

MINISTERE DE LA SANTE  
REGION LORRAINE  
INSTITUT LORRAIN DE FORMATION EN MASSO-KINESITHERAPIE  
DE NANCY

L'intérêt du travail excentrique précoce dans la prise en charge des lésions myo-aponévrotiques des Ischiojambiers chez les footballeurs de haut-niveau :  
Revue de littérature

Mémoire présenté par **Gallien COLARELLI**  
étudiant en 3ème année de masso-kinésithérapie  
en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat  
de Masseur-Kinésithérapeute.  
2011-2012

# SOMMAIRE

## RESUME

1.INTRODUCTION .....	1
2.METHODE DE RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE .....	3
3.EPIDEMIOLOGIE ET MECANISME LESIONNEL .....	4
3.1 Fréquence et incidence .....	4
3.2 Gestes et facteurs de risques .....	5
3.2.1 Le tackle .....	5
3.2.2 La frappe de balle .....	6
3.2.3 Le sprint.....	6
3.2.4 Les facteurs de risques.....	7
3.3Mécanisme lésionnel.....	7
4.RAPPELS MUSCULAIRES .....	8
4.1 Anatomie des muscles Ischiojambiers .....	8
4.2 Anatomophysiologie de muscle strié .....	10
4.2.1 Composante contractile .....	10
4.2.2 Composante non contractile .....	11
4.2.2.1 Composante élastique série.....	12
4.2.2.2 Composante élastique parallèle .....	12
4.2.2.3 La jonction myo-aponévrotique.....	13
4.3 Physiopathologie de la lésion myo-aponévrotique .....	14
5.LA PRISE EN CHARGE MASSO-KINESITHERAPIQUE .....	15
5.1 Le diagnostique .....	15
5.1.1 Le diagnostique précoce .....	15
5.1.2 Le recours à l'imagerie .....	15
5.1.2.1 L'écographie .....	16
5.1.2.2 L'Imagerie par résonnance magnétique.....	16
5.2 Prise en charge immédiate .....	17
5.2.1 Rappel sur la cicatrisation .....	17

5.2.1.1 La phase de destruction.....	17
5.2.1.2 La phase de réparation .....	18
5.2.1.3 La phase de remodelage.....	18
5.2.2 Protocole de prise en charge immédiate .....	18
6.INTERET DU TRAVAIL EXCENTRIQUE PRECOCE DANS LES LMA.....	19
6.1 Définition du travail excentrique .....	19
6.2 Caractéristiques physiologiques de la contraction excentrique .....	20
6.3 Excentrique et force musculaire.....	20
6.4 Excentrique et adaptation musculaire .....	21
6.4.1 Adaptation mécanique .....	21
6.4.2 Adaptation neurologique .....	22
6.4.3 Adaptation génique.....	22
6.5 Apport de l'excentrique sous maximal précoce dans le traitement de LMA .....	22
6.5.1 Amélioration de la vascularisation .....	23
6.5.2 Amélioration de l'organisation tissulaire .....	23
6.5.3 Amélioration de la cicatrisation.....	24
6.5.4 Limitation de l'atrophie musculaire et prévention des contractures .....	24
6.5.5 Amélioration neuro-musculaire.....	25
6.6 Importance du type de travail excentrique .....	25
7.DISCUSSION .....	26
8.CONCLUSION.....	29
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXES	

## **RESUME**

Le football de haut-niveau est pourvoyeur de lésions musculaires dont les plus fréquentes sont celles touchant les Ischiojambiers. Elles surviennent principalement lors d'une accélération, et plus précisément en fin de phase oscillante au moment où les fléchisseurs vont être un frein à l'extension de genou. Le but de ce mémoire est d'analyser si le travail excentrique a un intérêt dans la prise en charge immédiate de ce type de lésion. Pour cela nous avons collecté des données issues de la littérature portant sur les lésions myo-aponévrotiques, leur diagnostic et leur prise en charge en précoce, ainsi que l'apport de la contraction excentrique dans cette rééducation. Le résultat de cette recherche nous permet d'établir que les protocoles empiriques type P.R.I.C.E. ne sont plus d'actualité et que l'avenir se tourne en faveur d'une traction précoce sur l'ensemble myo-conjonctif. Nous dénotons aussi le faible nombre de protocoles établi sur le sujet ainsi que leur manque de consensus. Cependant, tous utilisent la contraction excentrique sous maximale, notamment pour son action favorable sur la cicatrisation. Ces résultats nous permettent de montrer que le travail excentrique a bien une place dans la rééducation précoce des lésions musculo-aponévrotiques.

Mots-clés : Excentrique, lésion myo-aponévrotique, football professionnel, ischiojambiers

Key-words: eccentric exercise, negative work, strain injury, elite soccer, hamstring

## 1. INTRODUCTION

Le football est l'un des sports le plus pratiqué dans le monde. En 2006, la F.I.F.A. recensait 265 millions de licenciés, parmi eux 110 000 professionnels masculins [1].

A ce niveau de compétition les joueurs sont des athlètes entraînés, qui doivent se maintenir au meilleur de leur forme durant toute la saison. Pour se faire ils sont entourés par des professionnels de nombreux domaines (médecins, kinésithérapeutes du sport, préparateurs physiques, nutritionnistes, ostéopathes ...). Leur calendrier est rythmé par les entraînements, les stages préparatoires, les mises au vert et les rencontres. Ceci représente entre 315 à 330 jours par an. Notre siècle se place dans une philosophie du dépassement de soi, où les athlètes sont soumis à un devoir de performance. Il faut sans cesse repousser ses limites, comme celle de la douleur physique, ce qui conduit le professionnel à jouer malgré la fatigue ou la blessure [2]. A cela s'ajoutent des contraintes d'ordre financier et la pression mise par l'encadrement sportif, d'autant plus à haut niveau. L'écartement des terrains pour un joueur professionnel occasionne un déconditionnement physique et des pertes financières importantes pour les clubs [3].

Le football est un sport de déplacements rapides fait de sprints d'une vingtaine de mètres, de saut et de contact (tacle, béquille). Les connaissances de la biomécanique de ce sport et de l'anatomie-physiologie des Ischiojambiers vont permettre de comprendre les

mécanismes lésionnels qui en font un sport à risque de lésions myo-aponévrotique de ce groupe musculaire. L'encadrement strict des footballeurs n'évite pas la survenue de blessures qui sont relativement fréquentes. D'ailleurs, le taux de récurrences de ce type de lésion est de 22 à 25 % [4]. L'arrivée de l'échographie dans le diagnostic a permis d'être précis sur la nature des éléments touchés et ainsi de redéfinir les blessures musculaires comme étant des lésions myo-aponévrotiques.

Après avoir défini la lésion myo-aponévrotique, fait des rappels anatomiques et physiologiques des Ischiojambiers, vu les mécanismes de cicatrisation musculaire, nous aborderons la prise en charge masso-kinésithérapique immédiate de ce type de blessures et nous tenterons de démontrer que le travail excentrique précoce a toute sa place dans la rééducation des footballeurs de haut-niveau.

## 2. METHODE DE RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Pour ce travail, notre méthode de recherche s'est basée sur une étude des publications en rapport avec notre question principale, l'excentrique a-t-il une place dans la prise en charge immédiate des lésions myo-aponévrotiques des Ischiojambiers chez le footballeur professionnel ?

Pour cela nous avons commencé en interrogeant les bases de données électroniques telles Pubmed, Em-C, Science direct ou encore Kinédoc, ... (Tab.1) Ensuite nous avons poursuivi par une recherche manuelle en consultant les bibliothèques de Réédoc, à l'Institut de rééducation et réadaptation de Nancy, et de Médecine à Nancy-Brabois. Pour finir, nous avons complété par la consultation du site internet officiel de la F.I.F.A (Fédération Internationale de Football Association) et de documents fournis par l'équipe du C.E.R.S (Centre Européen de Rééducation du Sportif) de Saint-Raphaël.

Notre recherche s'est faite grâce à des mots clés anglais (early eccentric, negative work, rehabilitation, Strain injuries, Hamstring injuries, Elite soccer, ...) et français (Excentrique précoce, rééducation, lésion musculaire des Ischiojambiers, football de haut-niveau, ...).

Tableau I. Exemples de méthodes de recherches bibliographiques.

Moteur de recherche	Mots clés	Nombres total de réponses	Nombres de réponses dans les 5 dernières années	Nombre de réponses dans les 10 dernières années	Nombre de réponses retenues et causes
Pubmed	Early eccentric and Hamstring injury	8	8	8	5 par analyse du titre et du résumé.
PEDro	Early eccentric	12	/	/	2
Science Direct	Early eccentric and Hamstring injury and elite soccer	138	86	125	24 par analyse du titre et du résumé

### 3. EPIDEMIOLOGIE ET MECANISME LESIONNEL

#### 3.1 Fréquence et incidence

Une étude menée de 2001 à 2009 sur des équipes de football professionnel a permis de constater que la lésion musculaire constitue 31% des blessures, et, le groupe musculaire le plus touché est celui des Ischiojambiers (IJ) avec 37% de risques [5]. Pour être plus précis, une étude d'Ekstrand [6] qui concerne exclusivement la lésion musculo-aponévrotique (LMA) des IJ dans le football de haut-niveau montre que 83% de cette blessure concerne le biceps

fémoral. Pour finir il conclut par un constat alarmant, la récurrence n'a concerné que le biceps fémoral.

L'incidence est le risque potentiel de blessures pour 1000 heures de jeu. En ce qui concerne les blessures musculaires, lors de l'entraînement elle est de 0.8 pour 1000 heures, ce qui est négligeable. En revanche lors du match, elle est de 8.4 pour 1000 heures. [7]

### **3.2 Gestes et facteurs de risques**

#### **3.2.1 Le tackle**



Figure 1 : Le tackle

Le tackle est utilisé pour intercepter un ballon dans les pieds de l'adversaire. Pour cela le joueur réalise une extension de genou associée à une flexion de hanche du membre inférieur en action et une flexion de genou, abduction et extension de hanche du membre controlatéral ce qui a pour effet de verrouiller le bassin. (fig. 1)

### 3.2.1 La frappe de balle

Le geste sportif de la frappe peut se décomposer en deux grandes phases à risques lésionnels, l'une concerne le droit fémoral au moment de l'armer et l'autre les Ischiojambiers à la fin de la frappe. En effet à cet instant les Ischiojambiers interviennent en freinant la contraction du quadriceps, la hanche du joueur est en flexion et le genou en extension. Le risque de lésion par « sur-étirement » (overstretch) est augmenté si le protagoniste « shoot » sans ballon [8]. (Fig. 2)

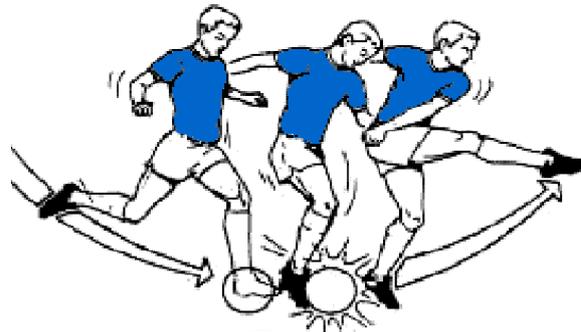


Figure 2 : La frappe de balle

### 3.2.2 Le sprint

Le football de haut-niveau est ponctué d'accélération rapides appelées « sprints » [9]. Le sprint augmente le risque de LMA. Des études réalisées montrent que les IJ atteignent un pic de fragilité à 90% du cycle de course (fin de phase oscillante) lors de leur pic d'étirement

car la hanche est fléchie et le genou en extension [10,11]. De plus, à cet instant, la contraction se fait selon un mode excentrique [12, 13]. (Annexe I)

### **3.2.3 Les facteurs de risques**

A ce niveau, la survenue des LMA est plurifactorielle [14, 15]. Le principal facteur de risque est la fatigue [16, 17, 18]. A celle-ci s'ajoutent, le phénomène d'overplaying qui est caractérisé par un nombre élevé de match par semaine [9, 19], le déficit de force excentrique des Ischiojambiers [20, 21, 22] et le déséquilibre de la balance quadriceps sur Ischiojambiers [23, 24]. Un sportif touché par une lésion aux IJ a plus de risque de récidiver sur ce même groupe [25].

### **3.3 Mécanisme lésionnel**

La composante la plus à risque pour ce type de lésion est le sprint [26]. En effet, lors de la course, les Ischiojambiers interviennent en excentrique en fin de pas oscillant pour freiner l'extension de genou afin d'éviter l'hyper extension brutale, d'orienter et de stabiliser la jambe avant le contact au sol [10, 12, 13, 27, 28, 29, 30, 31]. Lors de ce geste le biceps fémoral est le chef le plus sollicité des muscles du groupe ce qui explique qu'il soit le plus touché à ce moment du cycle [11, 32, 33, 34, 35, 36]. La lésion siège le plus souvent entre les deux chefs court et long du biceps fémoral [37, 38, 39, 40].

## 4. RAPPELS MUSCULAIRES

### 4.1 Anatomie des Muscles Ischiojambiers [41]

Les IJ se situent à la face postérieure de la cuisse, ils sont constitués de trois muscles bi-articulaires et d'un mono-articulaire. Ils sont constitués du semi-tendineux, du semi-membraneux et du biceps fémoral issu de l'union des chefs court et long. Ils s'insèrent au niveau de la tubérosité ischiatique (sauf le court biceps), et ont un trajet vers le bas et prennent chacun leur terminaison propre. (Fig. 3)

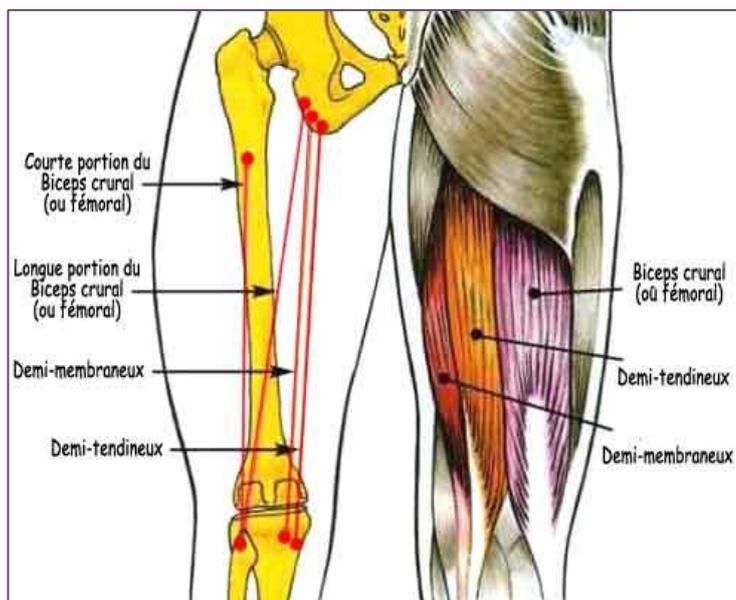


Figure 3 : Les ischiojambiers.

- Le semi-tendineux rejoint les muscles de la patte d'oie sur le quart supérieur de la face médiale du tibia.
- Le semi-membraneux déploie trois expansions, une directe sur l'épiphyse supérieure à la face postérieure du tibia, une réfléchie sur la partie antéro-médiale du tibia, et une récurrente sur la partie supérieure de la coque condylienne latérale.
- Le long biceps fémoral est rejoint au cours de son trajet à la face postérieure du fémur par la courte portion, qui prend insertion au deux tiers inférieurs de la lèvre latérale de la ligne âpre. Cette réunion donne lieu à un tendon commun se terminant sur l'extrémité supérieure de la fibula et fournissant des expansions vers le condyle latéral, le fascia jambier et la capsule tibio-fibulaire.

L'innervation de l'ensemble de ce groupe musculaire est assurée par le Nerf Sciatique de racine L5-S1-S2 sauf pour le biceps fémoral qui ne reçoit pas de racine issue de L5.

En chaîne cinétique ouverte, ils réalisent l'extension dans la coxo-fémorale et la flexion de l'articulation fémoro-tibiale. Le biceps fémoral va avoir une action valgisante et de rotation latérale. Le semi-tendineux et le semi-membraneux sont varisants et rotateurs médiaux. En chaîne cinétique fermée, ils réalisent une rétroversion de bassin par le biais du tendon commun. Par le biais de leurs insertions distales, ils permettent un contrôle du glissement antérieur et des rotations de tibia sur le fémur protégeant ainsi le ligament croisé antérieur. Pendant le cycle de marche ou de course les Ischiojambiers ont un rôle majeur de frein de l'extension active du genou dans le but de protéger l'articulation de genou [10].

## **4.2 Anatomophysiologie du muscle strié [42, 43, 44]**

L'entité musculaire est constituée d'une composante contractile (fibres musculaires) qui lui confère son action contractile. A cela s'ajoute des composantes non contractiles permettant le soutien et la stabilité myo-conjonctive. Ces différents éléments constituent un véritable bio-composite.

Ces composantes mécaniques sont en lien étroit avec les faisceaux neuromusculaires et les organes tendineux de Golgi qui sont sensibles à l'étirement et à la tension et permettent l'adaptation rapide des fibres dans le but de les protéger de contraintes exagérées. Ceci fait du muscle un organe sensitif.

### **4.2.1 Composante contractile**

La fibre musculaire est composée de sous unités morphologiques appelées myofibrilles. Elles sont constituées d'unités fonctionnelles de la longueur du muscle strié nommées sarcomères et formées par la succession d'une strie Z, une demi-bande I, une bande A, une demi-bande I, et enfin une strie Z. (Fig.4). Cet enchainement de bandes donne un aspect strié à l'origine de l'appellation de muscle strié.

On distingue deux principaux filaments formant le sarcomère : (Annexe II)

- un contingent de filaments épais constitué essentiellement de myosine et dessinant la bande A
- un contingent de filaments fins fait principalement d'actine, tropomyosine et de troponine. Ce dernier est accroché à la strie Z et pénètre la bande A entre les filaments épais sans jamais atteindre la bande H. Il forme la bande I.

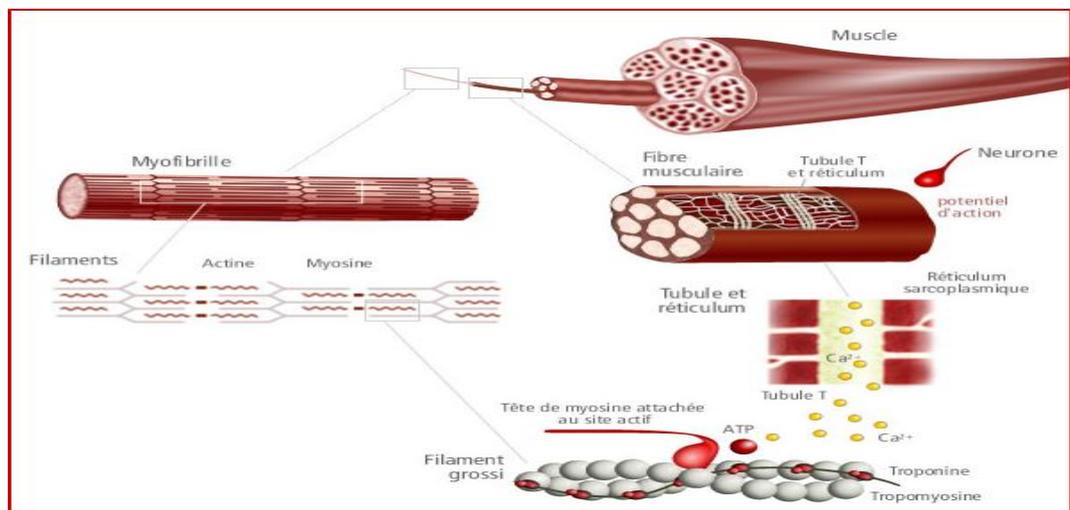


Figure 4 : Composition du muscle strié.

#### 4.2.2 Composante non contractile

L'architecture du muscle est préservée par la composante élastique parallèle qui a un rôle de soutien et par la composante élastique série jouant un rôle de connexion des structures filamentaires de la composante contractile.

#### **4.2.2.1 Composante élastique série**

Pour engendrer le mouvement d'une articulation, l'entité musculaire, doit prendre attache sur différentes pièces osseuses. Les insertions distale et proximale d'un muscle se font via un tendon. Ce dernier va permettre la transmission de force au levier osseux et induire un déplacement articulaire.

#### **4.2.2.2 Composante élastique parallèle**

L'endomysium est l'enveloppe entourant la fibre musculaire. Le faisceau de fibres musculaires est, quant à lui, enveloppé par le périnysium (ou aponévrose centromusculaire) très solide et vascularisé. L'ensemble des faisceaux est entouré par l'épinysium ou aponévrose périphérique (périnysculaire). Les prolongements de l'endomysium, du périnysium et de l'épinysium se greffent au fascia musculaire externe et se continuent par un tendon. Les pédicules vasculo-nerveux destinés aux fibres musculaires traversent les différentes enveloppes aponévrotiques, les capillaires forment même un réseau dans l'endomysium entourant ainsi chaque fibre [37, 40]. (Fig.5)

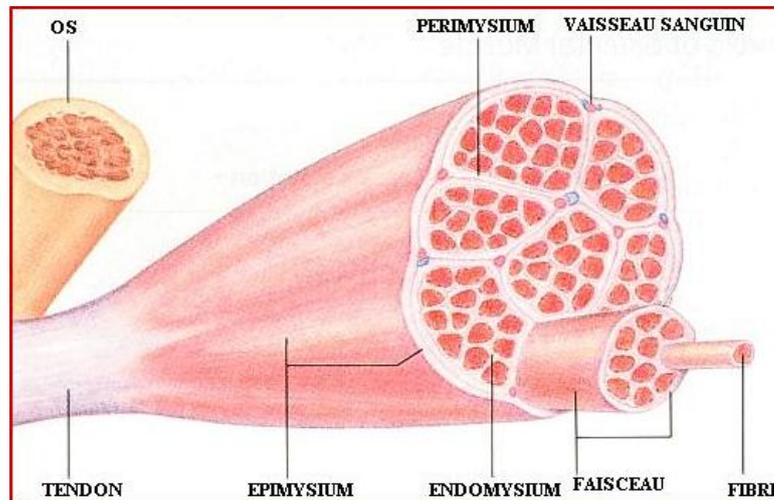


Figure 5 : Les tissus conjonctifs de soutien

#### 4.2.2.3 La jonction myo-aponévrotique

Les filaments intermédiaires, autrefois appelés connexines, constituent le cytosquelette qui organise la fibre musculaire. Les principaux sont, la titine tendue de la strie Z jusqu'au centre de la bande M, la myoméline qui ancre la titine à la bande M et la desmine qui relie les sarcomères entre eux [45].

Le lien entre la composante musculaire et le tissu conjonctif de soutien est régi par deux chaînes protéiques principales appelées costamères [46]. La première réunit la dystrophine-distroglycane-laminine et la seconde est faite de valine-vinculine-intégrine-laminine [47]. Ces deux complexes s'ancrent à l'alpha-actine pour se terminer sur le collagène des enveloppes aponévrotiques. (Annexe III)

### 4.3 Physiopathologie de la lésion myo-aponévrotique

La LMA est un terme issu des descriptions les plus précises de l'imagerie [39, 48, 49]. Elle survient en cas de contraction excentrique [40] et se situe au niveau des différents relais entre les entités conjonctives et contractiles [50, 51]. Les fibres musculaires, la structure conjonctive de soutien et les ramifications vasculo-nerveuses intramusculaires sont touchées [26]. La lésion peut être extrinsèque c'est-à-dire le résultat d'un choc externe comme une béquille, ou intrinsèque sans agent externe. [52] Dans le cadre de ce travail nous nous intéresserons à la lésion dite intrinsèque, dont sont décrites trois localisations principales [39, 49, 51] :

- la jonction entre les fibres musculaires et la cloison aponévrotique centromusculaire,
- l'interface entre le muscle et l'aponévrose périmusculaire par exemple entre les deux chefs court et long du Biceps fémoral [37, 38]
- la jonction myo-tendineuse.

On ne parle donc plus de rupture musculaire mais de désinsertion myo-aponévrotique ou myo-tendineuse. [40, 53]

## **5. LA PRISE EN CHARGE MASSO-KINESITHERAPIQUE**

### **5.1 Le diagnostique**

#### **5.1.1 Le diagnostique précoce**

Le premier diagnostique est posé par les signes cliniques survenant après la blessure. Dans les vestiaires les tests dits « de la triade » (douleur à l'étirement, à la palpation et à la contraction excentrique) sont effectués. Cependant, on recherche aussi à quelle course la douleur exquise de cisaillement myo-aponévrotique apparaît [54]. Un œdème et/ou un hématome apparaissant dès le 2<sup>ième</sup> jour [37], le patient adopte alors une position antalgique. Tout autant de données nécessaires à la suite de la prise en charge du footballeur de haut-niveau. La palpation est à réaliser en fin de testing afin de ne pas déclencher de douleurs faussant le diagnostic.

#### **5.1.2 Le recours à l'imagerie**

Le recours à l'imagerie par échographie voire I.R.M est incontournable pour établir un diagnostique précis de l'étendue de la lésion, de la structure qui est touchée et ainsi définir la gravité de la blessure pour mettre en place la rééducation la plus adaptée au patient. Elle est réalisée à j-3 ou j-4 post-lésionnel [50].

### **5.1.2.1 L'échographie**

Elle est quasi systématique et de première intention pour le diagnostic des lésions musculaires. De plus, elle reste suffisante dans la plupart des cas. Elle est relativement facile à obtenir, peu onéreuse, peut se réaliser précocement et peut être répétée dans le but de suivre l'évolution clinique de la lésion. Ses limites sont atteintes selon l'expérience de l'opérateur, la profondeur de la lésion, et la qualité du matériel utilisé. Une lésion myo-aponévrotique récente est mise en évidence par une image hypoéchogène au contact de la cloison intramusculaire ou d'une aponévrose périphérique, le plus fréquemment au niveau de la jonction entre les deux chefs musculaires [26, 38, 48].

### **5.1.2.2 L'Imagerie par Résonance Magnétique**

L'I.R.M. est surtout utilisée en examen de seconde intention. En effet, son accessibilité est peu aisée, son coût est élevé et le risque de surestimer la gravité des lésions est important ceci dû à sa grande sensibilité à détecter l'œdème. Elle trouve donc son importance dans les limites de l'examen échographique et plus récemment dans l'évaluation des risques de récurrence de blessures des IJ par la mesure de la longueur de la lésion qui va être caractérisée par un hyper signal jouxtant une cloison aponévrotique ou un tendon [26, 55].

## **5.2 Prise en charge immédiate**

### **5.2.1 Rappel sur la cicatrisation**

Il existe des facteurs indispensables à la bonne régénération du muscle comme l'intégrité du tube endomysial formé par la membrane basale, où prolifèrent de façon harmonieuse les cellules satellites. Il y a trois conditions nécessaires à la cicatrisation musculaire que sont, une bonne vascularisation, une innervation et un facteur mécanique de mobilisation et traction longitudinale infra douloureux. Après un traumatisme musculaire, le muscle va se régénérer en parallèle avec une cicatrisation des tissus conjonctifs de soutien. Plusieurs phases vont se succéder [26, 27, 56, 57].

#### **5.2.1.1 La phase de destruction**

C'est une phase post-traumatique immédiate où les myofibrilles se dégradent et se nécrosent sous l'effet des neutrophiles puis des macrophages. Elle s'accompagne de saignements plus ou moins importants créant un hématome post-lésionnel. Une réaction inflammatoire, initiée par les cytokines et la libération importante de radicaux libres, va se produire au niveau du foyer et induire un œdème. Ces deux phénomènes sont indispensables pour la bonne régénération de l'ensemble musculo-aponévrotique. A la fin de cette déterision seule persiste la membrane basale qui va servir de charpente à la régénération du muscle.

### **5.2.1.2 La phase de réparation**

Dès le 2<sup>ième</sup> jour post-lésionnel les cellules satellites se transforment en myoblastes ou en tissu fibreux, ceci aura un rôle primordial dans la suite de la cicatrisation. Les cellules satellites vont être activées par des protéases et donner naissance à des cellules myogéniques. Parallèlement à cela les macrophages vont phagocyter le matériel nécrotique, produire des cytokines et des facteurs de croissance pour permettre une différenciation des cellules myogéniques en myoblastes puis en myotubes. Enfin on assiste à un développement de la vascularisation capillaire au sein même de la lésion et à sa périphérie.

### **5.2.1.2 La phase de remodelage**

Les cellules musculaires en régénération vont envahir le tissu cicatriciel conjonctif et des molécules d'adhésions, type intégrines, vont venir se fixer sur les bords de chaque myofibres les ancrant ainsi au tissu cicatriciel et au tissu avoisinant. On assiste enfin à la réinnervation des plaques motrices ainsi qu'à une maturation de la circulation capillaire.

## **5.2.2 Protocole de prise en charge immédiate**

L'objectif de la prise en charge d'un sportif victime d'une lésion musculaire est le retour le plus rapide au niveau antérieur en minimisant les risques de récurrence. Mais, bien que

tous les auteurs soient en accord avec cet objectif, il persiste un manque de consensus sur les protocoles à mettre en place pour y parvenir. [58]

Il est important de préciser que l'application des premiers gestes sur le terrain va conditionner la suite de la prise en charge. Le protocole standard a longtemps été résumé sous les acronymes R.I.C.E puis récemment P.R.I.C.E. pour Protection, Rest, Ice, Compression, Elevation [27, 34, 37, 56, 59]. Et, aujourd'hui, P.O.L.I.C.E pour Protection, Optimal loading (=Charge optimale), Ice, Compression, Elevation. L'apport du terme de charge optimale est justifié par les auteurs par la recherche subtile d'équilibre entre repos et charge mécanique à appliquer. Elle est nécessaire à une cicatrisation optimale [60, 61, 62, 63].

## **6. INTERET DU TRAVAIL EXCENTRIQUE PRECOCE DANS LES LMA**

### **6.1 Définition du travail excentrique**

L'excentrique ou « lengthening contraction» est un mode de contraction musculaire qui associe un mécanisme de contraction musculaire et un étirement des structures conjonctives de soutien [64, 65, 66]. Il a été appelé « negative work » par les anglophones du fait de son opposition à la contraction concentrique effectrice d'un moment [67].

## **6.2 Caractéristiques physiologiques de la contraction excentrique**

La physiologie de la contraction excentrique est moins bien connue que la concentrique. Cependant il existe des différences entre les deux types de contraction. Le travail excentrique sollicite préférentiellement les fibres IIB [67, 68], il est peu coûteux en énergie de type ATP (adénosine triphosphate) [69] et en oxygène [70, 71]. Contrairement au mode concentrique qui utilise l'ATP et les filières aérobies pour fonctionner [43].

## **6.3 Excentrique et force musculaire**

Lors d'une contraction excentrique la force développée par le muscle va augmenter progressivement jusqu'à une position proche de l'étirement maximal du complexe musculo-aponévrotique [72] et atteindre un moment maximal. Au-delà de celui-ci un phénomène de sidération réflexe (Claps Knife Reflex) est responsable d'une chute soudaine de la force musculaire [73]. En comparant ce mode à la force développée par le mode concentrique, on constate qu'en excentrique la force augmente aussi avec la vitesse d'étirement pour obtenir un plateau assez rapide [67, 72]. L'ensemble plateau de force et sidération brutale est le résultat d'un mécanisme de protection du muscle lors du travail excentrique [73]. (Annexe IV)

## **6.4 Excentrique et adaptation musculaire [74]**

### **6.4.1 Adaptation mécanique**

Lorsque l'on parle de travail musculaire, la première adaptation importante est celle visant à un gain de force. Le travail excentrique permet ce gain de force [75] grâce à la relation couple/angle plus importante en course interne, et grâce au rapport force/vitesse. Son efficacité est supérieure aux modes concentriques ou isométriques car il permet à la fois une augmentation de la force maximale développée ( $F_{max}$ ) et également de la vitesse maximale de contraction ( $V_{max}$ ). Toutes deux sont intimement liées à la puissance instantanée du muscle ( $P_{max}$ ) et engendrent donc son augmentation [64]. Dans les deux autres modes on observe une augmentation de  $F_{max}$  mais sans augmentation significative de  $V_{max}$ , ce qui explique que l'excentrique permet un renforcement de la force excentrique et concentrique [67, 76].

Parallèlement au gain de force, une diminution de la compliance a lieu au niveau de la composante élastique série (CES) ce qui augmente la raideur active [64, 70, 77]. Ce phénomène améliore la transmission de la force au levier osseux.

Le travail excentrique sollicite donc l'appareil contractile mais, surtout, il permet un renforcement de la composante non-contractile en stimulant la synthèse du collagène [75, 78].

### **6.4.2 Adaptation neurologique**

L'activité excentrique favorise le recrutement des unités motrices (UMs) de faible seuil d'excitabilité motoneuronale [70] qui sont les UMs de types rapides. Ce phénomène va induire deux actions : une augmentation du réflexe d'étirement qui a pour effet une meilleure mobilisation du faisceau neuromusculaire et une augmentation de la synchronisation de l'activité des UMs [65] qui conduit à une meilleure répartition de la tension entre les fibres musculaires sollicitées pour optimiser la contraction musculaire. Ces adaptations expliquent en partie l'effet protecteur de la contraction excentrique.

### **6.4.3 Adaptation génique**

Il semblerait que la contraction excentrique activerait les gènes du développement et de la croissance cellulaire [79].

## **6.5 Apport de l'excentrique sous maximal précoce dans le traitement des LMA**

Le travail excentrique sous maximal utilisé précocement (dès le début de la cicatrisation) [51, 62, 80], de la course moyenne à la course interne, sans déclencher de douleur [81], de faible intensité (10 à 20% du maximum) [82] et de déroulement lent [34, 72]

va permettre d'initier le cycle destruction/reconstruction par une détersion du foyer lésionnel. En effet, ce type de travail va induire une réponse inflammatoire, en rapport avec les microlésions créées préférentiellement au niveau des fibres musculaires fragiles ou en nécrose. Ce travail va également répondre aux différents objectifs de la prise en charge immédiate des lésions musculo-aponévrotiques.

### **6.5.1 Amélioration de la vascularisation**

Ce type de travail est actif, il induit une recapillarisation précoce locale du site en lésion [61, 83, 84] ainsi il aide au drainage de l'hématome consécutif à la lésion [37].

### **6.5.2 Amélioration de l'organisation tissulaire**

Le mode excentrique permet la mobilisation de la composante musculaire et des tissus conjonctifs de soutien [85]. Il va faciliter, par sa traction, une orientation optimale de ces néo-fibres en les alignant selon un axe de traction [83, 86].

Bien que ce travail induise des « cassures » au niveau des protéines à l'origine de la liaison myo-conjonctive comme la desmine [87] (Annexe V) et la titine [88], il est aussi responsable du remaniement et de la multiplication de ces mêmes protéines. Par exemple, dans les suites d'un exercice excentrique la desmine apparait en quantité considérablement

supérieure qu'initialement [89]. Ces phénomènes augmentent la résistance aux tensions de l'ensemble musculo-aponévrotique [45].

### **6.5.3 Amélioration de la cicatrisation**

La charge développée par ce type de contraction va stimuler la cicatrisation musculaire et conjonctive [82] par le biais d'activation et d'adaptation au niveau du complexe. En effet, au niveau de la composante musculaire, elle va stimuler l'activation des cellules satellites (de Mauro) afin d'améliorer la régénération des fibres [90]. Au niveau du tissu conjonctif de soutien, elle active la maturation des fibroblastes [86], accélère le modelage du collagène [79] et facilite sa pénétration au sein de l'entité musculaire. Ainsi il optimise la cicatrisation du tissu conjonctif de soutien [37, 91]. Ceci a pour effet final de renforcer la résistance du complexe musculo-aponévrotique à son propre étirement. [86, 92].

### **6.5.4 Limitation de l'atrophie musculaire et prévention des contractures**

Il ne faut pas perdre de vue le fait que nous sommes dans une prise en charge du sportif de haut-niveau, il est donc important d'éviter au maximum les phénomènes d'atrophies musculaires. La contraction excentrique, même effectuée en sous maximal, permet de minimiser la perte de volume musculaire [34, 69]. De plus lors de LMA des contractures apparaissent et le travail excentrique réalisé en sous maximal semble être plus efficace que l'étirement sur la levée de ce type de tension [67, 92].

### **6.5.5 Amélioration neuromusculaire**

Le travail excentrique sous maximal agit au niveau neurologique, en permettant de garder et de développer auprès des néo-fibres un contrôle neuromusculaire [34]. Chez le sportif après une blessure musculo-aponévrotique, c'est un moyen adapté pour préparer le système musculo-squelettique à la contraction excentrique lors du geste sportif [69, 73] et pour éviter la survenue de récurrences lors des phases de réentraînement. [68, 79].

## **6.6 Importance du type de travail excentrique**

Le travail musculaire de type excentrique inhabituel, intense ou prolongé, engendre des douleurs musculaires d'apparition retardée (environ 8 heures après la fin de l'exercice) aussi nommées D.O.M.S. (Delayed Onset Muscular Soreness) [93]. Leurs origines sont des microlésions des myofibrilles et/ou du tissu conjonctif de soutien. Il en résulte une diminution des amplitudes articulaires, de la force et de la vigilance proprioceptive ce qui place le muscle en situation favorable à une lésion plus grave [64, 94, 95, 96, 97, 98]. Cependant, il semblerait que l'entraînement excentrique sous maximal progressivement augmenté permettrait de prévenir ces lésions [72, 82, 99, 100]. D'où son importance pour la prise en charge des IJ qui sont sensibles aux D.O.M.S. [59] et aux lésions myo-aponévrotiques [40, 73]. En effet leur architecture musculaire de type penniforme composé principalement de fibres de type II charnues, courtes et obliques, et le fait d'être bi-articulaire les rendent vulnérables à l'activité excentrique [101].

## 7. DISCUSSION

Notre recherche bibliographique nous a permis de mettre en évidence que la lésion musculaire touchant les Ischiojambiers est la blessure la plus fréquente dans le milieu du football de haut-niveau [6]. Celle-ci est le plus souvent recensée lors du sprint, au moment de la contraction excentrique visant à freiner l'extension de genou et contrôler l'attaque du talon [10, 12, 13, 27, 28, 29, 30, 31]. Lors de ce geste, elle intéresse en particulier le biceps fémoral [11, 33, 34, 35, 36]. Il nous a paru important de faire le point sur la définition de blessure musculaire. Les avancées en matière d'imagerie médicale permettent de mentionner l'importance du tissu conjonctif de soutien dans ce type de pathologie et ainsi d'établir un diagnostic plus précis [39, 48, 49]. Le terme de blessure musculaire devient alors lésion ou désinsertion myo-aponévrotique [53].

Notre étude s'est poursuivie par l'observation des fondements de la prise en charge immédiate. L'amélioration des connaissances des phénomènes de cicatrisation musculo-aponévrotique [26, 27, 56, 57] a remis en cause un bon nombre de principes empiriques qui étaient d'usage dans les protocoles de rééducation. Par la suite, nous avons fait état de la littérature sur les protocoles de prise en charge immédiate. De cette recherche ressortent deux éléments essentiels : le manque d'études enquêtant sur l'efficacité des programmes rééducatifs [102] et l'ajout récent, dans le cadre des protocoles de rééducation des lésions myo-aponévrotiques, du terme de charge mécanique [60]. Ce dernier point nous a amené à nous pencher sur le travail excentrique.

Cette dernière analyse nous a permis d'établir que la contraction excentrique pouvait jouer le rôle de charge mécanique appliqué sur l'entité musculo-aponévrotique nécessaire à la cicatrisation de qualité [91]. En effet, il a été établi que le travail excentrique réalisé en sous maximal met en tension à la fois la composante contractile, la composante non contractile, et la jonction entre ces deux entités. Il va induire une réorganisation tissulaire [83, 86, 90] et stimuler la cicatrisation [37, 79, 86, 91] grâce à ses actions de détersion du foyer lésionnel et à son effet bénéfique sur la synthèse du collagène [37, 79, 86, 91], et la destruction des protéines de liaisons [87, 88] qui accélère leur régénération en nombre plus important [89]. Ces remodelages permettent une augmentation de la résistance du complexe musculo-aponévrotique [86, 92]. Il apparaît comme étant un moyen thérapeutique incontournable dans la prise en charge précoce des lésions myo-aponévrotiques [34, 62, 72, 80, 81].

L'utilisation du travail excentrique sous maximal en précoce lors de la prise en charge des LMA ne fait l'objet que de peu de publications. Ces dernières sont principalement des retours d'expériences, des revues de littératures basées sur une bibliographie relativement ancienne ou des études menées sur des groupes trop faibles pour être extrapolables. En revanche, les effets de la contraction excentrique font l'objet d'un nombre important d'études notamment dans un but de prise en charge préventive des accidents musculo-aponévrotiques chez les footballeurs professionnels.

Pour autant, nous ne pouvons pas exclure le fait que le travail excentrique puisse à lui seul expliquer la plupart des lésions d'ordre myo-aponévrotique [100], et qu'il est à l'origine

de douleurs musculaires d'apparition retardée [40, 73]. Ceci nous amène à préciser qu'il doit être entrepris par des opérateurs expérimentés [24] et doit donc être sous maximal, progressif [65] et bien conduit [86]. La règle de la non-douleur doit être respectée, il doit être contrôlé en vitesse (lente) et en résistance (faible). Ce type de précaution pouvant aussi être rendu possible par l'utilisation de matériel comme le dynamomètre isocinétique [24, 82, 92, 103, 104, 105].

Il est indéniable que l'excentrique réalisé en sous maximal a un intérêt dans la prise en charge immédiate des lésions myo-aponévrotiques [106] touchant les Ischiojambiers. Plus il est mis en place précocement, de façon contrôlée et sécurisée, plus il aura d'efficacité [92].

## 8. CONCLUSION

Le football de haut-niveau est un sport à risque élevé de blessures musculaires et principalement des Ischiojambiers qui par leur action au cours du cycle de course et leur structure anatomique sont un groupe musculaire à fort risque lésionnel. Avec les campagnes de prévention dans ce milieu, la survenue d'une nouvelle blessure devrait diminuer. En revanche, comme la probabilité de récidiver est grande, il semble que les améliorations doivent porter sur la prise en charge. En effet, nous n'avons constaté que peu de changement dans les protocoles de rééducation de ce type de pathologie. Le travail excentrique sous maximal apparait comme un moyen thérapeutique efficace par son aptitude à induire des adaptations structurelles sur l'appareil myo-aponévrotique et nerveux. Il optimise la cicatrisation musculaire et conjonctive par la traction mécanique qu'il profère. Avec l'arrivée des dynamomètres isocinétiques son application peut s'avérer plus sécurisée, reproductible et constituer une ouverture vers des études plus précises sur son application dans la prise en charge immédiate des LMA pour en déduire des protocoles validés en rééducation.

## BIBLIOGRAPHIE

1. **FIFA** communications divisions. FIFA Big Count 2006: 270 million people active in football. In Information Services. [En ligne]. [http://fr.fifa.com/mm/document/fifafacts/bcoffsurv/bigcount.statspackage\\_7024.pdf](http://fr.fifa.com/mm/document/fifafacts/bcoffsurv/bigcount.statspackage_7024.pdf) (consulté le 13 janvier 2012)
2. **GAL C.**- Retour d'expérience, éthique et masso-kinésithérapie du football professionnel, proposition d'une charte à l'usage des masseurs-kinésithérapeutes. *Kinésithérapie Scientifique*, 2006, 469, p.37-51.
3. **WOODS C., HAWKINS R., HULSE M., HODSON A.** - The Football Association Medical Research Program: an audit of injuries in professional football - analysis of preseason Injuries. *Br. J. Sports Med.*, 2002, 36, p. 436-441.
4. **PETERSEN J., THORBORG C., BACHMAN NIELSEN M., BUDTZ-JORGENSEN E., HOLMICH P.** - Preventive Effect of Eccentric Training on Acute Hamstring Injuries in Men's Soccer: A Cluster-Randomized Controlled Trial. *American Journal of Sport and Medicine*, 2011, 39, 2296-303. Level of evidence, 1.
5. **EKSTRAND J., HÄGGLUND M., WALDEN M.** - Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *American Journal of Sports and Medicine*, 2011, 39, p. 1226-1232.
6. **EKSTRAND J., HEALY J.C., WALDEN M., LEE J.C., ENGLISH B., HÄGGLUND M.**- Hamstring muscle injuries in professional football: the correlation of MRI findings with return to play. *British Journal of Sports and Medicine*, 2012, 46, p.112-117.
7. **ARNASSON A., SIGURDSSON S.B., GUDMUNDSSON A., HOLME I., ENGBRETTSEN L., BAHR R.** - Risk Factors for Injuries in Football. *American Journal of Sports and Medicine*, 2004, 32, p.5-16.
8. **ROULLAND R.** - Les ischio-jambiers du footballeur: isocinétisme et prévention. *Kinésithérapie Scientifique*, 2003, 437, p.31-36.
9. **EKSTRAND J.** - Epidemiology of football injuries. *Science and Sports*, 2008, 23, p.73-77.
10. **KOUVALCHOUK J-F.** - La désinsertion proximale du tendon commun des Ischiojambiers. In RODINEAU J., BESCH S. *Pathologie du complexe pelvi-fémoral du sportif*. Paris : Masson, 2009. p. 14-25, 27ième journée de traumatologie du sport de la Pitié-Salpêtrière.
11. **CHUMANOV E.S., HEIDERSCHEIT B.C., THELEN D.G.** - The effect of speed and influence of individual muscles on hamstring mechanics during the swing phase of sprinting. *Journal of Biomechanics*, 2007, 40, p. 3555-3562.

- 12. BING Y., QUEEN ROBIN M., ABBEY A.N., LIU Y., MOORMAN C.T., GARRETT W.E.** - Hamstring muscle kinematics and activation during overground sprinting. *Journal of Biomechanics*, 2008, 41, p. 3121-3126.
- 13. NOVACHEK T.F.** - The biomechanics of running. *Gait and Posture*, 1998, 7, p.77-95.
- 14. FOREMAN T.K., ADDY T., BAKER S., BURNS J., HILL N., MADDEN T.**- Prospective studies into the causation of hamstring injuries in sport: a systematic review. *Physical Therapy in Sport*, 2006, 7, p. 101-109.
- 15. CROISIER J-L.** - Factors associated with recurrent hamstring injuries. *Sports and Medicine*, 2004, 34, p. 681-695.
- 16. WOODS C., HAWKINS RD., MALTBY S., HULSE M., THOMAS A., HODSON A.** - Football Association Medical Research Program: an audit of injuries in professional football-analysis of Hamstring injuries. *British Journal of Sports and medicine*, 2004, 38, p.36-41.
- 17. GREIG M., SIEGLER JASON C.** - Soccer-specific Fatigue and Eccentric Hamstrings Muscle Strength. *Journal of Athletic Training*, 2009, 44, p. 180-184.
- 18. VERRALL G.M., SLAVOTINEK J.P., BARNES P.G., FON G.T.** - Diagnosis and prognostic value of clinical in 83 athletes with posterior thigh injury: comparison of clinical findings with magnetic resonance imaging documentation of hamstring muscle strain. *American Journal of Sports and Medicine*, 2003, 31, p. 969-973.
- 19. EKSTRAND J., WALDEN M., HÄGGLUND M.**- A congested football calendar and the well-being of players: correlation between match exposure of European footballers before the World Cup. *British Journal of Sports and Medicine*, 2004, 38, p. 493-497.
- 20. CROISIER J-L., GANTEAUME S., BINET J., GENTY M., FERRET J-M.**- Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players : a prospective study. *American Journal of Sports and Medicine*, 2008, 36, p. 1469-75.
- 21. CROISIER J-L., FORTHOMME B., NAMUROIS M.H., VANDERTHOMMEN M., CRIELAARD J.M.** - Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *American Journal of Sports and Medicine*, 2002, 30, p. 199-203.
- 22. MJOLSNES R., ARNASON A., OSTHAGEN T., RAASTAD T., BAHR R.**- A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 2004, 14, p. 311-317.
- 23. LEHANCE C., BINET J., BURY T., CROISIER J.L.** - Muscular strength, functional performances and injury risk in professional and junior elite soccer players. *Scandinavian Journal Medicine and Science in Sports*, 2009, 19, p. 243-251.

- 24. CROISIER J.-L., CRIELAARD J.M.-** Expérience de l'isocinétisme dans l'encadrement sportif. *Journal de Traumatologie du Sport*, 2004, 21, p.238-243.
- 25. GABBE B.J., BENNELL K.L., FINCH C.F., WAJSWELNER H., ORCHARD J.W.-** Predictors of hamstring injury at the elite level of Australian football. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sport*, 2006, 16, p. 7-13.
- 26. BOUVARD M.** Lésions musculaires. In ROCHCONGAR P., MONOD H. *Médecine du Sport* 4ieme Edition. Paris : Elsevier-Masson, 2009. p. 335-340.
- 27. FOURNIER P.-E.-** Prise en charge des lésions musculaires: en prenant pour exemple les ischiojambiers et le football. *Schweizerische Zeitschrift für « Sportmedizin und Sporttraumatologie »*, 2011, 59, p. 18-21.
- 28. SCHACHE A.G., WRIGLEY T.V., BAKER R., PANDY M.G. -** Biomechanical response to hamstring muscle strain injury. *Gait and Posture*, 2009, 29, p. 332-338.
- 29. SCHACHE A.G., KIM H.-J., MORGAN D.L., PANDY M.G.-** Hamstring muscle forces prior to and immediately following an acute sprinting-related muscle strain injury. *Gait and Posture*, 2010, 32, p. 36-140.
- 30. GOLDMAN E.F., JONES D.E. -** Interventions for preventing hamstring injuries: a systematic review. *Physiotherapy*, 2011, 97, p. 91-99.
- 31. YU B., QUEEN R.M., ABBEY A.N., LIU Y., MOORMAN C.T., GARETT W.E. -** Hamstring muscle kinematics and activation during overground sprinting. *J. Biomech.*, 2008, 41, p. 3121-3126.
- 32. REMAUD A., GUEVEL A., CORNU C.-** Coactivation et inhibition musculaire: influences sur la régulation du couple de force développé et les adaptations induites par un entraînement en force. *Neurophysiologie Clinique*, 2007, 37, p.1-14.
- 33. HOSKINS W., POLLARD H. -** The management of Hamstring injury-Part 1 : Issues in diagnosis. *Manual Therapy*, 2005, 10, p. 96-107.
- 34. HEIDERSCHEIT B.C., SHERRY M.A., SILDER A., CHUMANOV S., THELEN D.G. -** Hamstring Strain Injuries: Recommendations for Diagnosis, Rehabilitation, and Injury Prevention. *Journal of Orthopaedic Sports Physical Therapy*, 2010, 40, p. 67-81.(Level of evidence 5)
- 35. HEIDERSCHEIT B.C., HOERTH D.M., CHUMANOV E.S., SWANSON S.C., THELEN B.J., THELEN D.G. -** Identifying the time of occurrence of hamstring strain injury during treadmill running: a case study. *Clinical biomechanics*, 2005, 20, p. 1072-1078.
- 36. SILDER A., REEDER S.B., THELEN D.G. -** The influence of prior hamstring injury on lengthening muscle tissue mechanics. *Journal of Biomechanics*, 2010, 43, p. 2254-2260.

- 37. GUILLODO Y., JOUSSE-JOULIN S., MADOUAS G., DEVAUCHELLE-PENSEC V., SARAUX A.-** Pathologie musculaire et sport. Revue du Rhumatisme, 2007, 74, p. 553-562.
- 38. CARILLON Y., COHEN M.-** Le muscle du Sportif. Journal de Radiologie, 2007, 88, p. 129-42.
- 39. COURTHALIA C., LHOSTE-TROUILLOUD A., PEETRON S.-** Echographie des muscles. Journal de Radiologie, 2005, 86, p.1859-67.
- 40. COURTHALIA C., BRUN J.-P., VIDALIN H., WEILBACHER H., et le groupe des échographistes de l'appareil locomoteur (GEL).-** Les lésions musculaires des membres inférieurs chez le sportif de haut-niveau : aspect échographique corrélé à l'IRM. Feuilles de Radiologie, 2003, 43, N°6, p. 528-539.
- 41. DUFOUR M.** Anatomie de l'appareil locomoteur : membre inférieur. 2<sup>ème</sup> édition Paris : Masson, 2007. 479 p. ISBN 978-2-294-08055-5.
- 42. BRUCHARD Arnaud.** La lésion Myo-aponévrotique. In Kinesport Publications N°1. [En ligne]. [http://www.kinesport.info/downloads/Kinesport-Publications\\_t1109.html](http://www.kinesport.info/downloads/Kinesport-Publications_t1109.html) (page consultée le 15 septembre 2011)
- 43. MENCHE N.** Anatomie-physiologie-biologie. 4<sup>ème</sup> édition Paris : Maloine, 2009. 466 p. ISBN 978-2-224-03076-6.
- 44. RIGOARD P., BAUCHE S., BUFFENOIR K., GIOT J.-P., FAURE J.-P., SCEPI M., RICHER J.-P., LAPIERRE F., WAGER M.-** Le support anatomique de la contraction musculaire. Neurochirurgie, 2009, 55S, p.69-82.
- 45. COMETTI G.** Effets physiologiques des étirements. In Les limites du stretching pour la performance sportive [En ligne]. <http://www.preparationphysique.net/download/stretchingdebut.pdf> (consulté le 13 mars 2012)
- 46. PATEL T.J., LIEBER R.L. -** Force transmission in skeletal muscle: from actomyosin to external tendons. Exercise and Sport Sciences Reviews, 1997, 25, p. 321-63.
- 47. MONTI R.J., ROY R.R., HODGSON J.A., EDGERTON V.R. -** Transmission of forces within mammalian skeletal muscles. Journal of Biomechanics, 1999, 32, p. 371-80.
- 48. BRUNET-GUEDJ E., BRUNET B., LUCIANI J-F. -** Evolution de la prise en charge des lésions musculo-aponévrotiques du sportif au cours des 20 dernières années. Journal de Traumatologie du Sport, 2009, 26, p. 110-113.
- 49. BRASSEUR J-L. -** Quelle imagerie pour quelle lésion musculaire ?. Revue générale Science et Sports, 2001, 16, p. 228-35.
- 50. BELLAÏCHE L. -** Lésions musculo-aponévrotiques et tendineuses. Classifications-explorations radiologiques. Journal de Traumatologie du Sport, 2007, 24, p. 239-245.

- 51. CHRISTEL P., DE LABAREYRE H., THELEN P., DE LECLUSE J.** - Pathologie traumatique du muscle strié squelettique. EMC-Rhumatologie Orthopédie, 2005, 2, p. 173-195.
- 52. ROGER B.** - Imagerie en pathologie traumatique des muscles et des tendons. Journal de Traumatologie du Sport, 2005, 22, p. 166-178.
- 53. BRASSEUR J.-L., TARDIEU M., LAZENNEC J.Y.** - L'écho-anatomie des lésions musculaires aiguës et chroniques. Feuillet de Radiologie, 1999, 39, p. 181-191.
- 54. BRUCHARD A.** - La lésion Myo-aponévrotique (2<sup>ème</sup> partie). Profession Kinésithérapeute, 2008, 18, p. 41-43.
- 55. KOULOURIS G., CONELLE DA., BRIKNER P., SCHNEIDER-KOLSKY M.** - Magnetic resonance imaging parameters for assessing risk of recurrent injuries in elite athletes. American Journal of Sports and Medicine, 2007, 35, p.1500-1506.
- 56. BENEZIS C.** - Les lésions musculaires du sportif: lésions et mécanismes de réparation, corrélations écho-cliniques, nouvelles applications thérapeutiques. Kinésithérapie Scientifique, 2010, 511, p. 45-54.
- 57. CRASSOUS B., KOULMANN N., DELDICQUE L., FRANCAUX M., BIGARD X.**- Effets de la supplémentation en créatine sur la cinétique de régénérescence du muscle squelettique après lésion étendue. Science et Sport, 2005, 20, p. 187-189.
- 58. HOSKINS W., POLLARD H.** - The management of Hamstring injury-Part 2: Treatment. Manual Therapy, 2005, 10, p. 180-190.
- 59. PUIG P.L., TROUVE P., SAVALLI L., LABOUTE E.** - Les accidents des muscles Ischiojambiers. Un comportement très excentrique. Journal de Traumatologie du Sport, 2009, 26, p. 18-23.
- 60. BLEAKLY C.M., GLASGOW P., MAC AUDLEY D.C.** - PRICE needs updating, should we call the POLICE?. British Journal of Sports and Medicine, 2012, 46, p. 220-221.
- 61. JÄRVINEN M.J., LEHTO M.U.**- The effects of early mobilisation and immobilisation on the healing process following muscle injuries. Sports and Medicine, 1993, 15, p.78-89.
- 62. JARVINEN T.A.H., JARVINEN T.L., KAARIAINEN M., KALIMO H., JARVINEN M.** - Muscle injuries biology and treatment. American Journal of Sports and Medicine, 2005, 33, p. 745-764.
- 63. DE LABAREYRE H., RODINEAU J., BRASSEUR J.L., ROGER B., BOUVAT E.** - Critères de reprise après un accident musculaire. Journal de Traumatologie, 2005, 22, p.232-235.
- 64. CHANUSSOT J-C., BILLUART F.** - Place du travail musculaire excentrique et Pliométrie dans le traitement des tendinopathies. Kinésithérapie Scientifique, 2003, 437, p. 37-45.

- 65. GASQ D., LABRUNEE M., MARQUE P., DUPUI P., MONTOYA R., ZANONE P.G., TACK I.** - Stratégies d'élaboration du mouvement et recrutement neuromusculaire. In CROISIER J-L., CODINE P.- Exercice musculaire excentrique. Paris : Masson, 2009. p. 7-24. Pathologie locomotrice et médecine orthopédique ; 65.
- 66. FAULKNER J.A.** - Terminology for contractions of muscles during shortening, while isometric, and during lengthening. *Journal of Applied Physiology*, 2003, 95, p. 455-459.
- 67. MIDDLETON P., PUIG P.L., TROUVE P., SAVALLI L.** - Le travail musculaire excentrique. *Journal de Traumatologie du Sport*, 2000, 17, p. 93-102.
- 68. GAIN H.** - Les techniques de renforcement musculaires : choix et adaptations chez le sportif blessé. *Kinésithérapie Scientifique*, 2001, 416, p. 49-51.
- 69. PERREY S.** - Physiologie de la contraction musculaire excentrique et aspects énergétiques. In CROISIER J-L., CODINE P.- Exercice musculaire excentrique. Paris : Masson, 2009. p. 1-6. Pathologie locomotrice et médecine orthopédique ; 65.
- 70. DESLANDES R., GAIN H., HERVE JM., HIGNET R.** - Principes du renforcement musculaire: applications chez le sportif. In *Encyclopédie Médico-Chirurgicale : Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation*. 2003, Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS. Paris 26-055-A-10,2003, p.10.
- 71. DEGACHE F., EDOUARD P., CALMELS P., ROCHE F.** - Affections cardiovasculaires : place de l'entraînement excentrique. In CROISIER J-L., CODINE P.- Exercice musculaire excentrique. Paris : Masson, 2009. p. 158-163. Pathologie locomotrice et médecine orthopédique ; 65.
- 72. CROISIER J-L., MAQUET D., CRIELAARD J-M., FORTHOMME B.** - Quelles applications du travail excentrique en rééducation ?. *Kinésithérapie La Revue*, 2009, 85-86, p. 19-52.
- 73. MIDDLETON P., MONTERO C.** - Le travail excentrique : intérêts dans la prise en charge thérapeutique du sportif. *Annales de réadaptation et de médecine physique*, 2004, 47, p. 282-289.
- 74. MICHAUT A., POUSSON M.** - Adaptations mécaniques et neurophysiologiques induites par la sollicitation musculaire excentrique : l'effet protecteur. *Science et Sports*, 2004, 19, p. 286-295.
- 75. PEERS K.H., LYSSENS R.J.** - Patellar tendinopathy in athletes: current diagnostic and therapeutic recommendations. *Sports and Medicine*, 2005, 35, p.71-87.
- 76. GRAZIANI F., COUDREUSE J.M., BRUNET C.** - Intérêt du travail excentrique des muscles fibulaires après entorses du ligament latéral externe de la cheville. *Journal de Traumatologie du Sport*, 2001, 18, p. 123-127.

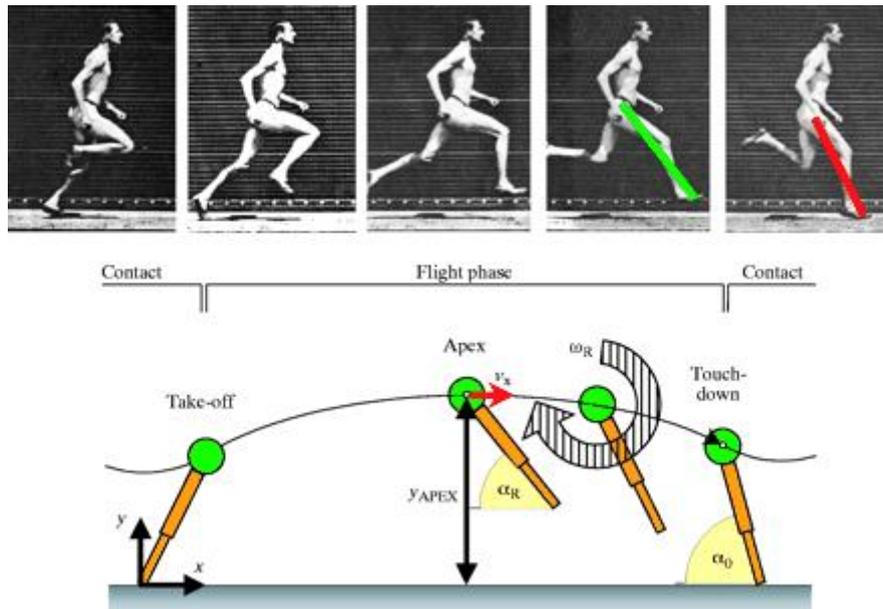
- 77. GOUBEL F.** - Adaptation des propriétés mécaniques du muscle à l'entraînement. *Science et Sports*, 2001, 16, p.196-203.
- 78. LANGBERG H., KONGSGAARD M.** - Eccentric training in tendinopathy: more questions than answers. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 2008, 18, p. 541-542.
- 79. GUILHEM G., CORNU C., GUEVEL A.** - Neuromuscular and muscle-tendon system adaptations to isotonic and isokinetic eccentric exercise. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 2010, 53, p. 319-341.
- 80. ROIG PULL M., RANSON C.** - Eccentric muscle actions: Implications for injury prevention and rehabilitation. *Physical Therapy in Sport*, 2007, 8, p. 88-97.
- 81. TRUDELLE P.** - Plasticité musculaire et kinésithérapie. *Kinésithérapie Scientifique*, 2001, 416, p. 7-8.
- 82. CROISIER J-L., CRIELAARD J-M., MAQUET D., FORTHOMME B.** - Pathologie ischiojambière : évaluation et renforcement en mode excentrique. In CROISIER J-L., CODINE P.- Exercice musculaire excentrique. Paris : Masson, 2009. p. 125-130. *Pathologie locomotrice et médecine orthopédique* ; 65.
- 83. KUJALA U.M., ORAVA S., JARVINEN M.** - Hamstring Injuries Current Trends in Treatment and Prevention. *Sport medicine*, 1997, 23, p. 397-404.
- 84. KÄÄRIÄINEN M, JÄRVINEN T, JÄRVINEN M, RANTANEN J, KALIMO H.** - Relation between myofibers and connective tissue during muscle injury repair. *Scand J Med Sci Sports*, 2000, 10, p. 332-337.
- 85. ROLLIN J.** - Place du renforcement musculaire excentrique des ischio-jambiers dans la préparation des sprinters. *Kinésithérapie Scientifique*, 2010, 509, p.21-26.
- 86. QUEIROS DA SILVA C., COTTE T., VICARD L., CHANTELOT L., FERRET J. - M.-** Apport du travail isocinétique excentrique dans le traitement des tendinopathies calcanéennes et des lésions musculaires de la cuisse. *Journal de Traumatologie du Sport*, 2005, 22, p. 219-225.
- 87. FRIDÉN J., LIEBER R.L.** - Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components. *Acta Physiologica Scandinavia*, 2001, 171, p. 321-6.
- 88. TRAPPE T.A., CARRITHERS J.A., WHITE F., LAMBERT C.P., EVANS W.J., DENNIS R.A.** - Titin and nebulin content in human skeletal muscle following eccentric resistance exercise. *Muscle Nerve*, 2002, 25, p. 289-92.
- 89. BARASH I.A., PETERS D., FRIDÉN J., LUTZ G.J., LIEBER R.L.** - Desmin cytoskeletal modifications after a bout of eccentric exercise in the rat. *American Journal of Physiology, Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 2002, 283, p. 958-63.

- 90. KANNUS P., PARKKARI J., JÄRVINEN T.L., JÄRVINEN T.A., JÄRVINEN M. -** Basic science and clinical studies coincide: active treatment approach is needed after a sports injury. *Scand J Med Sci Sports*, 2003, 13, p. 150-154.
- 91. VOISIN P. -** Isocinétisme et Sport. *Kinésithérapie Scientifique*, 2001, 416, p. 17-19.
- 92. ZOUITA A., LEBIB S., DZIRI C., BEN SALAH F.Z., MIRI I., FERCHICHI H., MENSI D. -** Apport de l'isocinétisme dans les tendinopathies du sportif : revue de littérature. *Journal de Traumatologie du Sport*, 2005, 25, p.148-153.
- 93. CROISIER J.-L., CAMUS G., FORTHOMME B., MAQUET D., VANDERTHOMMEN M., CRIELAARD J.M. -** Delayed onset muscle soreness induced by eccentric isokinetic exercise. *Isokinet. Exerc. Sci.*, 2003, 11, p. 21-29.
- 94. COUDREUSE J.-M., DUPONT P., NICOL C. -** Douleurs Musculaires Post-effort. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 2004, 47, p. 290-298.
- 95. PORTERO P. -** Les courbatures induites par l'exercice excentrique : de l'origine à la résolution. *Kinésithérapie Scientifique*, 2001, 416, p. 30.
- 96. GUINCESTRE J.Y., SESBOUE B., CAVELIER V., HULET C. -** Principes, usages, mésusages et risques du renforcement musculaire. *Journal de Traumatologie du Sport*, 2005, 22, p. 236-242.
- 97. ROCHCONGAR P. -** Evaluation isocinétique des extenseurs et fléchisseurs du genou en médecine du sport : Revue de la littérature. *Annales de réadaptation et de médecine physique*, 2004, 47, p. 274-281.
- 98. COHEN J., CANTECORP K. -** Les DOMS : compréhension d'un mécanisme en vue d'un traitement masso-kinésithérapique préventif. *Kinésithérapie La Revue*, 2011, 113, p. 15-20.
- 99. NICOL C., AVELA J., KOMI PV. -** The stretch-shortening cycle: a model to study naturally occurring neuromuscular fatigue. *Sports Med.*, 2006, 36, p. 977-99.
- 100. HODY S., ROGISTER B., LEPRINCE P., CROISIER J.-L.-** DOMS : traiter ou prévenir ?. In CROISIER J.-L., CODINE P.- Exercice musculaire excentrique. Paris: Masson, 2009. p. 175-182. *Pathologie locomotrice et médecine orthopédique* ; 65.
- 101. HODY S., ROGISTER B., CROISIER J.-L., WANG F., LEPRINCE P. -** Courbatures après exercice excentrique : High et Low responders ?. In CROISIER J.-L., CODINE P.- Exercice musculaire excentrique. Paris : Masson, 2009. p. 183-191. *Pathologie locomotrice et médecine orthopédique* ; 65.
- 102. PETERSEN J., HOLMICH P. -** Evidence based prevention of hamstring injuries in sport. *British Journal of Sport and Medicine*, 2005, 39, p. 319-323.

- 103. POCHOLLE M.** - Applications pratique du travail excentrique dans les tendinopathies et les déséquilibres musculaires à partir d'un protocole de rééducation. *Kinésithérapie Scientifique*, 2001, 413, p.39-48.
- 104. CROISIER J.-L., CRIELAARD J.M.-** Exploration isocinétique : analyse des paramètres chiffrés. *Annales de Réadaptation en Médecine Physique*, 1999, 42, p.538-545.
- 105. JULIA M., HERISSON C.** - Quels outils pour le travail musculaire excentrique ? De l'entraînement en salle à la pratique sur le terrain. In CROISIER J.-L., CODINE P.- Exercice musculaire excentrique. Paris: Masson, 2009. p. 45-50. *Pathologie locomotrice et médecine orthopédique* ; 65.
- 106. BRASSINNE E., MOURAUX D.-** Analyse critique, risques et précautions du travail excentrique. In CROISIER J.-L., CODINE P. - Exercice musculaire excentrique. Paris : Masson, 2009. p. 165-174. *Pathologie locomotrice et médecine orthopédique* ; 65.
- 107. SEYFARTH A., GEYER H., HERR H.** - Swing-leg retraction: a simple control model for stable running. *The Journal of Experimental Biology*, 2003, 206, p. 2547-2555.
- 108. BILLETER R., HOPPELER H.** - Basis of muscle contraction. *Schweizerische Zeitschrift für Medizin und Traumatologie*, 1994, 2, p. 6-20.
- 109. CROISIER J.-L., CRIELAARD J.M.** - Exploration isocinétique : analyse des courbes. *Annales de Réadaptation en Médecine Physique*, 1999, 42, p.497-502.

## **ANNEXES**

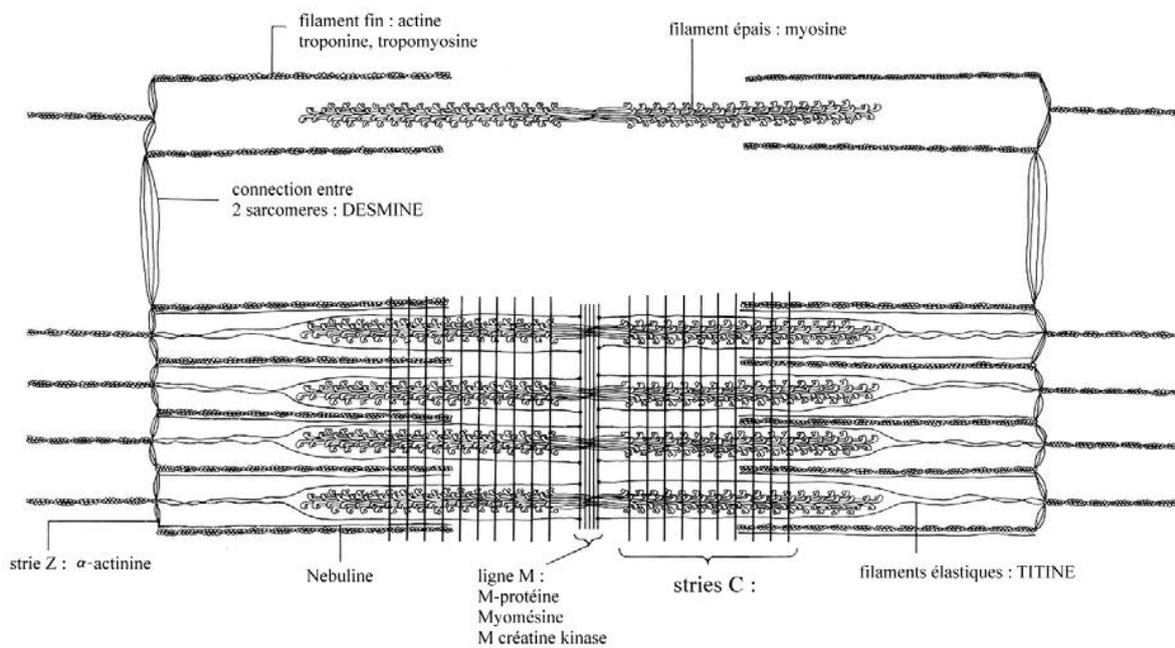
## ANNEXE I



Cycle de sprint, la phase correspondant à 90 % est précisée en vert.

D'après SEYFARTH A. et al. [107]

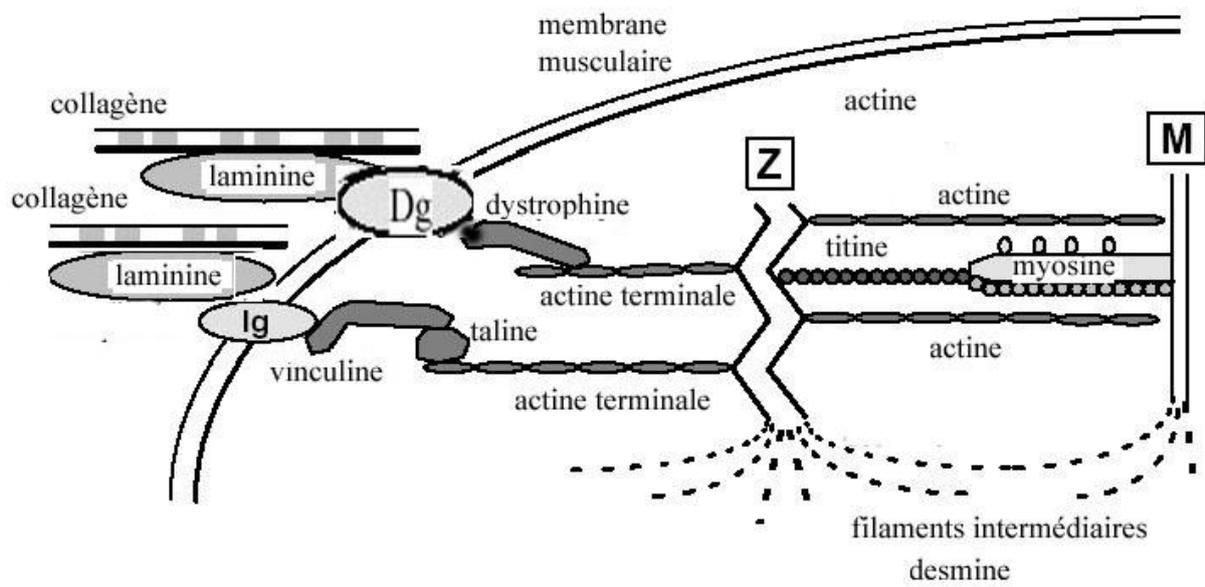
## ANNEXE II



Représentation des éléments de soutien du sarcomère.

D'après BILLETER R., HOPPELER H. [108]

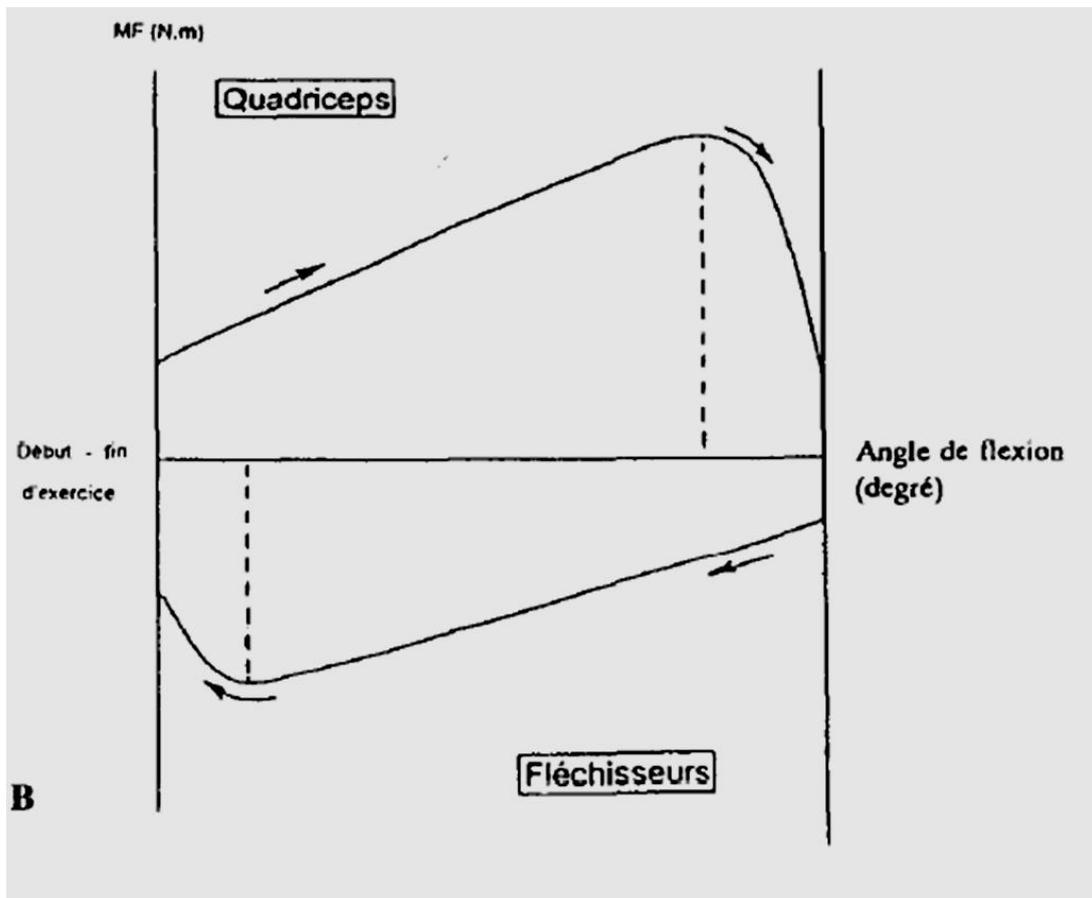
ANNEXE III



La jonction myo-conjonctive.

D'après MONTY [47].

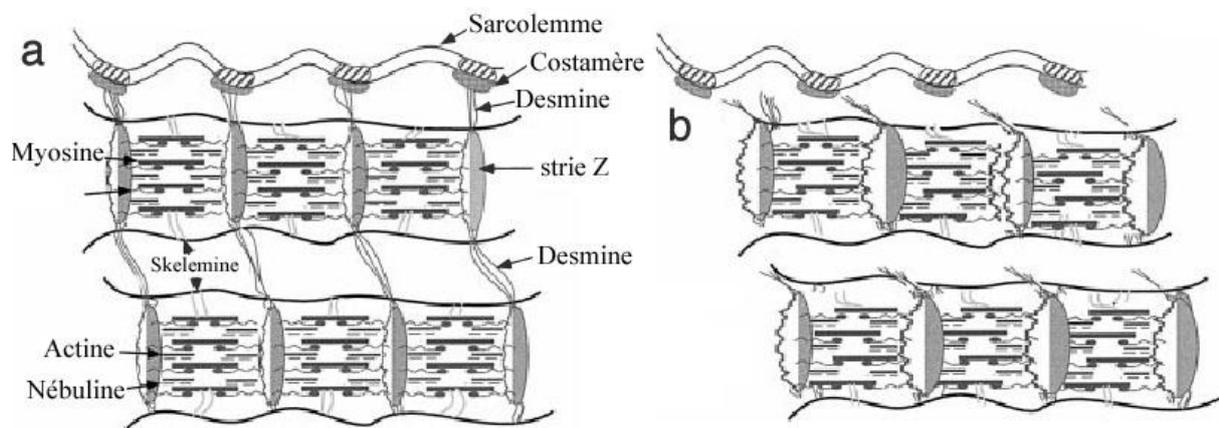
ANNEXE IV



Courbes isocinétiques en mode excentrique du quadriceps et des ischiojambiers (Fléchisseurs).

D'après CROISIER J-L. et CRIELAARD J.M. [109]

ANNEXE V



Jonction myo-aponévrotique de la cellule musculaire au repos (a). Jonction musculaire à la suite d'un exercice excentrique (b).

D'après FRIDEN ET LIEBER [87].