

# INTERETS ET LIMITES DES ETIREMENTS MUSCULAIRES PASSIFS

SEMPE Laurent  
MKDE

## Notions d'anatomie du muscle

Avant de débattre sur cette pratique, il est nécessaire de développer nos connaissances sur la structure visée, le muscle, et sur le fonctionnement de l'étirement.

« Le muscle est, par définition, un organe contractile, se caractérisant par une tension de repos, le tonus, ou manière d'être, et une capacité à se contracter en force, ou manière de faire » [1].

Le muscle strié squelettique est composé [2] :

- ✓ d'un corps, de couleur rouge qui correspond à la partie contractile,
- ✓ de tendons, 50 fois plus résistant que le muscle à la déformation, de couleur blanche, placé aux extrémités du muscle et qui le relie à l'os ou à du tissu conjonctif,
- ✓ d'une jonction myo - tendineuse, fragile, représentant le lien entre muscle et tendon,
- ✓ d'une aponévrose périphérique, qui englobe le muscle et augmente sa résistance à la déformation.

Concentrons nous sur le tissu contractile et réalisons une observation des éléments du muscle les plus macroscopiques aux plus microscopiques (Annexe 1) [3].

On distingue dans l'ordre, le muscle composé de faisceaux de fibres musculaires de type I : les rouges qui sont endurantes et peu puissantes [4], de type IIB : les blanches qui sont puissantes mais peu endurantes [4] et de type IIA qui sont des intermédiaires entre les deux premières [4]. Ces fibres sont elles mêmes constituées de myofibrilles contenant des sarcomères (parties distinctes de la myofibrille, entre deux stries Z) dans lesquels se trouvent des filaments d'actine et de myosine, qui, en se liant, sont les responsables de la contraction musculaire [Fig.1] [5].

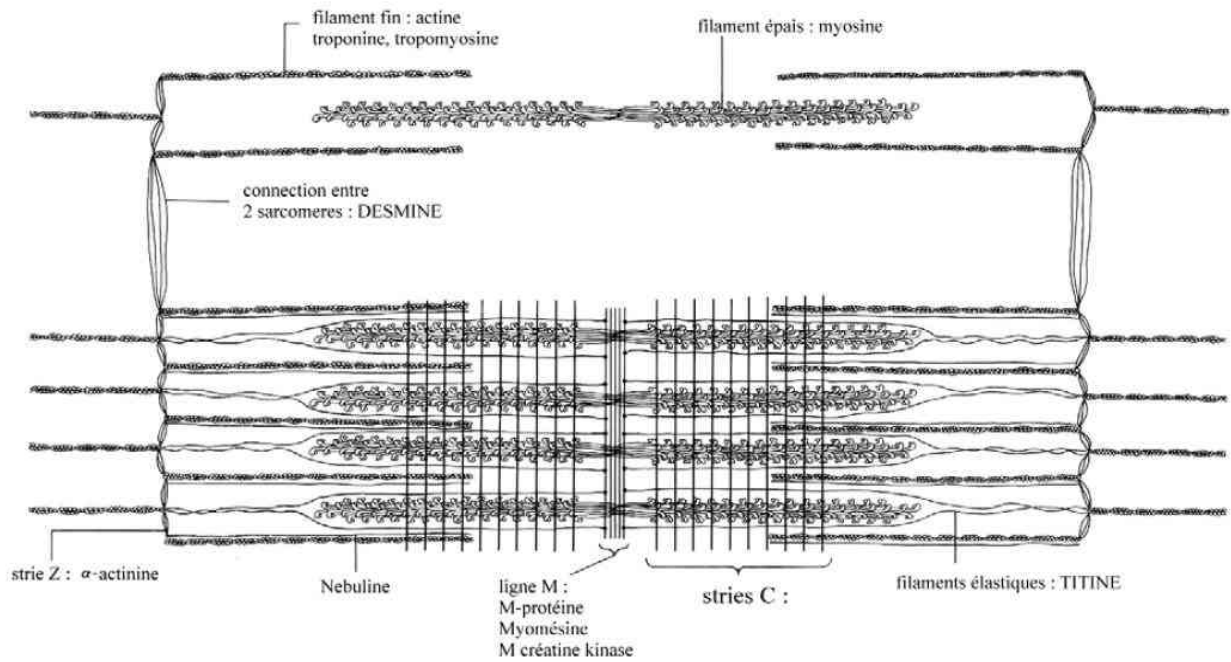


Figure 1 : Représentation des éléments « élastiques » qui constituent le sarcomère d'après Cometti [5]

D'autres éléments internes au muscle et important pour la suite sont, la présence de titine (un des acteurs principaux de la tension passive du muscle lors d'un étirement musculaire), qui est une protéine élastique reliant strie Z et myosine ayant pour rôle de ramener le sarcomère dans sa position d'origine suite à un étirement, et la desmine, reliant les sarcomères parallèlement entre eux [Fig.2] [5].

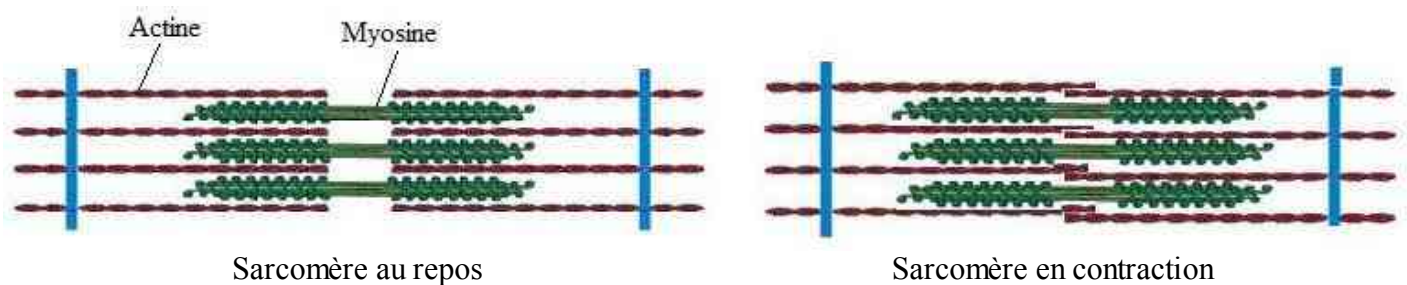


Figure 2 : Schéma de la contraction musculaire (pont d'actine - myosine) [5]

## L'étirement musculaire passif

### Définition

« L'étirement passif est un allongement global, lent, mobilisant les chaînes musculaires, à la recherche d'un gain d'amplitude perdue par l'activité physique. On utilise l'action de la pesanteur par le poids de son propre corps, combinée ou non à une traction manuelle ou force extérieure [6] ».

### Sur quelles structures agit – on par l'étirement passif ?

L'étirement musculaire passif agit sur un ensemble de composants du muscle, qui sont à l'origine de la tension passive.

✓ Selon Cometti [5], qui reprend les travaux de Proske et Morgan de 1999, cette tension est due à trois facteurs : le tissu conjonctif, la titine (élément élastique du sarcomère) et les ponts d'actine - myosine. Le tissu conjonctif correspond, selon Huijing et sa modélisation de l'unité musculo - tendineuse, à ce qui entoure la fibre musculaire [Fig.3] (fibre et tissu conjonctif des faisceaux, enveloppes musculaires, aponévrose et tendon). La titine, reliant strie Z et myosine, est décrite comme élément important de la tension passive par Cometti [5], selon les travaux de Proske et Morgan [Fig.4].

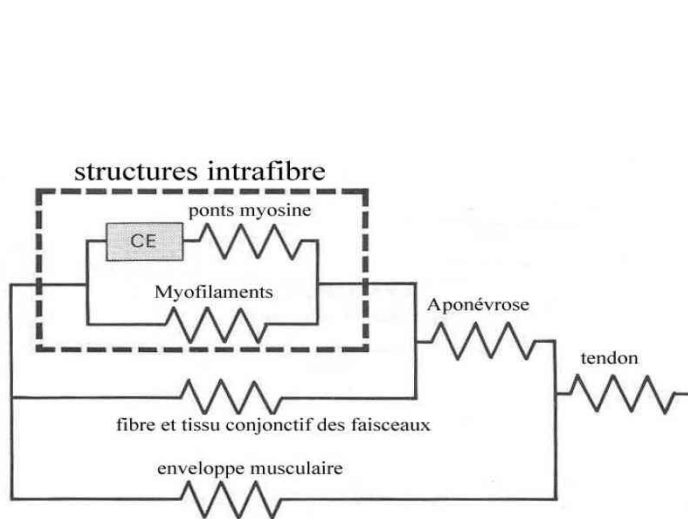
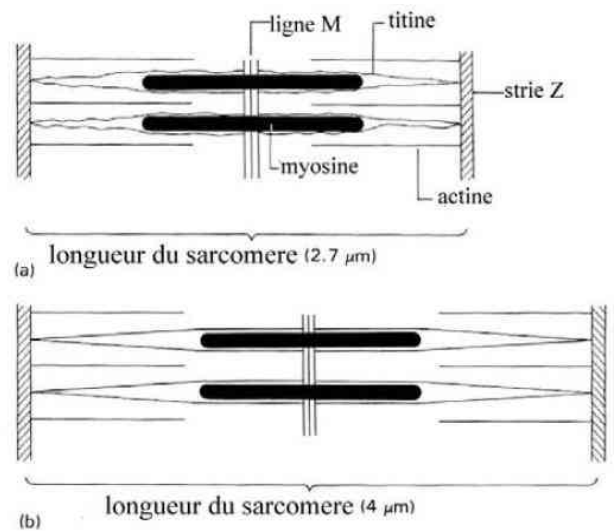


Figure 3 : Représentation de l'unité musculo-tendineuse par Huijing, d'après Cometti [5]

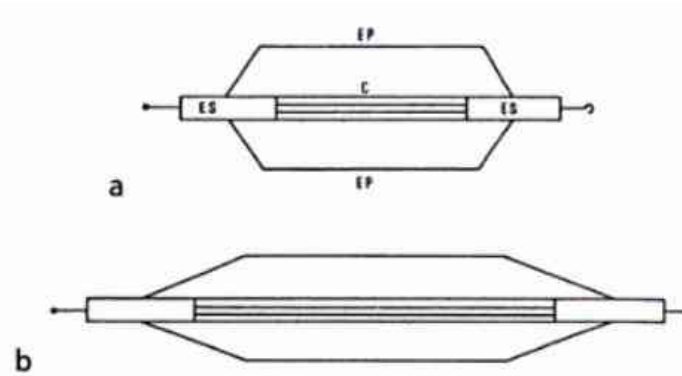


#### **Légende:**

- a) position « normale » du sarcomère, les éléments de titine sont relâchés.
- b) avec une longueur plus importante du sarcomère (étirement) la titine est allongée.

Figure 4 : Action de la titine pendant l'étirement (par Horowitz, R. Podolsky, R, 1987) d'après Cometti [5]

✓ La tension passive, pour Esnault et Viel [7] et selon le modèle du muscle de Hill [Fig.5], est due à la mise en tension des EEP (éléments élastiques parallèles) à partir de 120 - 130% de longueur de repos, des EES (éléments élastiques série), des liens anatomiques entre les filaments minces et de l'activité des ponts d'actine - myosine sur un muscle, qui se défendent par activation de l'excitabilité.



**Légende:**

- a) muscle à sa longueur de repos.
- b) étirement en tension passive.

EEP : éléments élastiques parallèles.  
 EES : éléments élastiques série.  
 EC : tissu contractile.

Figure 5 : Modélisation du muscle par Hill, d'après Esnault et Viel [7]

✓ Les trois auteurs sont en accord pour dire qu'une place fondamentale doit être accordée aux ponts d'actine – myosine comme facteurs limitants. Les étirements musculaires tendent alors à défaire ces ponts, mais certains se reconstituent quand d'autres cèdent. En revanche, le tissu conjonctif, pour Cometti qui reprend Hutton (1994), ne tient pas la place la plus importante. Les facteurs musculaires exercent une tension passive devant retenir plus d'attention. Esnault et Viel, eux, ne prennent pas partie sur la priorité à donner à certains éléments et défendent le rôle du tissu conjonctif, notamment par l'horizontalisation des cloisons lors de l'allongement musculaire [Fig.6].

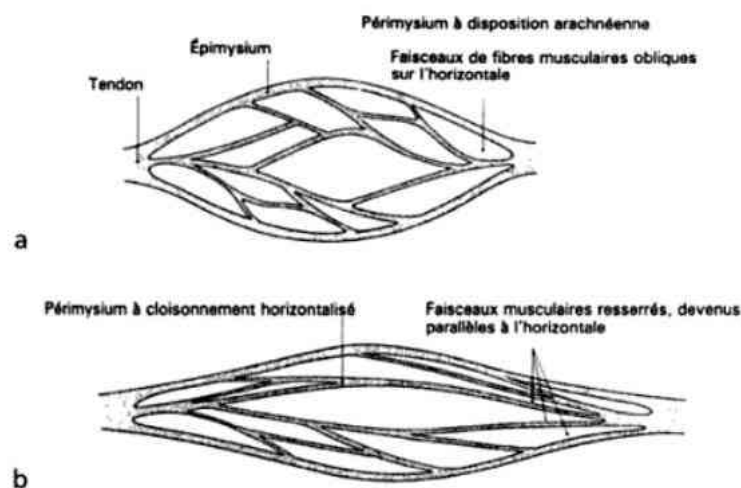


Figure 6 : Action du tissu conjonctif pendant l'étirement d'après Esnault et Viel [7]

## **Historique des effets attendus des étirements musculaires**

Les premiers écrits, comme celui de Bob Anderson (1983), intitulé « Le stretching », et cité dans l'article de Ziltener [8] affirmait l'efficacité des étirements en justifiant leurs pratiques par le fait qu'ils permettaient d'échauffer, donc de préparer les muscles à l'effort, de prévenir les blessures, de faciliter la récupération et de donner de la souplesse. Tous ces effets bénéfiques sont autant de raisons de les introduire dans une activité sportive, une séance de rééducation, voir même dans des protocoles de rééducation. Certains ne changent pas d'avis sur les avantages des étirements musculaires passifs, par rapport à ce qui était dit dans le passé. D'ailleurs, l'Encyclopédie Médico - Chirurgicale admettait dans un article de 1990 [9] que les étirements musculaires prévenaient les blessures, qu'ils étaient indispensables durant l'échauffement, en complément d'un renforcement et pendant la phase de récupération. Dans la même idée, certaines grandes organisations n'ont changé leur point de vue que très récemment et sont longtemps restées dans l'idée que les étirements prévenaient les blessures musculaires. Les recommandations de la Société Américaine de Médecine du Sport (ACSM), reprises par Gremion [10], affirmait jusqu'en 1998 que : « Les exercices d'étirements doivent être impliqués dans l'échauffement avant une activité physique et dans la récupération : ils permettent de prévenir les blessures liées à la pratique sportive ». Quand certains préconisent les étirements pour la prévention des blessures, d'autres les incorporent également dans la prévention des courbatures. Ce dernier point est originaire des écrits de De Vries, dans les années 1960. Ce physiologiste, repris par Rob Herbert [11] affirmait que les douleurs musculaires étaient la conséquence de contractures musculaires. En effet, pour lui, l'exercice musculaire provoquait une ischémie dans le muscle qui se voyait être douloureuse, puis, de ce point de départ, une contraction musculaire réflexe naissait, engendrant à son tour des douleurs. Ainsi se créait un cercle douleur - contracture - douleur, qui pouvait être rompu grâce à des étirements qui inhiberaient la contracture. Aujourd'hui, nous savons que ces douleurs ne proviennent pas de ce cercle vicieux, mais de lésions intramusculaires dues à l'exercice musculaire et que cette théorie n'est donc plus valable [11].

D'après ces affirmations, les étirements musculaires présentent de multiples avantages, mais pour Gremion [10], cette utilisation universelle des étirements vient du fait qu'ils avaient pour but initial d'améliorer l'amplitude articulaire, et que progressivement, les vertus qui leur étaient attribuées s'élargissaient, jusqu'à devenir une pratique essentielle dans l'échauffement, la récupération, la prévention des blessures et bien d'autres domaines encore.

Une vingtaine d'années plus tard, les avis sont partagés. Les étirements sont remis en question par plusieurs études réalisées à ce sujet, mettant en avant les effets bénéfiques, mais également néfastes des étirements musculaires. L'actualisation des connaissances sur les étirements est mise en route pour confirmer, clarifier voir modifier les croyances d'autrefois.

## **Avantages retenus actuellement des étirements musculaires**

Certains auteurs (Geoffroy, De Labareyre, Ylinen) admettent encore l'efficacité des étirements en ce qui concerne la prévention des blessures, la récupération tandis que d'autres, s'appuyant sur des études réalisées récemment, et parfois limitées en raison de leurs critères d'inclusion, démontrent le contraire.

### *Quels sont les différents types d'étirements musculaires et leurs effets présumés ?*

Christophe Geoffroy, masseur - kinésithérapeute rattaché à la Fédération Française de Football [12], distingue les différents types d'étirement qui peuvent être réalisés par le patient. On retrouve alors ;

- des techniques activo - dynamiques, qui échauffe le muscle avant l'effort, et qui sont mises en place par un allongement musculaire couplé à une contraction statique, faisant suite à un exercice dynamique puis une phase de relâchement ;
- des techniques passives, après effort, visant la récupération et la souplesse ;
- des postures passives (étirement passif maintenu de 1 à 10minutes), après et en dehors de l'effort, dans des objectifs de souplesse, de gain d'amplitude;
- activo - passifs, entre et en dehors des phases d'effort, qui sont un enchaînement d'étirement actif puis passif, pour maintenir le muscle en tension et gagner en amplitude.

De plus, on peut trouver le stretching postural, décrit comme un anti - stress (diminuant les tensions et favorisant le bien être), pratiqué en dehors des efforts soit par un stretch tonique (mise en jeu de plusieurs groupes musculaires en étirement et contraction afin de réaliser les postures), soit par un stretch lourd (posture d'allongement sans contraction, mais sous l'action de la pesanteur) [Fig.7]. Il préconise les étirements activo - dynamiques pour l'échauffement, les passifs pour la phase de récupération (car ils améliorent ; le drainage par une action d'essorage et le retour à la longueur initiale du muscle), tandis que pour le gain d'amplitude et la souplesse, les deux sont admis. Pour lui, les étirements, grâce à leurs actions d'échauffement du muscle, puis de récupérateur, permettent d'obtenir un rôle préventif pour éviter certaines blessures (musculaires, tendineuses et articulaires). Dans le même esprit, ces pratiques d'étirements et de postures passives permettent d'améliorer la souplesse, de rééquilibrer les problèmes morphostatiques, morphodynamiques et même de provoquer une libération importante d'endorphine lorsque ces exercices sont intenses [Fig.7].

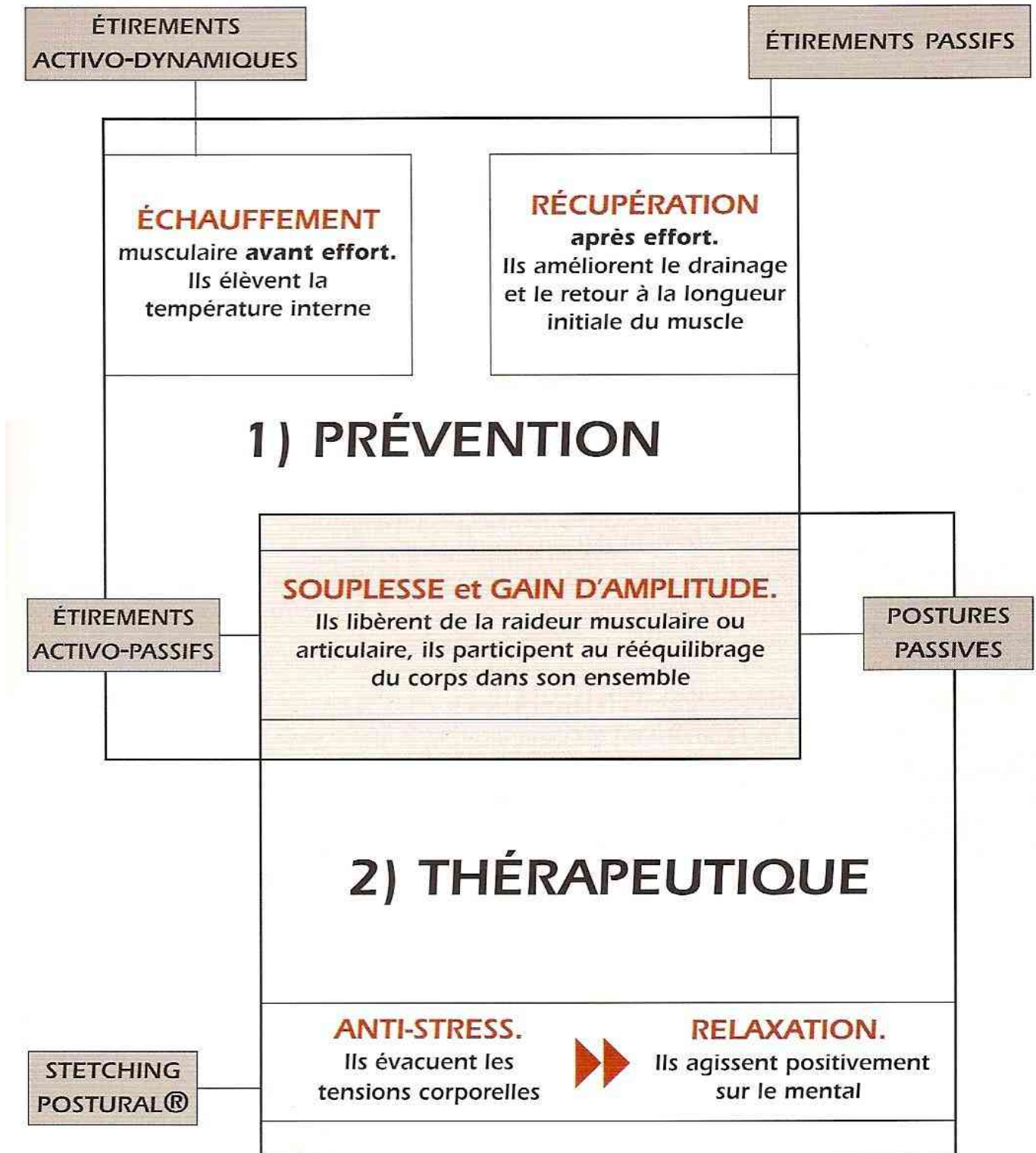


Figure 7 : Schéma de l'action de chaque type d'étirement, d'après Geoffroy [12]

Selon Ylinen [13], qui rejoint les idées précédemment citées, les étirements musculaires sont à mettre en place car permettent de préserver l'équilibre musculaire, de prévenir le raccourcissement et les contractures du muscle. Chez les sujets raides, les étirements avant effort étant à l'origine d'un gain de souplesse, ils sont une solution efficace à ne pas oublier pour prévenir les blessures. Dans le même esprit et en faveur des étirements, De Labareyre [14], qui reprend une étude de Marjara en 1996, explique simplement que l'insuffisance de pratique des étirements fait partie des nombreux facteurs de risque pour l'apparition de la crampe musculaire.

### Que se cache-t-il derrière le terme blessures musculaires ?

L'article de P. Christel, H. de Labareyre, P. Thelen et J. de Lecluse [15], propose de rassembler ces pathologies du muscle, permettant alors de les identifier selon leurs caractéristiques.

La courbature est due à des lésions microscopiques de la strie Z, elle survient le lendemain d'un effort et dure 2 à 3 jours.

La contracture est une contraction involontaire, inconsciente et permanente d'un groupe de fibres musculaires, peu ou pas douloureuse spontanément mais douloureuse à la palpation et au testing. Pas considérée comme une lésion anatomique, il est cependant possible que des lésions microscopiques jouent le rôle d'épine irritative. L'activité est poursuivie, avec risque d'aggravation pendant 6 à 10 jours.

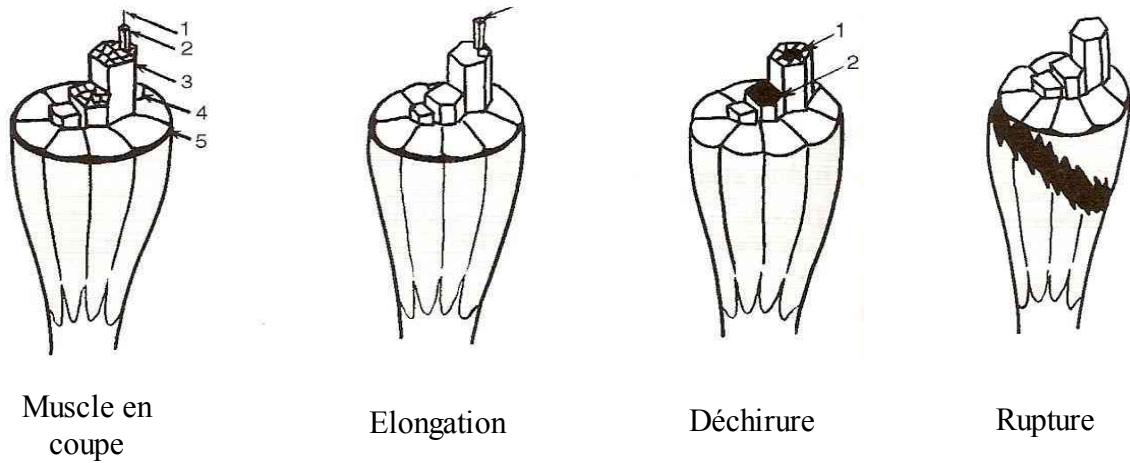
L'élongation [Fig.8] est un étirement de fibres du muscle (voire lésion de myofibrilles), sans rupture, responsable de désinsertion de minimes zones le long des aponévroses ou à proximité d'éléments vasculaires, engendrant des zones de souffrances à cause de l'œdème. Trois semaines sans activité de vitesse sont demandées au sujet, avec, à 15 jours, une reprise progressive.

La déchirure [Fig.8] se présente comme une rupture de fibres musculaires, voire de faisceaux. Six semaines sans activité de vitesse sont demandées, avec reprise progressive vers quatre semaines.

La rupture [Fig.8] est une interruption complète de continuité du muscle. Plus de six semaines sans activité de vitesse doivent être respectées par le patient.

D'autres classifications des lésions musculaires existent, comme celle de Rodineau et Durey [Fig.9] [15]. Cette dernière, très pertinente dans son fonctionnement est cependant peu pratique à mettre en œuvre pour le praticien, qui possède des signes cliniques peu précis, et devant les faire correspondre à des stades de lésions très stricts [14].





**Légende :** 1 : myofibrilles 2 : fibre musculaire 3 : faisceau de fibres 4 : cloison interfasciculaire 5 : aponévrose d'enveloppe.

Figure 8 : Illustration de pathologies musculaires [16]

- Stade 0 : atteinte réversible de la fibre musculaire sans atteinte du tissu de soutien ; récupération totale en quelques heures ;
- Stade 1 : atteinte irréversible de quelques fibres musculaires aboutissant à leur nécrose sans atteinte du tissu conjonctif de soutien ; récupération totale en quelques jours ;
- Stade 2 : atteinte irréversible d'un nombre réduit de fibres musculaires et atteinte minime du tissu conjonctif de soutien ; récupération qui peut être obtenue en une dizaine de jours ;
- Stade 3 : atteinte irréversible de nombreuses fibres musculaires, atteinte marquée du tissu conjonctif de soutien et formation d'un hématome intramusculaire localisé ; récupération en 4 à 12 semaines ;
- Stade 4 : rupture ou désinsertion musculaire complète ; récupération longue mais variable selon le muscle touché.

Figure 9 : Classification des lésions musculaires selon Rodineau et Durey [15]

## Etudes et effets sur la prévention des blessures

### Les études...

Pope, Herbert et Kirwan ont réalisé, en 1998, une étude sur l'incidence de la souplesse et des étirements musculaires passifs sur les risques de blessures [17]. Pour cette étude quasi - randomisée, la population était composée de 1093 hommes de l'armée Australienne, âgés de 17 à 35 ans. Ces personnes font partis d'un programme d'entraînement long de 12 semaines, composé d'exercices physiques intenses. De ce fait, cette population, soumise aux blessures musculaires, est idéale pour la réalisation de cette étude. Les critères d'exclusion de l'étude étaient la découverte de lésions pré - existantes à l'examen médical ou la survenue de blessures entre le temps d'examen médical et l'arrivée sur le site d'entraînement à Kapooka, dans le sud est de l'Australie. Par la suite, les recrues se sont vues séparées dans deux groupes distincts (groupe de contrôle et groupe de stretching), par un système les répartissant au hasard. La procédure mise en place pour faire un bilan initial, sur la souplesse de chaque participant était de mesurer leur angle de flexion dorsale de cheville [Fig.10] grâce à des mesures verticale (distance genou - sol) et horizontale (distance genou - talon).

Durant l'étude, les sujets devaient effectuer deux étirements musculaires de 20 secondes chacun, sur le soléaire et les gastrocnémiens. Cette procédure, contrôlée par un instructeur, avait lieu une fois sur chaque membre inférieur. Dans le même temps, le groupe contrôle réalisait également des étirements sur d'autres groupes musculaires. Cela permettait de faire correspondre les mêmes temps de stretching, d'exercice pour tous les participants et de cacher aux sujets l'identité de leur groupe. L'étude répertorie le nombre de sujets blessés dans le groupe contrôle et le groupe expérimental. Ces blessures sont ; les entorses de cheville, les fractures de fatigue au niveau du tibia et du pied, les lésions du tendon d'Achille, les périostites et les syndromes de loges antérieures.

Les résultats ne sont pas significatifs, ils permettent de mettre en évidence 48 blessures au total, dont 25 dans le groupe contrôle et dans le groupe expérimental [Fig.11]. Les sujets avec peu de flexibilité au niveau de la cheville sont plus prédisposés à l'entorse de cheville, en revanche, en ce qui concerne les autres pathologies, il n'y a pas de corrélation qui peut être effectuée. De plus, il n'y a pas de lien significatif entre le traitement par stretching et l'angle de dorsiflexion, c'est à dire que les étirements ne sont pas plus efficaces, que ce

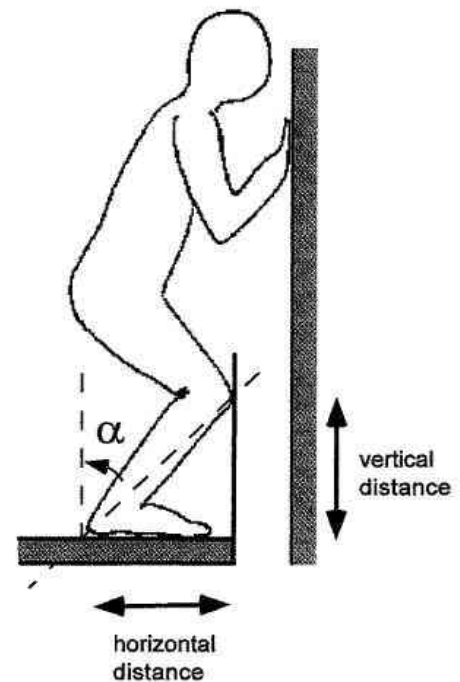


Figure 10 : Calcul de l'angle de dorsiflexion [17]

23

soit pour les sujets raides ou souples. L'étude montre donc que le stretching ne réduit pas de manière significative le risque de blessures, et ne peut donc pas prétendre tenir un rôle préventif.

Injury Type	Control Group	Stretch Group	Total
Ankle Sprains	16 (DF 38-48°)	11 (DF 38-48°)	27
Stress Fractures - Tibia	8 (DF 39-52°)	4 (DF 38-51°)	12
Stress Fractures - Foot	0	4 (DF 40-44°)	4
Periostitis - Tibia	0	2 (DF 42-43°)	2
Achilles Tendonitis	0	1 (DF 48°)	1
Anterior Compartment Syndrome	1 (DF 44°)	1 (DF 46°)	2
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>23</b>	<b>48</b>

Figure 11 : Résultats de l'étude de Pope, Herbert et Kirwan [17]

La seconde étude, dans le même esprit que la première, a vu le jour en 2000 grâce à Pope, Herbert, Kirwan et Graham [18]. Cet essai randomisé a été mis en place avec la même population que celle de l'étude de 1998, à la différence que le nombre de participants fût augmenté à 1538. Ces derniers faisaient partis de l'armée Australienne et intégraient un entraînement physique intensif basé à Kapooka. Ils se sont alors vus séparé en deux groupes distincts : le groupe contrôle n'effectuant pas de stretching et le groupe expérimental ayant un programme d'étirement, précis et contrôlé, à réaliser durant des temps donnés, avant les exercices physiques. Six groupes musculaires (gastrocnémiens, soléaire, muscles de la loge postérieure de la cuisse, quadriceps, adducteurs et fléchisseurs de hanche) faisaient partis du programme, au sein duquel les sujets avaient pour consigne d'effectuer des étirements statique de 20 secondes sur chacun de ces ensembles et ce, sur les deux membres inférieurs. Les résultats devaient faire apparaître la survenue éventuelle de blessures localisées au niveau du membre inférieur.

En totalité, il a été relevé 333 blessures durant la période d'entraînement, dont 214 sur le tissu mou. Dans ce chiffre global, nous percevons seulement 158 blessures dans le groupe expérimental, contre 175 dans le groupe contrôle, résultats qui ne sont pas significatifs ( $P = 0,67$ )<sup>1</sup>. Le résumé de tous les types de lésions est présenté dans la Figure 12. Ces résultats permettent de conclure que les étirements n'ont pas d'influence [Fig.13], que ce soit sur le nombre de blessures total, ou bien sur les différentes catégories séparément. Effectivement, aucune différence n'est retrouvée dans le nombre de lésions de type tissu mou ( $P = 0,17$ ) ou bien osseux ( $P = 0,27$ ).

<sup>1</sup>  $P$ , comprise entre 0 et 1, est la probabilité d'obtenir par hasard un résultat au moins, aussi extrême que celui observé. En d'autres termes, si  $P < 0,05$ , les résultats sont significatifs, si  $P > 0,05$ , les résultats ne sont pas significatifs.

Lower-Limb Injury Type	Injury Site	Treatment Group		Total
		Control	Stretch	
Bone				
Stress fracture	Tibia	24	32	56
	Foot	10	11	21
	Femur	4	0	4
	Fibula	1	3	4
	Ilium	2	0	2
	Pubic rami	1	1	2
Acute fracture	Patella	1	0	1
Periostitis	Tibia	10	15	25
Stress changes	Foot	2	2	4
Soft-tissue				
Joint (articular)	Patellofemoral joint	40	27	67
	Ankle joint	27	19	46
Ligament sprain	Tibiofemoral joint	6	2	8
	Foot	5	7	12
Muscle strain	Shank	9	10	19
	Thigh	10	2	12
	Hip rotators	2	2	4
Tendonitis	Thigh	9	10	19
	Shank	7	10	17
	Hip rotators	1	0	1
Meniscal lesion	Tibiofemoral joint	1	2	3
Compartment syndrome	Shank	1	1	2
Other (e.g., bursitis)	Thigh	1	0	1
	Tibiofemoral joint	0	1	1
	Shank	1	1	2
Totals		175	158	333

Figure 12 : Résultats du nombre et des types de lésions retrouvées durant l'étude de Pope, Herbert, Kirwan, Graham [18]

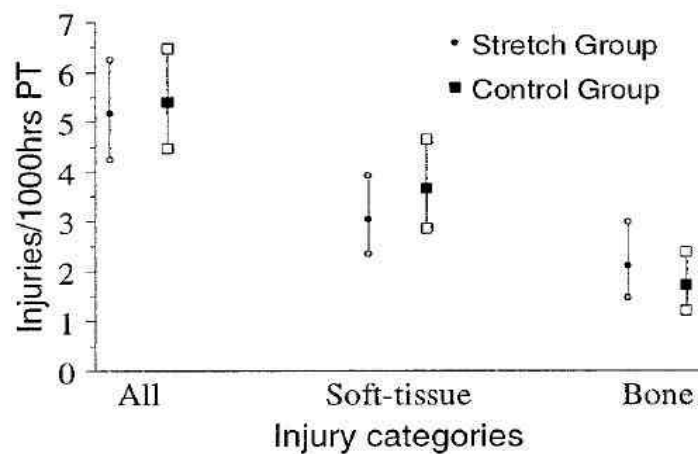
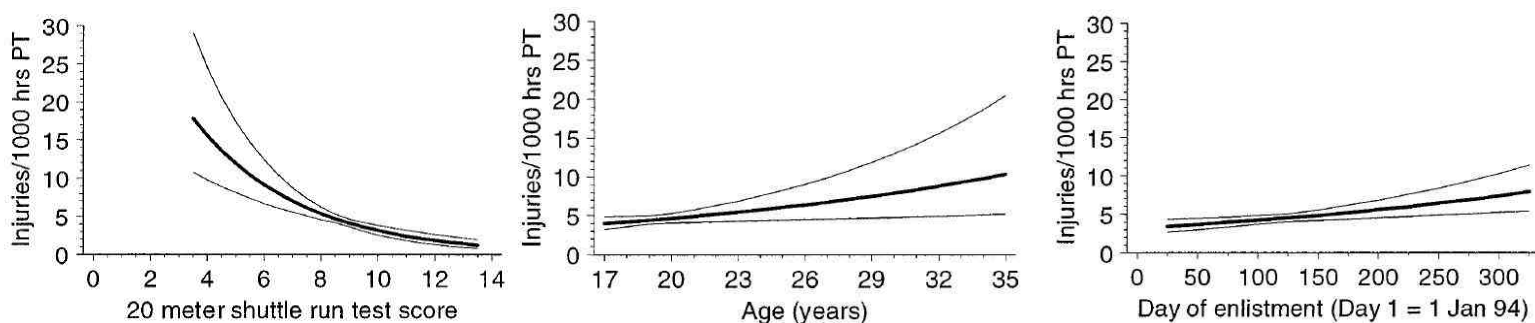


Figure 13 : Nombre de blessures par 1000 heures d'entraînement physique en fonction du type de blessures et de la catégorie du groupe [18]

### Lésions musculaires : Hasard ou prévision ?

Les blessures musculaires, bien qu'étant le résultat d'une association de facteurs favorisants, ne sont pas le fruit du pur hasard. L'étude vu précédemment propose un calcul du RIR (relative risk injury) permettant de prévoir le risque de blessures et comportant trois variables, le résultat du test de la navette (20 meter shuttle run test), l'âge et le nombre de jour dans l'année (DE : day of enlistment) à la date du calcul [Fig.14] [18].

Nb : Le test de la navette comporte 14 niveaux durant lesquels le sujet doit parcourir une distance de 20 mètre. Le temps que le sujet doit mettre pour valider un niveau est indiqué par deux bips sonore, qui, au fur et à mesure que les niveaux augmentent, sont de plus en plus rapprochés.



$$\text{RIR} = e^{-0.2656 \times (20\text{mSRT} - 8.68) + 0.0534 \times (\text{age} - 19.44) + 0.0028 \times (\text{DE} - 122.59)}$$

**Légende** : 20mSRT : 20 meter shuttle run test (= test de la navette). DE : day of enlistment (= nombre de jours depuis le début de l'année).

Figure 14 : Risque de blessure suivant chaque paramètre et formule prédictive de ce risque [18]

Revenons aux deux études précédentes. Ces dernières montrant l'effet des étirements passifs sur le risque de blessures ont été reprises par Herbert et Gabriel dans leur article « Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: systematic review » [19]. Réalisant un comparatif de ces résultats, ils ont aboutis à la même conclusion d'inefficacité de cette pratique sur la prévention des blessures. Que ce soit sur l'étude de 1998 ou celle de 2000, les deux courbes appartenant aux groupe contrôle et expérimental [Fig.15] sont sensiblement identique et les différences relevées sont trop proches pour être significatives. En effet, dans leur article, Herbert et Gabriel signifie que les étirements diminuent de 5% le risque de lésion, score trop faible pour être considéré comme valable. De ce fait, ils ont pu calculer qu'une personne devait s'étirer durant 23 ans pour pouvoir éviter une seule blessure.

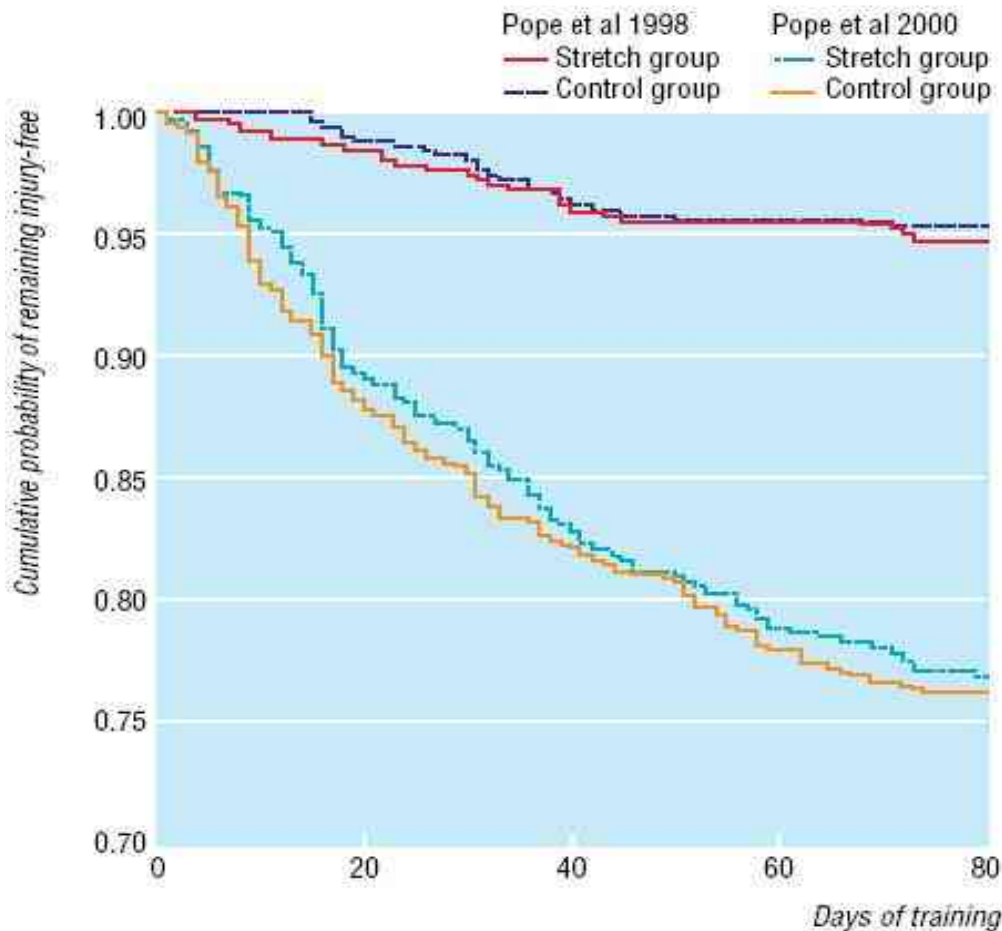


Figure 15 : Comparatif des groupes contrôle et expérimental sur le risque de blessures dans les études de Pope et al. de 1998 et 2000 [19]

Pourtant des limites aux études existent...

Selon Andersen [20], plusieurs limites aux études employées par Herbert et Gabriel en 2002, existent. Il note alors que l'inclusion d'articles seulement écrits en anglais en est déjà une, car elle pourrait entraîner un biais dans les conclusions. De plus, il propose une autre limite à cette article par le fait que les auteurs n'aient pas inclus uniquement des études randomisées. D'ailleurs Herbert et Gabriel ont précisé que les résultats sur la douleur musculaire apportaient des indications, mais qu'il était nécessaire de réaliser des études randomisées de bonne qualité. Dans le même esprit, ils ont précisé que les études randomisées incorporaient uniquement des sujets faisant partis de l'armée australienne et qu'il serait intéressant d'étendre ces essais sur des sportifs de type loisir. Guissard [21] critique également les études entreprises sur le sujet. Pour elle, trop de facteurs entrent en jeu pour déterminer l'action des étirements musculaires, la blessure étant un point de rencontre entre la température corporelle, l'état de vigilance, de fatigue et de préparation du muscle.

## Étirement et blessures musculaires [Fig.16]

En ce qui concerne la prévention de lésions musculaires sur le long terme, les résultats sont en faveur de la mise en place d'exercices d'étirement. Sur ce point, l'étude prospective de Witvrouw de 2003, a montré une relation entre la raideur et le taux de blessures musculaires sur les joueurs de football du championnat belge durant la saison 1999 - 2000 [22]. Sur les quatre groupes musculaires étudiés, les résultats étaient significatifs pour les ischio - jambiers et le quadriceps. Même si les taux de blessures étaient semblables pour les sujets raides ou souples des adducteurs et des gastrocnémiens, Witvrouw affirme, en impliquant l'étude de Hartig et Henderson de 1999 sur la réduction du nombre de lésions des ischio – jambiers après un programme d'étirement sur des militaires, que des muscles souples diminuent le risque de blessures [22].

A contrario, Gremion et Cometti [5, 10] montrent par différents points que les étirements ne préviennent pas les blessures musculaires, bien au contraire. L'effet antalgique est une des raisons de ce phénomène du fait que le gain d'amplitude lors d'un étirement est possible grâce au phénomène de tolérance à l'étirement. En clair, l'entraînement répété fait que le sujet s'habitue à la douleur et supporte donc des amplitudes plus extrêmes, elles mêmes facteurs de blessures. Outre l'effet antalgique, on note le rôle décoordonateur des étirements, qui se traduit par une perturbation de la coordination agoniste - antagoniste. De ce fait, le muscle est moins prêt à effectuer un blocage freinateur en fin d'amplitude de mouvement, ce qui est source de lésions en conséquence. Deux autres points sont avancés. D'une part le phénomène de creeping, décrit par Wydra en 1997 et secondaire aux étirements, peut être un facteur de lésions. Lors de cet exercice, le tendon s'allonge. Alors, se met en place une réorganisation des fibres de collagène en parallèle, qui sont normalement obliques. De ce fait, le tendon emmagasine moins d'énergie qu'en temps normal, et ce, durant une période de latence jusqu'à ce que le tendon reprenne son aspect d'origine. D'autre part, Wiemann et Klee ont montré que les étirements passifs provoquent au sein du muscle des tensions parfois équivalentes aux tensions musculaires maximales. Les structures passives limitant l'étirement (titine, desmine et autres) peuvent alors rompre et handicaper le muscle pour la suite. Les ruptures d'éléments passifs, non souhaitées lors de la pratique des étirements à but préventif, peuvent cependant être utile. Lors d'un renforcement musculaire, le muscle subit des microlésions dues à la charge de travail, ce qui lui permet de se reconstruire en quantité supérieure par la suite. Les étirements peuvent contribuer à cet effet par l'ajout de microlésions [5]. Cependant, ces dernières sont également à la naissance de certaines douleurs au sein du muscle.

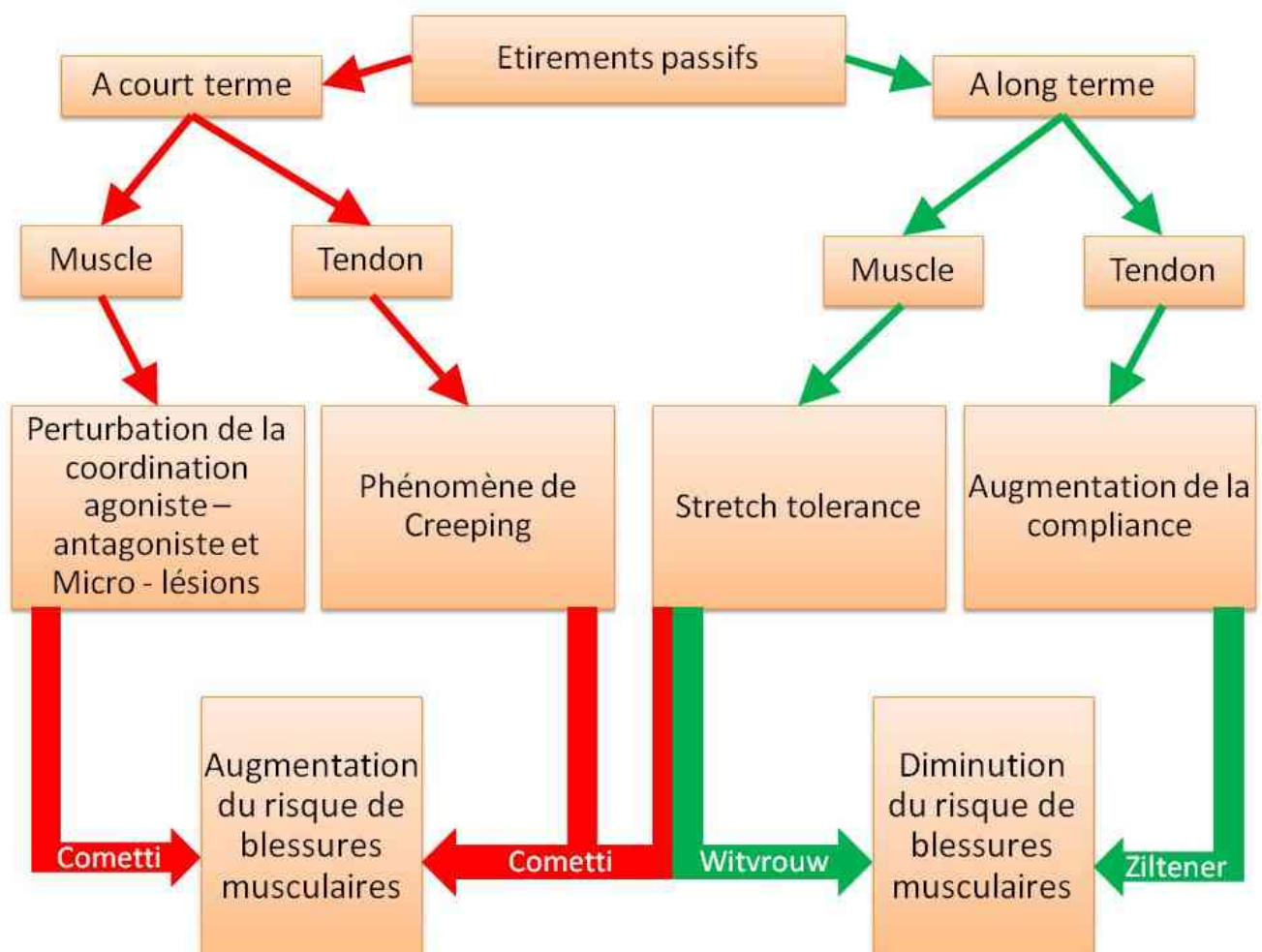


Figure 16 : Etirement et blessures musculaires à long et court terme

## Etudes et effets sur la prévention des douleurs musculaires

### Les études...

Herbert et Gabriel ont réalisé une méta - analyse [19] concernant les conséquences du stretching sur les douleurs musculaires après exercice physique. Ils mettent alors en relation cinq études : Buroker and Schwane en 1989, Johansson et al. en 1999, Wessel et Wan (2 études) en 1994 et McGlynn et al. en 1979. Les caractéristiques de ces études sont regroupées dans l'annexe 2. Il est à noter que dans chacune d'entre elles, les participants étaient jeunes, en bonne santé et que les temps d'étirements par session étaient de 300 à 600 secondes. Trois études (Buroker and Schwane, Wessel et Wan, McGlynn et al.) évaluaient les étirements après exercice tandis que deux autres (Johansson et al., Wessel et Wan) les pratiquaient avant. Que ce soit, 24, 48 ou 72 heures après l'effort, on remarque que les étirements



musculaires ne sont pas en faveur d'une diminution des douleurs [Fig.17]. Les quelques variations que l'on peut retrouver ne sont pas assez importantes pour qu'elles soient significatives et ne sont donc pas à prendre en compte.

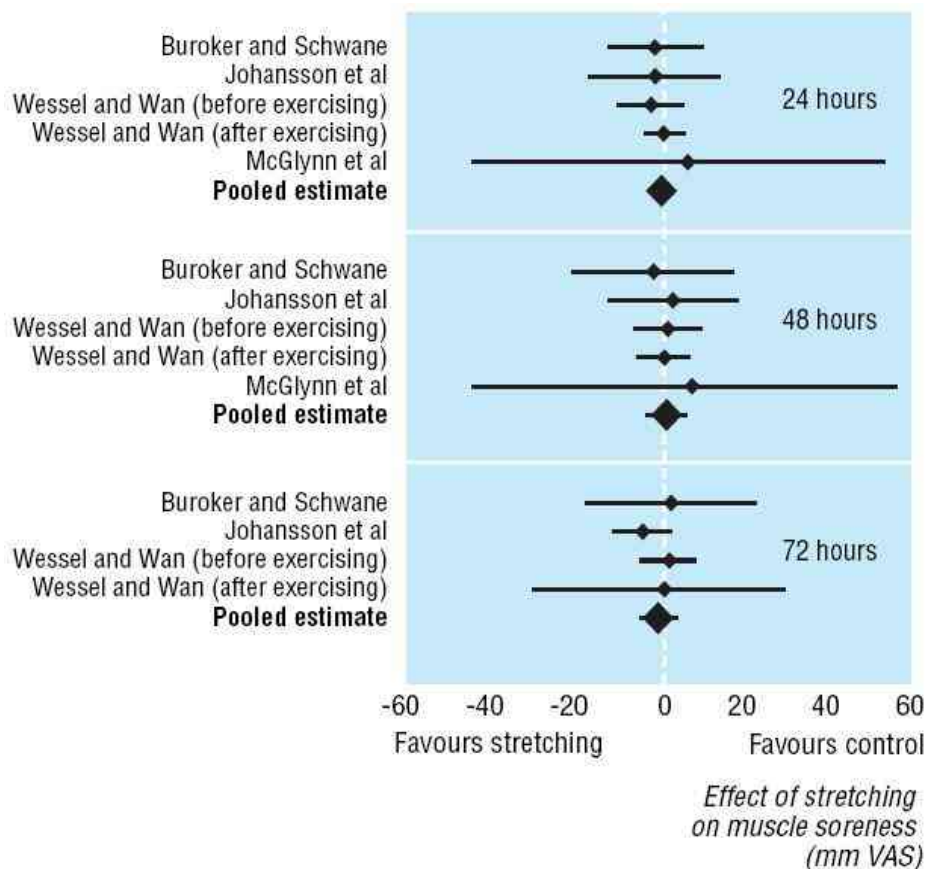


Figure 17 : Influence des étirements sur le résultat des douleurs à 24, 48 et 72h [19]

Herbert et Noronha ont construit également en 2007 une méta - analyse, publiées dans «The Cochrane Library» [23] sur les effets des étirements passifs en ce qui concerne les douleurs musculaires. Les études incluent dans cette publication sont celles de Buroker 1989, Dawson 2005, Gulick 1996, High 1989, Johansson 1999, Maxwell 1988, McGlynn 1979, Terry 1985, Wessel 1994. Trois ont pratiqué les étirements avant l'exercice (High, Johansson et Wessel) tandis que les autres les ont réalisé après. A été conclut que les étirements pré - exercice réduisent les douleurs un jour après, de 0,5 sur une échelle de 100 points. De même, les étirements post - exercice les réduisent de 1 point sur 100, 1 jour après. Devant ces résultats peu significatifs, les estimations ont été mises en commun pour affirmer que les étirements pré et post - exercice réduisent les douleurs de 0,9 points sur 100 le premier jour, les augmentent d'un point sur 100 à 2 jours et les diminuent de 0,3 à trois jours. Par ailleurs, Terry a réalisé son étude grâce à une technique d'étirement PNF (Proprioceptive Neuromuscular Facilitation) où les sujets devaient effectuer 4 à 6 secondes de contraction suivie de 2 secondes de relâchement et

8 secondes d'étirement. Ses résultats montrent que les douleurs sont abaissées de 1,1 points sur 100 au cours des deux premiers jours. Toutes ces études furent réalisées dans des cadres de laboratoires, avec des exercices types, exception faite avec celle de Dawson qui a étudié les étirements en contexte réel de match de football. Les résultats montrent alors que les douleurs ont augmenté de 3 points, 15 heures après et de 4 points, 48 heures après le match.

Cependant, en moyenne, toutes ces études révèlent des conclusions similaires. Les étirements n'ont pas ou peu d'effets sur les douleurs musculaires post - effort [Fig.18]. Les effets retrouvés sont trop faibles pour que l'on puisse les prendre en compte et ne sont pas en faveur d'un effet positif ou négatif.

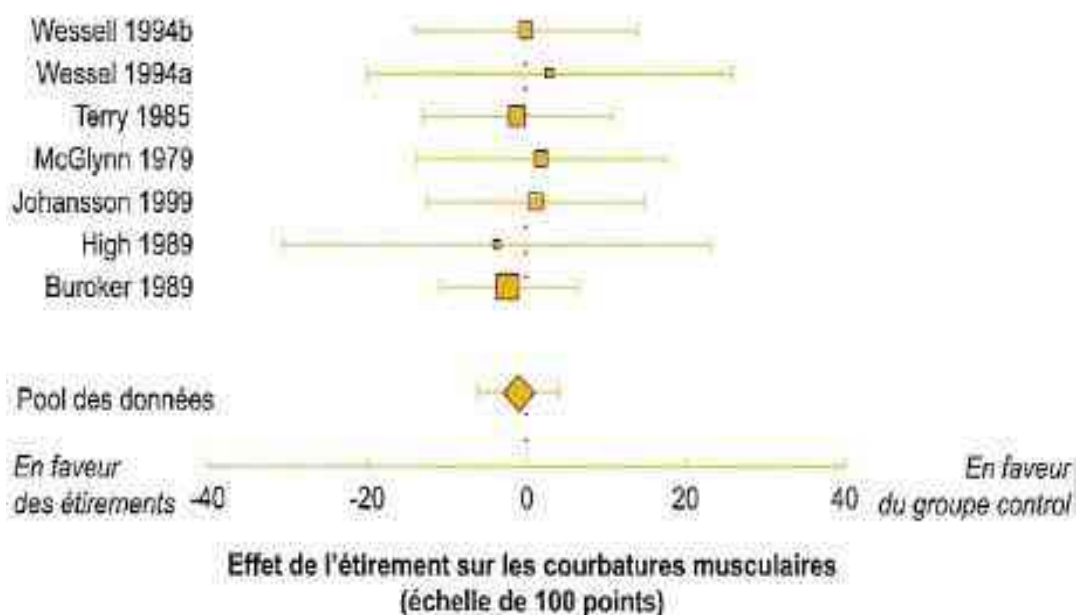


Figure 18 : Résultats des études de Herbert et Noronha sur la prévention des douleurs musculaires grâce aux étirements [23]

A la suite de l'effort, des courbatures peuvent se présenter, conséquences des microlésions intra - musculaires. Les douleurs ressenties sont identiques voire supérieures lorsqu'une séance d'étirement est réalisée avant ou après l'effort. Cela conforte l'idée que courbatures et étirements touchent les mêmes structures [8]. En résumé, réaliser de tels exercices n'est pas à préconiser car ils ne présentent aucune amélioration et peuvent même être délétères. En revanche, lorsqu'il s'agit de contractures post - effort, l'idée d'un étirement musculaire n'est pas à exclure. La réalisation d'une telle pratique permet d'effectuer un relâchement à deux étages. D'une part, au niveau de la raideur musculaire (ponts d'actine – myosine) présente en raison de l'activité physique [5, 10] et d'autre part,

en diminuant l'activation des motoneurones favorisant le relâchement du muscle. L'effet antalgique, qui fût relaté au niveau de la prévention des blessures, est un phénomène intervenant également en post - effort. Dans ce cas, le principe est un atout car on trouve une insensibilisation des récepteurs à la douleur, responsable du bien être ressenti par celui qui effectue cette pratique.

## **Autres vertus des étirements musculaires**

### EFFETS A COURT TERME

#### *L'échauffement*

Ziltener [8] explique que les étirements musculaires interrompent la circulation sanguine, réduisant ainsi le flux sanguin. Par ce phénomène, la température du muscle ne peut être augmentée et la phase d'échauffement est donc altérée. Young et Behm, repris dans cet article, ont même pu démontrer qu'un protocole d'échauffement, sans étirements statiques, donnaient de meilleurs résultats que s'il était réalisé à l'identique et incorporant des étirements statiques. Pour augmenter la température intra - musculaire, Cometti [5] affirme même que des séries de contractions concentriques contre résistance légère à moyenne se révèlent être plus efficaces.

#### *Et la performance dans tout ça...*

En ce qui concerne la force et la vitesse, l'utilisation des techniques de stretching avant l'exercice diminue les capacités du sujet dans ces deux domaines. Quelque soit la technique d'étirement utilisée, on note une diminution de la force de près de 9% et ce, jusqu'à une heure après l'exercice [5, 8, 10]. De même, au niveau des épreuves de vitesse sur le muscle, une étude de Wiemman et Klee, en 2000, reprise par Cometti et Gremion [5, 10], montre des résultats négatifs des étirements musculaires. Cette dernière demandait à des athlètes d'effectuer une séance d'étirement passif de 15 minutes, alternée avec des sprints de 40 mètres. Le résultat montrait une augmentation du temps de 0,14 secondes tandis que dans le groupe contrôle, qui ne réalisait pas ces exercices, aucune modification significative du temps (0,03 secondes) n'était retrouvée. Outre la force et la vitesse, nous retrouvons également une diminution de l'endurance de force après une séance d'étirement. Tous ces paramètres s'impliquent dans la rééducation lorsqu'un versant musculaire est envisagé et que l'on veut obtenir un résultat optimal pour le sujet. Guissard [21] critique négativement les études qui démontrent les effets néfastes des étirements sur la performance du muscle, en expliquant que les protocoles effectués sont bien trop théoriques, irréalisable et sans intérêt en condition réelle (étirement maximal durant 20 minutes à une heure pour Kokkonen (1998) et Fowles (2000) ou 20 étirements de 30 secondes à intensité maximale pour Babbaut en 2006). Elle affirme alors qu'une séance d'étirement réalisée dans des conditions raisonnables (intensité et durée d'environ 10 minutes) n'altèrent en aucun cas la force et la vitesse, mais

améliore les plans de glissement. Pourtant Wieman et Klee, dans leur étude, vu précédemment, trouvait un déficit de performance, alors que la séance d'étirement ne durait que 15 minutes.

### En guise de récupération

En ce qui concerne la récupération après exercice physique intense, les étirements musculaires ne sont pas à leurs avantages. Tout comme ce fût décrit auparavant, l'étirement du muscle comprime les capillaires sanguins et diminue le flux [5, 8, 10]. Le statique est donc à pénaliser car un effet de pompage est recommandé. Par ailleurs, les étirements musculaires ne permettent pas la prévention des courbatures, comme vue dans les études, car induisent des microtraumatismes supplémentaires. En revanche, comme le site Cometti [5], un avantage ressort avec ces exercices après l'effort : on peut constater une diminution de la raideur et de l'activation des motoneurons permettant ainsi un relâchement plus important du muscle.

### En ce qui concerne le traitement des lésions musculaires

La mise en place d'étirements sur un muscle ayant subi une lésion peut paraître contradictoire mais pourtant il y a bien là des avantages à employer cette technique. Ziltener, dans son article [8], cite, en reprenant une étude de Malliaropoulos et al., que « la réalisation d'un stretching passif statique dès la 48ème heure post - lésion grade II (déchirure) accélère la récupération des amplitudes articulaires et surtout le retour à une pleine activité sportive de façon significative ». En effet, les étirements musculaires sont utiles et importants pour le traitement des lésions, permettant ainsi de paralléliser les fibres du muscle pour éviter, lors de la cicatrisation, une prolifération anarchique [24]. Ces moyens sont la source d'une meilleure cicatrisation, d'une meilleure récupération et donc d'un retour plus précoce aux activités sportives. Un essai randomisé a été réalisé par Hwang et al. [25] sur 36 rats en comparant les effets de la décorine (agent antifibrotique), [groupe D], de l'exercice (mobilisation passive et étirements), [groupe E] et de l'absence de traitement, [groupe C], sur la régénération musculaire, la fibrose et la force. Le groupe E a lui même été séparé en trois groupes suivant le jour de début de la mobilisation. Les exercices pouvaient débuter durant ; la phase inflammatoire : 2 jours après la lésion (groupe E-2), la phase de réparation : 7 jours après la lésion (groupe E-7) ou la phase de remodelage : 14 jours après la lésion (groupe E-14). Les résultats montrent que la régénération des myofibrilles est plus importante dans les groupes D et E (surtout E-14) que dans le groupe C [Fig.19]. Cependant, la décorine voit son effet plus important que celui de l'exercice, mais une légère inversion se produit lorsque l'on compare le diamètre des myofibrilles. La fibrose a été diminuée de plus de 50% dans les groupes D et E par rapport au groupe C [Fig.20]. La force musculaire des groupes E-7 et E-14 a été améliorée, sans trouver toutefois de différence significative entre les deux. Le groupe D a, quant à lui, la meilleure performance dans ce paramètre [Fig.21]. Les étirements ont donc un effet important

pour le traitement des lésions musculaires, permettant de diminuer la fibrose, d'augmenter la régénération des myofibrilles et la force musculaire. Selon l'étude, le meilleur moment pour commencer les exercices est 14 jours après la lésion.

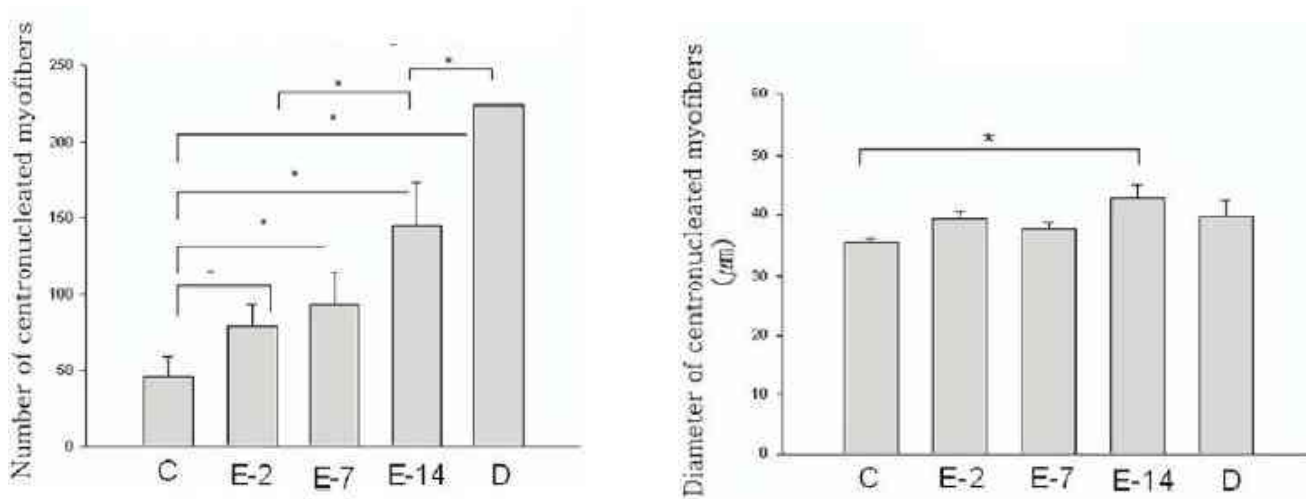


Figure 19 : Nombre et diamètre des myofibrilles [25]

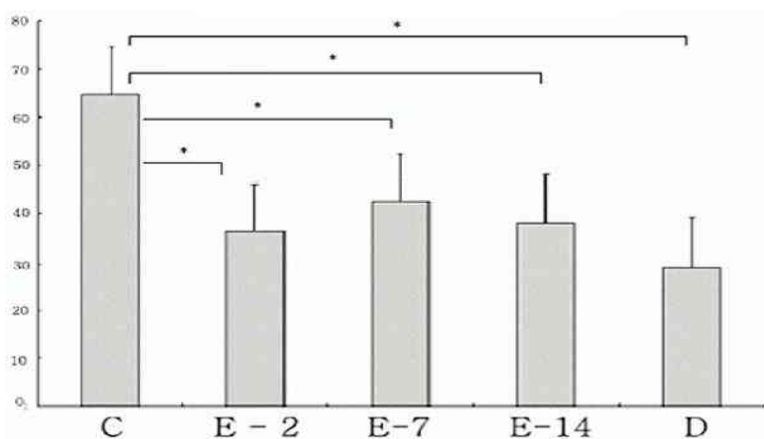


Figure 20 : Pourcentage de fibrose au niveau de la cicatrice [25]

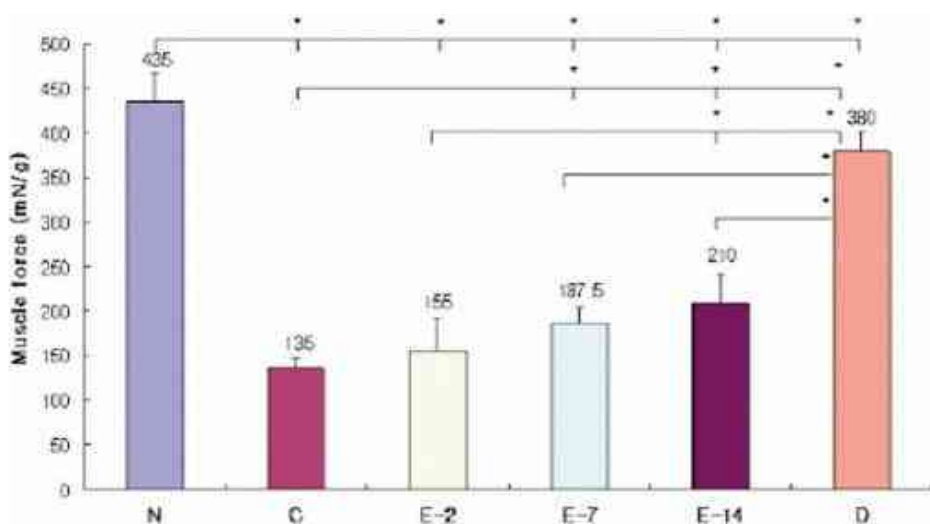


Figure 21 : Comparaison de la force musculaire [25]

## EFFETS A LONG TERME

Au long terme, Ziltener [8] explique que l'on peut obtenir une prévention des lésions de surcharge de l'appareil locomoteur, surtout en ce qui concerne les activités pliométriques. En effet, le tendon obtient une meilleure compliance au fil du temps, lui permettant d'emmagasiner plus d'énergie durant la phase excentrique et donc de diminuer les charges exercées sur le tissu contractile. Sur ce point, Witvrouw, dans une étude prospective [22], a montré que la raideur musculaire avait pour conséquence une diminution des amplitudes articulaires, elle même facteur prédisposant aux lésions du muscle. Alors, de ce point de vue, l'étirement musculaire, qui permet l'augmentation des amplitudes, est un moyen qui prévient les lésions sur le long terme.

Dans son article, Cometti [5] reprend les courbes de Magnusson concernant la raideur et la viscoélasticité du muscle au cours d'une même séance d'étirement. Celles - ci montrent qu'à court terme (durant une heure environ), raideur et viscoélasticité du muscle diminuent, permettant ainsi un gain d'amplitude [Fig.22]. En ce qui concerne les effets au long terme, ces deux paramètres restent inchangés et le gain d'amplitude est la conséquence de la tolérance à l'étirement.

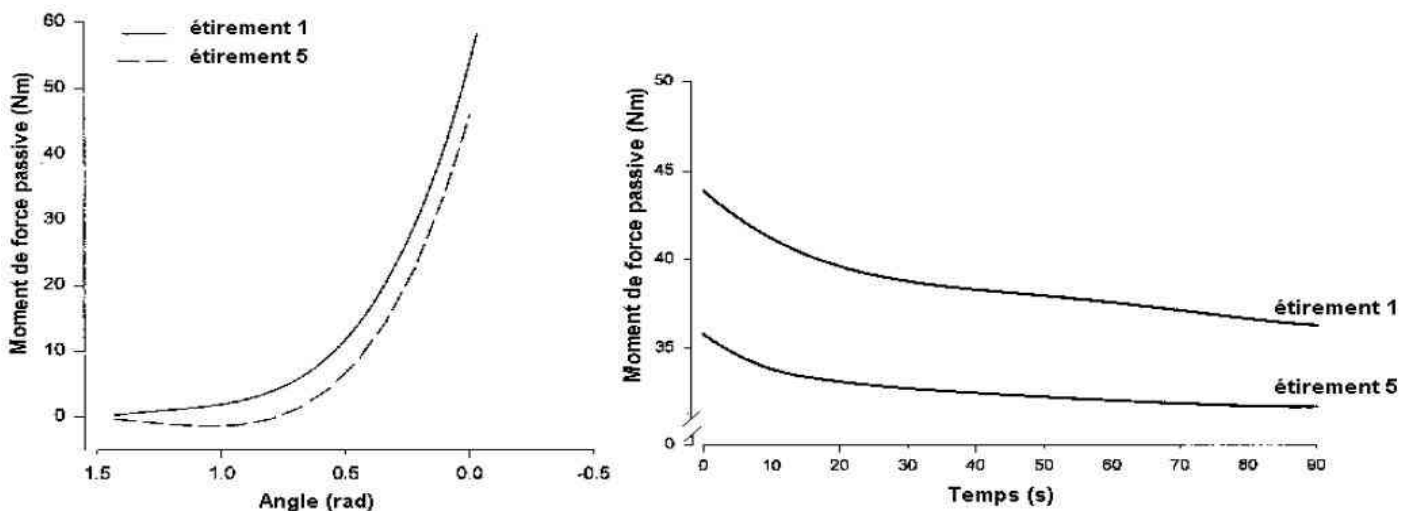
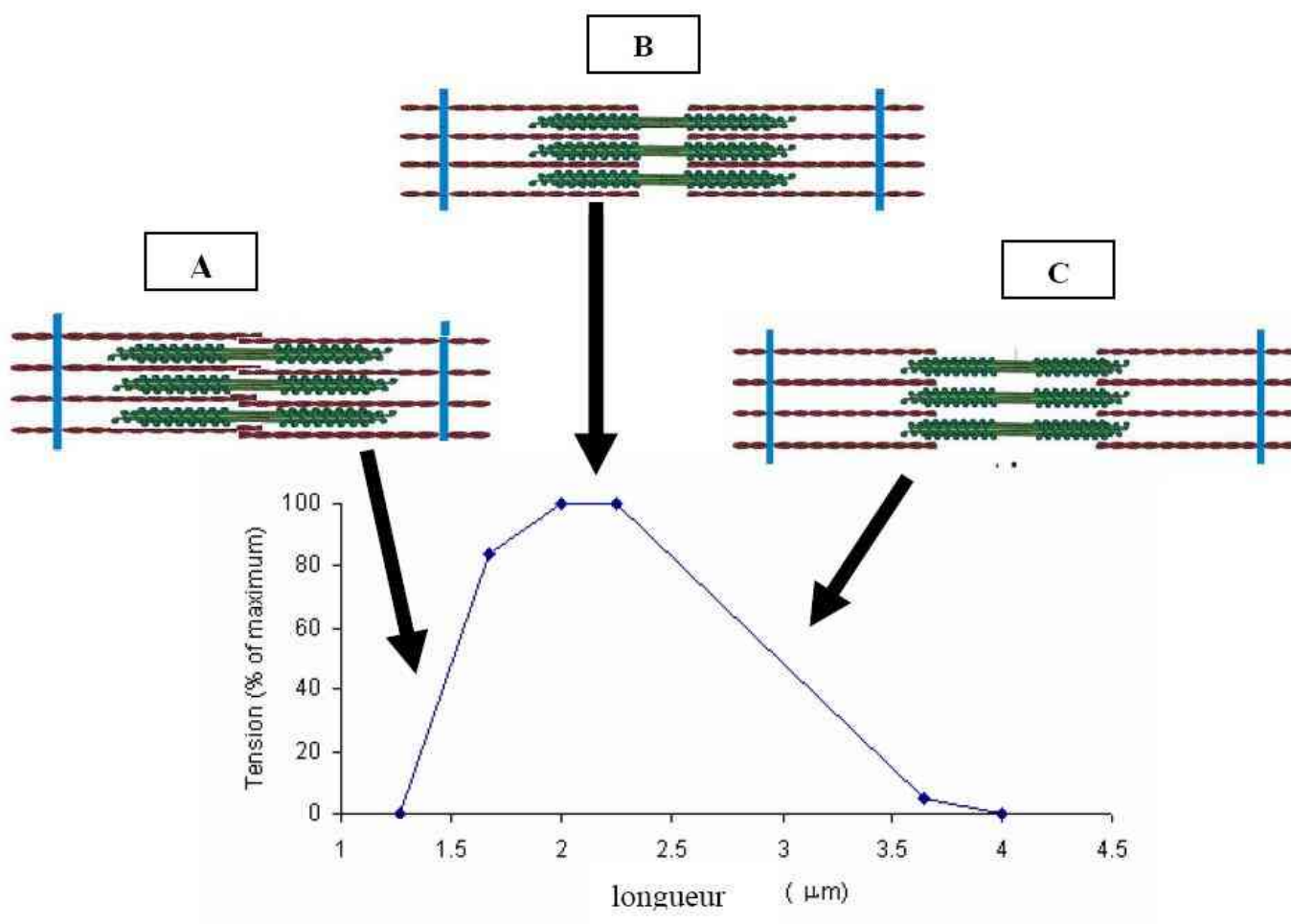


Figure 22 : Evolution de la raideur du muscle (courbe de gauche) et de la viscoélasticité (courbe de droite) entre le 1er et le 5ème étirement [5]

### Tolérance à l'étirement et non Principe de Goldspink [5]

Le gain d'amplitude est le résultat même de la tolérance à l'étirement où le sujet apprend à tolérer la tension maximale de l'étirement pour pouvoir au fur et à mesure l'augmenter. Certains auteurs évoquent le principe de Goldspink grâce auquel le nombre de sarcomères en séries augmentent lorsque le muscle reste en position allongée. Grâce à la courbe tension longueur [Fig.23], on comprend que le

muscle possède son maximum de capacité contractile lorsqu'il se trouve en position idéale, c'est à dire lorsque le nombre de ponts d'actine myosine est maximal. Si le muscle est allongé, le nombre de ponts est plus faible alors que s'il est raccourci, le chevauchement des filaments limite également leur nombre. Alors, le muscle s'adapte, le nombre de sarcomères en séries augmentent ou diminuent de telle sorte que dans cette nouvelle position le nombre de ponts soit optimal. Pour que cette théorie s'applique aux étirements, le temps passé à en effectuer correspondrait à la majeure partie des activités réalisées et non pas à une séance quotidienne de quelques dizaines de minutes.



**Légende :**

- Position A : un sarcomère raccourci
- Position B : une position idéale
- Position C : un sarcomère allongé

Figure 23 : Courbe tension longueur [5]

De plus, les travaux de Hutton, repris par Cometti [5], expliquent qu'un sujet a une certaine amplitude pour une certaine charge appliquée. Après un protocole d'étirement, le même sujet présente des résultats identiques (ce qui explique que le muscle n'est pas allongé). En revanche, l'amplitude mesurée est plus importante si la charge est plus élevée (ce qui montre, pour Magnusson, que le sujet présente une tolérance à l'étirement).

### *Autre modalité intéressante d'étirement dans cet objectif*

Si l'étirement musculaire passif augmente les amplitudes articulaires uniquement par le phénomène de tolérance à l'étirement (ce qui n'est pas en faveur de la prévention de blessures), l'étirement excentrique [5] lui, permet une augmentation des sarcomères en séries avec des temps d'étirements raisonnables. Cet argument serait donc en faveur d'une prévention des blessures et cette technique pourrait s'avérer utile. Pour ce faire, le sujet doit démarrer son exercice d'une position de faible tension, pour continuer ensuite son étirement en ajoutant une contraction du muscle (contraction donc excentrique) et réaliser cette technique avec les mêmes consignes que l'étirement passif.

Le fait que seule la tolérance à l'étirement soit responsable du gain d'amplitude à long terme ne fait pas l'unanimité. Guissard [21] entre en accord avec ce constat mais y ajoute des effets mécaniques : la modification des propriétés élastiques (élément éliminé par Magnusson), l'orientation mécanique plus efficace des fibres de collagène et des adaptations nerveuses. Selon elle, le tout permet un meilleur relâchement du muscle.

## **Conclusion**

Les étirements musculaires passifs sont utilisés dans une multitude d'objectif. S'il faut conserver certains d'entre eux, d'autres sont à écarter. Cette pratique présente des intérêts en ce qui concerne la prévention des lésions de surcharge, par une meilleure compliance du tendon [8], l'hypoextensibilité musculaire, par le phénomène de tolérance à l'étirement [5] et le traitement des lésions musculaires, par une parallélisation des fibres [24]. A contrario, les études montrent que les étirements ne sont pas efficaces pour l'échauffement [5], la prévention des blessures, des douleurs [17, 18, 19, 23] et la récupération où ils peuvent même s'avérer délétères en augmentant les micro-traumatismes. Dans ce dernier cas, des séries de 10 à 15 contractions – relâchements à vitesse lente, des programmes d'électrostimulation et des positions en surclive sont d'avantage à mettre en place [5]. Tout patient ressentira un bien être en s'étirant après sa séance, ce qui peut paraître contradictoire avec la création



de micro-traumatismes, pourtant ce sentiment est bien réel et il est le résultat de l'effet antalgique des étirements. Une éducation au patient pourrait être mise en place dans le but d'expliquer que le bien être ressenti n'est pas forcément ce qu'il faut rechercher du fait que la douleur soit un signe d'alerte.

Dans la rééducation de Monsieur D., un programme d'étirements musculaires était mis en place, visant ainsi à préparer la suite des séances dans les meilleures conditions, c'est à dire en prévenant les complications (douleurs, blessures). Il est vrai que dans ces objectifs, les étirements musculaires n'étaient pas forcément recommandés pour ce patient. Cependant, le sport qu'il pratique, le taekwondo, requiert des amplitudes articulaires importantes, monsieur D. ne peut donc se permettre d'être raide. A cette problématique, les étirements musculaires répondent favorablement et lui sont donc conseillés. A savoir quel objectif visé... Après cette étude, mon point de vue se porterait sur une rééducation comportant des séquences d'étirements musculaires effectuées lors de séances à part entière (pour entretenir les amplitudes articulaires nécessaires), dédiées exclusivement à ces exercices et à distance du travail physique (pour ne pas être délétère).

Un tel questionnement ne peut que changer les pratiques à venir. La formation et la modification des croyances doivent être mises en place de façon claire et précise pour écarter les actes inutiles. Cependant, pour aboutir à des réponses sans appel sur le sujet, de nouvelles études doivent être réalisées permettant ainsi d'étudier chaque objectif (prévention, hypoextensibilité musculaire, échauffement...) et chaque paramètre (critères d'inclusion, type d'étirement étudié...).

A l'issue de ce travail théorique, il serait intéressant de réaliser une étude sur les connaissances et sur la pratique quotidienne des kinésithérapeutes pour comprendre si le besoin d'un changement existe ou si finalement, les habitudes sont proches de la réalité.

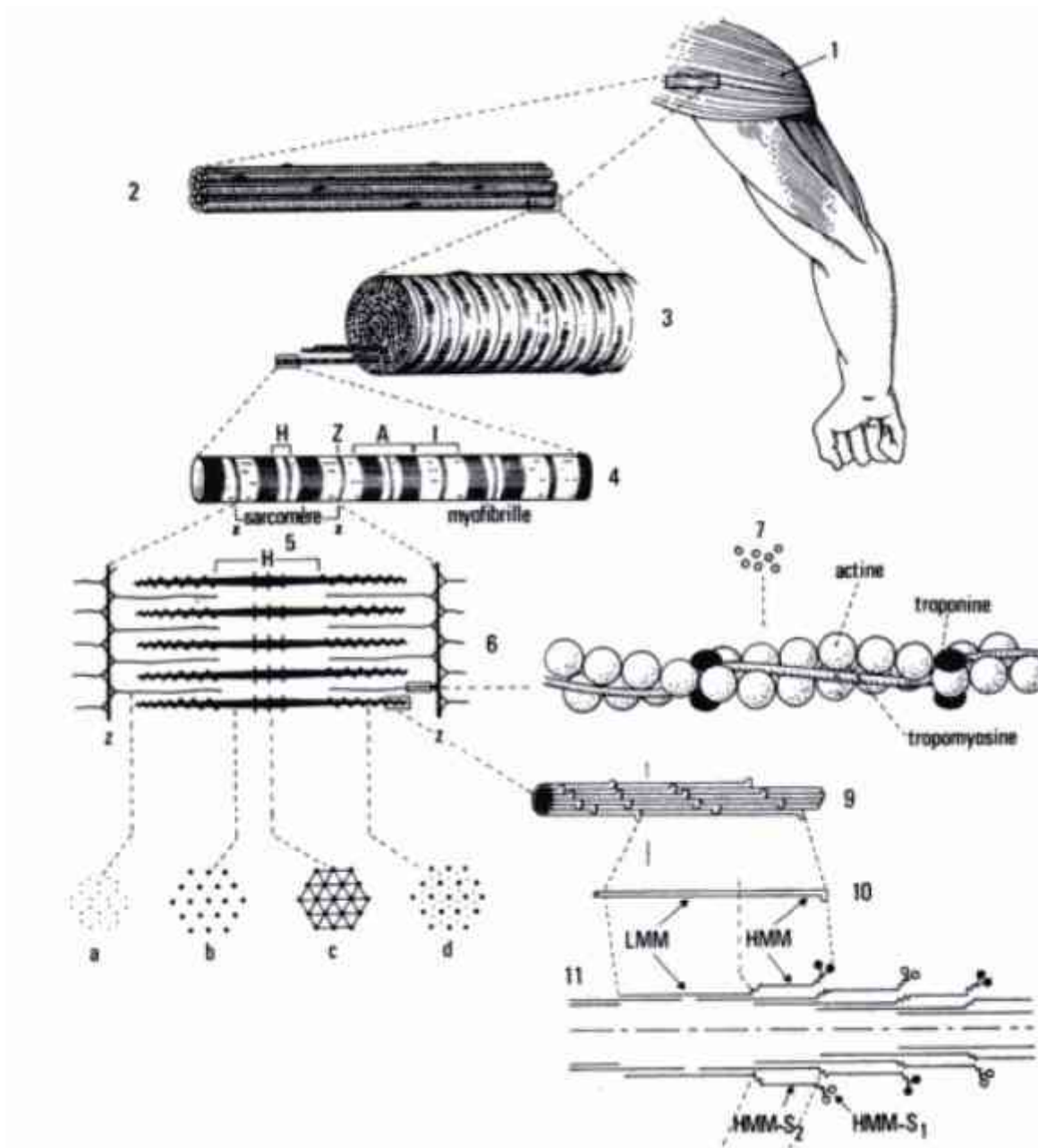
## **Bibliographie**

- [1] Dufour M, Pillu M. Biomécanique fonctionnelle (membres, tête, tronc). Paris: Masson; 2005. p 60-7.
- [2] Carrillon Y, Cohen M. Le muscle du sportif. J Radiol. 2007; 88: 129-42.
- [3] Monod H, Flandrois R, Vandewalle H. Physiologie du sport. Bases physiologiques des activités physiques et sportives. 6<sup>ème</sup> édition. Paris: Masson; 2007. p. 67.
- [4] Grabowski S, Tortora G. Principes d'anatomie et de physiologie. 3<sup>ème</sup> édition. Bruxelles: De Boeck; 2002. p 307-8.
- [5] Cometti G. Les limites du stretching pour la performance sportive. [En ligne]. [Consulté le 12/02/2010]: [33 pages]. Consultable à l'URL: <http://www.u-bourgogne.fr/EXPERTISE-PERFORMANCE/>
- [6] Shrier I, Gossal K. Myths and Truths of Stretching. Physician and sportsmedicine. 2000 Août; 28 (8): 57-63.
- [7] Viel E, Esnault M. Récupération du sportif blessé: De la rééducation en chaîne fermée au stretching en chaînes musculaires. Paris: Masson; 2003. p. 35-8.
- [8] Ziltener J-L, Allet L, Monnin D. Le stretching, un mythe...et des constats. J Traumatol Sport. 2005; 22: 112-5.
- [9] Provot M, Ledunois S, Pujo M, Thiebaut F-X. « Kinésithérapie d'entraînement et de préparation sportive » Encyclopédie Médico-Chirurgical (Éditions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris, tous droits réservés), Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation, 26-201-A-10, 1990, 16 p.
- [10] Gremion G. Les exercices d'étirement dans la pratique sportive ont-ils encore leur raison d'être ?. Rev Med Suisse. 2005 Juillet; 28: 1830-4.
- [11] Herbert R. Le stretching avant ou après l'exercice physique ne réduit pas les courbatures musculaires ni le risque de lésions. Kinesither Rev. 2008; 78: 38-40.
- [12] Geoffroy C. Guide des étirements du sportif. 4<sup>ème</sup> édition. Vigot; 2003. p. 13-44, 87-178.
- [13] Ylinen J. Étirements musculaires en thérapie manuelle. Théorie et pratique. Issy-les-Moulineaux: Masson; 2009. p 23.
- [14] De Labareyre H. La crampe musculaire Quelle origine?. Médecins du sport. 2009 Septembre/Octobre; 97: 32-4.
- [15] Christel P, De Labareyre H, Thelen J, De Lecluse J. « Pathologie traumatique du muscle striée squelettique », Encyclopédie Médico-Chirurgical (Éditions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris, tous droits réservés), Appareil Locomoteur, 15-140-A-10, 2005, 16 p.
- [16] Chanussot J-C, Danowski R-G. Rééducation en traumatologie du sport, Tome 2: membres inférieurs et rachis. 4<sup>ème</sup> édition. Paris: Masson; 2005. p. 61-83, 123, 127-8.

- [17] Pope R, Herbert R, Kirwan J. Effects of ankle dorsiflexion range and pre-exercise calf muscle stretching on injury risk in Army recruits. *Aust J Physiother.* 1998; 44(3): 165-72.
- [18] Pope R, Herbert R, Kirwan J, Graham B. A randomized trial of preexercise stretching for prevention of lower-limb injury. *Med Sci Sports Exerc.* 2000; 32(2): 271-7.
- [19] Herbert R, Gabriel M. Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: systematic review. *Br Med J.* 2002 Août; 325 (7362): 468.
- [20] Andersen J.C. Stretching before and after exercise: Effect on muscle soreness and injury risk. *J Athl Training.* 2005; 40(3): 218-20.
- [21] Guissard N. L'étirement musculaire: mise au point. *Revue de l'Education Physique.* 2007; 47: 66-70.
- [22] Witvrouw E, Danneels L, Asselman P, D'Have T, Cambier D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. *Am J Sports Med.* 2003; 31 (1): 41-5.
- [23] Herbert RD, de Noronha M. Stretching to prevent or reduce muscle soreness after exercise. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2007, Issue 4. Art. No.: CD004577. DOI: 10.1002/14651858.CD004577.pub2.
- [24] Atelier de Traumatologie du Sport. Baudot C, Berdoulet P. Les lésions musculaires du sportif. Paris; 2010 Mars.
- [25] Hwang J-H, Ra Y-J, Lee K-M, Lee J-Y, Ghil S-H. Therapeutic effect of passive mobilization exercise on improvement of muscle regeneration and prevention of fibrosis after laceration injury of rat. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006 Janvier; 87: 20-6.

# Annexe 1

## Structure du muscle strié squelettique [3]



1. Muscle. – 2. Faisceau de fibres. – 3. Fragment de fibre musculaire. 4. Myofibrille. – 5. Sarcomère, entre deux lignes Z. – A. Bande anisotrope, I. Bande isotrope, H. Bande H. – 6. Myofilaments et leurs sections en différents points (a, b, c, d). – 7. Molécules d'actine G. – 8. Filament d'actine. – 9. Filament de myosine. – 10. Molécule de myosine. – 11. LMM : méromyosine légère. – 12. HMM : méromyosine lourde (S1 et S2)

# Annexe 2

## Description des études incluses dans l'article de Herbert et Gabriel [19]

Study	Design	Subjects	Interventions	Outcome measurement
Buroker and Schwane <sup>15</sup>	Between subjects	28 volunteers (7 women and 16 men) aged 18-33 years. Exclusion: exercise contraindicated, highly physically trained, extremely active during 6 week period before study	Soreness in led muscles induced with step test. The stretch group performed post-exercise static stretches immediately after step test, at 2 hour intervals for the first 24 hours after the test, and at 4 hour intervals for the following 48 hours. The left knee extensors and right ankle plantarflexors were stretched for 10 repetitions, each of 30 seconds' duration	Muscle soreness measured 24, 48, and 72 hours after step test on 0-6 scale
Johansson et al <sup>16</sup>	Within subjects	10 healthy female volunteers with mean (SD) age of 24 (3) years. Exclusion: taking anti-inflammatory drugs, experiencing symptoms of musculoskeletal injury to leg, participation in weight training >3 hours/week, experiencing delayed onset muscle soreness at time of test	Soreness in knee flexor muscles induced with maximal eccentric contractions. Before exercise, four stretches (hurdle position) performed on experimental leg. Each stretch held for 20 seconds	Muscle soreness measured 0, 24, 48, and 96 hours after exercise on 100 mm visual analogue scale
McGlynn et al <sup>17</sup>	Between subjects	36 male students, aged 18-26 years. Exclusion: engagement in any systematic activity with the non-dominant arm in the 30 days before testing	Soreness of elbow flexor muscles induced with eccentric contractions. After exercise, stretch group performed four stretches of elbow flexor muscles. Each stretch was held for 2 minutes. Participants performed stretching routine at 6, 25, 30, 49, and 54 hours after exercise	Muscle soreness measured 0, 24, 48, and 72 hours after exercise on 0-10 scale
High et al <sup>18</sup>	Between subjects	62 volunteers (31 women and 31 men), mean age 19.5 years. Exclusion: training in past 6 months involving step climbing	Soreness in leg muscles induced with step test. Before exercise, stretch group performed two quadriceps stretches, each of 50 seconds' duration	Muscle soreness measured 24 hours after the step test on 0-6 scale
Wessel and Wan <sup>19</sup>	Within subjects	Two samples, each of 10 subjects. Experiment 1 involved two women and eight men, mean age 24.2 years. Experiment 2 involved five women and five men, mean age 25.2 years. Exclusion: history of back or leg injury or disease	Soreness in knee flexor muscles was induced with concentric or eccentric contractions. Knee flexor muscles of experimental leg were stretched before exercise in experiment 1 and after exercise in experiment 2. Ten stretches were performed, each of 60 seconds' duration	Muscle soreness measured 12, 24, 36, 48, 60, and 72 hours after exercise on 100 mm visual analogue scale
Gulick et al <sup>20</sup>	Between subjects	73 volunteers (38 women and 35 men) aged 21-40 years. Exclusion: pregnant and nursing women, history of liver and kidney dysfunction, peptic ulcer disease, and asthma	Soreness in wrist extensor muscles was induced with eccentric exercise. After exercise, stretch group performed 10 minute stretch of wrist extensor muscles	Muscle soreness measured 24, 48, and 72 hours after step test with 100 mm visual analogue scale
Pope et al <sup>21</sup>	Cluster randomised	1538 male army recruits (39 platoons), aged 17-35 years. Exclusion: history of any significant injury	Each participant performed physical workout once every second day for 11 weeks (40 sessions). Before exercise, experimental group performed 20 second stretches of gastrocnemius, soleus, hamstring, quadriceps, hip adductor, and hip flexor muscle groups bilaterally	Participants were observed for duration of 12 week training programme. Leg injuries were recorded if they prevented the subject from returning to activity within 3 days, free of signs and symptoms
Pope et al <sup>22</sup>	Cluster randomised	1093 male army recruits (26 platoons), aged 17-35 years. Exclusion: significant pre-existing injury	Each participant performed physical workout once every second day for 11 weeks (40 sessions). Before exercising, experimental group performed two 20 second stretches of the soleus and gastrocnemius muscle groups bilaterally. Control group stretched arm muscles instead	Participants were observed for duration of 12 week training programme. Ankle sprains, stress fractures of the tibia or foot, perostitis, Achilles tendonitis, and anterior compartment syndrome were recorded if they prevented subject from returning to activity within 3 days, free of signs and symptoms