.Les blessures et douleurs du membre inférieur ou du tronc (dans un deuxième temps les blessures musculaires, tendineuses et ligamentaires sont observées)
AMAKO <i>Effect of static stretching on prevention of injuries for military recruits</i>	Essai contrôlé randomisé	2003	.901 militaires .Sur 3 mois .Pays : Japon	. <u>Groupe témoin</u> : 383 militaires ne réalisant pas d'étirement . <u>Groupe expérimental</u> : 518 militaires réalisant 18 étirements passifs de 30s. chacun	Avant et après	.Blessures du membre inférieur, supérieur ou du tronc nécessitant une visite à l'hôpital
POPE/ HERBERT/ KIRWAN <i>A randomized trial of preexercise stretching for prevention of lower-limb injury</i>	Essai contrôlé randomisé	2000	.1538 recrues militaires .Sur 11 semaines d'entraînement intensif .Pays : Australie	. <u>Groupe témoin</u> : 803 militaires ne réalisant pas d'étirements . <u>Groupe expérimental</u> : 735 militaires réalisant 1 fois 20s. d'étirement des 2 membres inférieurs (sur 6 groupes musculaires)	Avant	.Blessures du membre inférieur sans possibilité de reprise sous 3 jours .Blessures classées selon le type et la zone corporelle touchée

ANNEXE 2 : tableau descriptif des articles sélectionnés pour l'analyse de l'effet préventif des étirements passifs sur les blessures (2^{ème} partie)

Auteurs/Article	Type d'étude	Année	Participants	Méthode	Etirement avant/après effort	Données mesurées/collectées
CROSS/ WORELL <i>Effects of a Static Stretching Program on the Incidence of Lower Extremity Musculo-tendinous Strains</i>	Etude transversale et retrospective	1999	.195 joueurs universitaires de football de 3 ^{ème} division des saisons 1994 et 1995 .Pays : USA	. <u>saison 1994</u> : groupe témoin .saison 1995 : 3 étirements statiques de 15 s. sur 4 groupes musculaires du membre inférieur avant l'entraînement	Avant	.Toutes blessures des membres inférieurs des 2 saisons .Comparaison 1994 et 1995
HARTIG/ HENDERSON <i>Increasing hamstring flexibility decreases lower extremity overuse injuries in military basic trainees</i>	Etude de cohorte prospective	1999	.298 recrues militaires .Sur 13 semaines .Pays : USA	. <u>Groupe témoin</u> : 148 participants réalisant un entraînement comprenant des étirements . <u>Groupe expérimental</u> : 150 participants réalisant le même entraînement mais ayant en plus 3 sessions d'étirement de 30 s. des ischio-jambiers	Avant et après	.Mesure de l'extensibilité des ischio-jambiers .Blessures du membre inférieur (nombre selon 7 types de blessures)
POPE/ HERBERT/ KIRWAN <i>Effects of ankle dorsiflexion range and pre-exercise calf muscle stretching on injury risk in Army recruits</i>	Essai contrôlé randomisé	1998	.1093 recrues militaires . Sur 12 semaines d'entraînement intensif . Pays : Australie	. <u>Groupe témoin</u> : 544 militaires réalisant des étirements au membre supérieur (fléchisseurs poignet et triceps brachial) . <u>Groupe expérimental</u> : 549 militaires réalisant à l'échauffement 2 étirements de 20 s. pour chaque triceps sural	Avant	.Blessures du membre inférieur ne permettant pas une reprise au bout de 3 jours (classées selon 5 types)

ANNEXE 3 : tableau descriptif des articles sélectionnés pour l'analyse de l'effet préventif des étirements passifs sur les courbatures (1^{ère} partie)

Auteurs/Article	Type d'étude	Année	Participants	Méthode	Etirement avant/après effort	Données mesurées/collectées
DAWSON <i>Effects of immediate post-game recovery procedures on muscle soreness, power and flexibility levels over the next 48 hours</i>	Etude croisée	2005	.17 joueurs de football australien .Récupération sur 12 matchs .Pays : Australie	.Utilisation de 4 méthodes de récupération après match : les étirements (2 à 3 fois 30 s. sur différents groupes musculaires du membre inférieur), la marche en piscine, l'alternance de chaud/froid et l'absence de récupération (contrôle). .Chaque type de récupération est réalisé sur 3 matchs et par l'ensemble des joueurs	Après	.Mesure avant le match puis 15 et 48 heures après des douleurs musculaires (sensation sur une échelle de 1 à 7, 1=très très bien et 7=très très douloureux), de l'extensibilité, des sauts verticaux et de « sprints » de 6 secondes sur vélo.
REISMAN <i>Warm-up Stretches Reduce Sensations of Stiffness and Soreness after Eccentric Exercise</i>	Essai randomisé (entre les 2 bras)	2005	.16 sujets : 10 pour une expérience préliminaire et 6 pour une 2 ^{ème} expérience .Pays : Australie	.Travail excentrique sur appareil d'isocinétisme des fléchisseurs de coude sur un seul bras (4 à 5 séries de 10 contractions excentriques selon possibilité) <u>1^{ère} expérience</u> : 10 sujets réalisant après l'exercice 5 étirements passifs (maintenu 0,5s.) sur le bras ayant réalisé le travail excentrique <u>2^{ème} expérience</u> : 6 sujets réalisant après l'exercice 5 étirements passifs (maintenu 0,5s.) sur le bras ayant réalisé le travail excentrique	Après	.1 ^{ère} expérience : mesure et comparaison droite/gauche de l'angle spontané de coude debout au repos (pendant la 1 ^{ère} heure et durant les 96h suivant l'effort) .2 ^{ème} expérience : pendant la 1 ^{ère} heure et à 24h (moment d'apparition des DOMS) mesure de la pression nécessaire à appliquer pour déclencher une douleur musculaire et mesure de la douleur après le 1 ^{er} puis le 5 ^{ème} étirement

ANNEXE 4 : tableau descriptif des articles sélectionnés pour l'analyse de l'effet préventif des étirements passifs sur les courbatures (2^{ème} partie)

Auteurs/Article	Type d'étude	Année	Participants	Méthode	Etirement avant/après effort	Données mesurées/collectées
<p>JOHANSSON</p> <p><i>The effects of preexercise stretching on muscular soreness, tenderness and force loss following heavy eccentric exercise</i></p>	Essai randomisé (entre les 2 jambes)	1999	.10 femmes volontaires .Pays : Suède	.Echauffement sur vélo .3 contractions excentriques maximales des ischios-jambiers (IJ) dont la meilleure mesure est gardée .Sur une seule jambe : 4 étirements de 20s. des IJ .10 fois 10 séries de contractions excentriques des IJ sur machine d'isocinétisme (en bilatéral)	Avant	.Mesure à 0, 24,48 et 96 heures des douleurs musculaires (par échelle visuelle analogique = EVA), du seuil de douleur (par algésimètre sur 5 zones) et de la force musculaire (comparaison de la force maximale avant et après le travail excentrique)
<p>LUND</p> <p><i>The effect of passive stretching on delayed onset muscle soreness, and other detrimental effects following eccentric exercise</i></p>	Etude croisée	1998	.7 femmes pratiquant une activité sportive .Intervalle de 18 mois entre les 2 expériences (afin d'éliminer les effets possibles du travail excentrique à long terme) .Pays : Danemark	.Travail excentrique sur appareil d'isocinétisme du quadriceps droit jusqu'à épuisement (force développée devenant inférieure à 60% de la force maximale mesurée) (à J0) .1 ^{ère} expérience : (expérience témoin) pas d'étirement .2 ^{ème} expérience : 3 étirements du quadriceps maintenus 30s. réalisés avant et après le travail excentrique à J0 puis les 7 jours suivants (avant les différentes mesures)	Avant et après	.Mesures bilatérales de la créatine kinase, des douleurs musculaires (par une EVA) et de la force du quadriceps avant (contrôle) et pendant les 7 jours suivant le travail excentrique