

Auteurs de l'article :

- Popineau Christophe, médecin du sport au C.R.E.P.S de Wattignies (I.R.B.M.S).
- Paulo Fernandes Carlos, médecin généraliste.

Article extrait de la thèse de médecine, « présentation de concepts de physiothérapie selon trois disciplines : les étirements, la musculation et l'endurance. Applications médicales et sportives ».

Thèse soutenue par Mr Paulo Fernandes et dirigée par le Docteur Popineau.

PHYSIOLOGIE DES ETIREMENTS

A - Définition des étirements

Le stretching vient du verbe anglais « to stretch » qui signifie « étirer ». Le but des étirements est l'acquisition de la qualité de souplesse permettant de « réaliser un geste ou une suite de geste avec un maximum d'amplitude et d'harmonie » [1].

Pour Canal M. [2] le terme « stretching » : « recouvre toutes sortes de pratiques, mais historiquement correspond à la vulgarisation des techniques réflexes mises au point par Kabat, Knott et Voss dans le courant des années 50 sous le nom de Facilitation Proprioceptive Neuro-musculaire...p 33».

De même, Canal M [2] définit aussi le terme de souplesse et d'assouplissement ainsi : « ... la souplesse est le terme le plus large qui en anglais correspond à la flexibilité (flexibility) c'est-à-dire la possibilité de se « plier » facilement. L'assouplissement, pour prendre les termes les plus larges possibles, viserait la suppression des tensions susceptibles de limiter ou de contrarier le mouvement, recouvrant ainsi tous les domaines dans lesquels la souplesse est susceptible de s'exprimer ...p 33».

D'après Frey citée dans Weineck [3], sa définition est : «...la souplesse articulaire (concerne la structure des articulations) et la capacité d'étirement (concerne les muscles, les tendons, les ligaments et les structures capsulaires) doivent être considérées comme des composantes de la souplesse et des sous-catégories de celles-ci...p 273».

B - Généralités

I - Présentation des structures mises en jeu lors d'un étirement

Lors d'un étirement, quatre éléments essentiels sont mis en jeu :

1. le tendon (ou du ligament) qui s'attache sur l'os,
2. le muscle,
3. l'aponévrose,
4. les mécanismes de physiologie nerveuse (réflexe myotatique, réflexe myotatique inverse, et l'innervation réciproque).

Lors de l'étirement, la peau et la structure osseuse subissent également des contraintes physiques.

Un étirement peut donc agir sur les trois composantes anatomiques principales. Par degré décroissant d'extensibilité, nous avons le muscle, l'aponévrose, le tendon (l'os est le moins extensible) [4 ; 5]. Le muscle est l'élément anatomique le plus déformable, il entre en relation avec les deux autres. L'aponévrose des muscles a des fibres maillées plus lâches (organisation microvacuolaire tridimensionnelle), elle est de ce fait plus déformable que le tendon. Celui-ci constitue un dérivé d'aponévrose avec une organisation différente et plus dense des fibres de

collagène.

Ces structures seront présentées par ordre décroissant d'extensibilité.

1 - Le muscle

Il existe différentes sortes de muscles dans le corps. Le muscle strié squelettique est le plus souvent étiré. Il fait partie du système ostéo-musculo-ligamentaire. Voici quelques schémas illustrant la structure macroscopique et microscopique du muscle strié squelettique. Nous constatons que le muscle est entouré de gaines aponévrotiques de deux types :

- les enveloppes conjonctives externes : aponévroses ou fascias,
- les enveloppes conjonctives internes : épimysium, périmysium, endomysium, sarcolemme.
En poursuivant plus petit dans la structure, nous distinguons le sarcomère composé de myofilaments épais et fins, filaments de titine, disque Z (schéma 3 et 4).

Les fonctions et les propriétés des muscles seront vues au chapitre II.

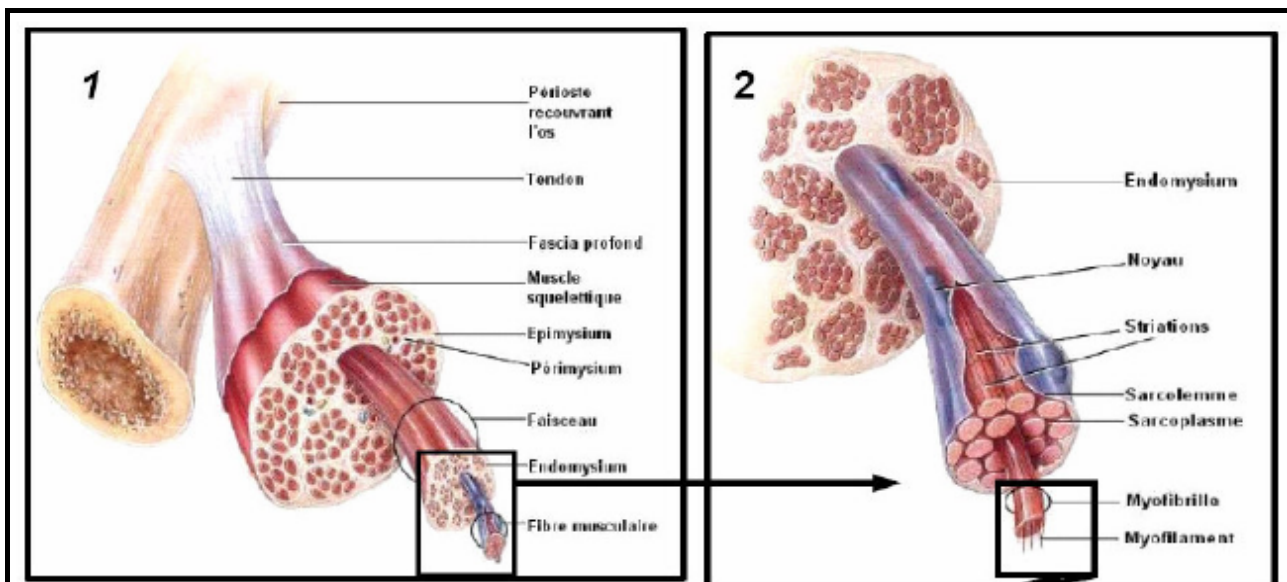
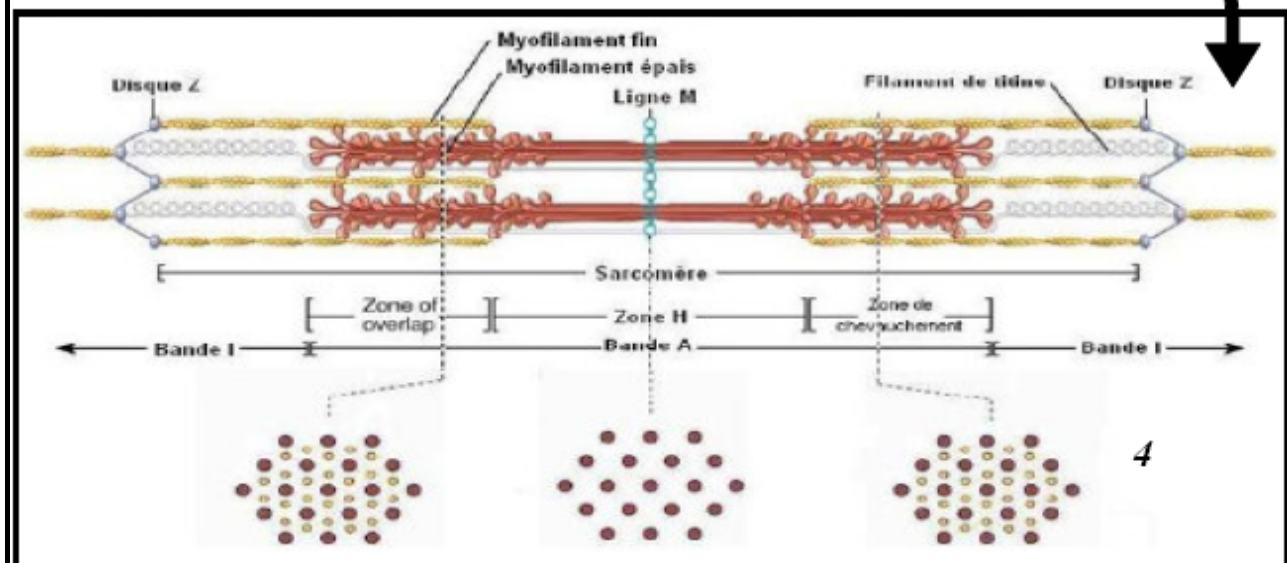
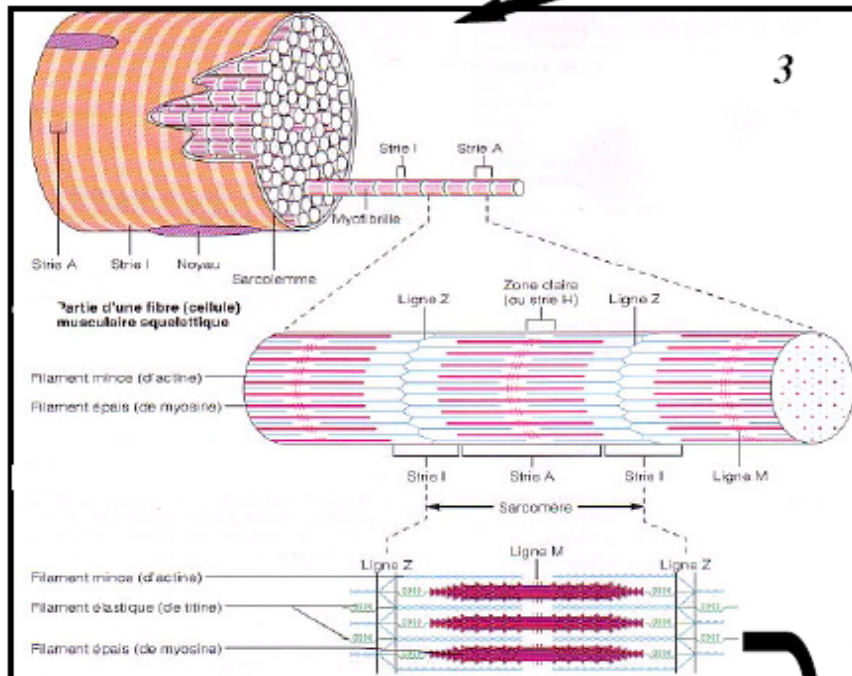


Figure 1 et 2
Organisation *macroscopique* du muscle avec ses gaines : endomysium, périmysium, fascia profond).

Figure 3 et 4
Organisation *microscopique* du muscle.

La figure 4
Montre la disposition des myofilaments dans un sarcomère.



Organisation macroscopique et microscopique du muscle.

2 - Les aponévroses et tissus conjonctifs

Pour comprendre un étirement, il faut percevoir anatomiquement les structures mises en mouvement. Il s'agit du système ostéo-musculo-ligamentaire. On « tire » sur un muscle relié à un tendon lui-même relié à l'os.

On peut étirer un muscle ou des muscles grâce à leurs glissements réciproques. Ceci est possible grâce au système des aponévroses (ou fascias). Nous avons vu dans les schémas précédents que le muscle est entouré d'aponévroses (à l'extérieur et à l'intérieur des faisceaux musculaires : épimysium, périmysium, endomysium...), ils illustrent la continuité peau - tissus conjonctif - muscles.

a) Données microscopiques sur le tissu conjonctif

Cette continuité des tissus entre eux par le tissu aponévrotique est prouvée en étudiant son anatomie et son ultrastructure. C'est-à-dire que les éléments (muscle - aponévrose - peau) ne sont pas vraiment séparés fonctionnellement. Cette continuité existe pareillement entre tous les organes (muscles - muscles, organe - muscle, glissement des tendons entre eux). Le fascia ou aponévrose possède une organisation standard microvacuolaire. Le système aponévrotique de glissement, de soutien est rebaptisé selon certains par « système collagénique multimicrovacuolaire d'absorption dynamique » ou MCDAS en anglais. Cette organisation multivacuolaire tridimensionnelle des aponévroses permet d'absorber les chocs, de déplacer les organes entre eux, de comprendre pourquoi une peau étirée revient à sa place.

Ce système possède des propriétés « caoutchouteuse ». Il s'agit d'un système standard ubiquitaire à l'organisme avec des variations anatomiques. En effet, il existe des zones anatomiques comme les gaines des tendons de la main où le système microvacuolaire est remplacé par une macrovacuole, c'est ce que nous expliquent Guimbertau *et coll.* [6] dans leur article, « introduction à la connaissance du glissement des structures sous-cutanées humaines » (les principales notions évoquées du MCDAS proviennent de cet article) : « ...par ailleurs, il est des zones anatomiques qui ne comportent pas ce système de glissement. Ce phénomène se rencontre par exemple au niveau des doigts. Les zones I et II, dites gaines digitales, sont une évolution adaptative du système de glissement MCDAS car les pressions locales sont telles lors de la flexion des doigts au niveau des poulies A1, A2, A3, A4, qu'une autre façon de gérer le glissement tout en maintenant la fonction et l'approvisionnement en énergie s'est développée. Il s'agit de la transformation phylogénétique du système multimicrovacuolaire en une mégavacuole dont les règles de fonctionnement sont différentes pour pouvoir résister à la contrainte mécanique imposée par les circonstances externes. Enfin, ce tissu polyorienté dans l'espace peut sélectionner son organisation, se rigidifier par un enrichissement en collagène et devenir une poulie ou ligament. Il y a adaptation systématique à la contrainte et la réponse du système microvacuolaire sera toujours dans le sens de l'efficacité...p 30 ».

En effet, Les structures aponévrotiques n'ont pas la même possibilité d'extensibilité selon leur topographie [7]. La faculté d'étirement d'un tendon équivaut au $1/10^{\text{ème}}$ de celle de la peau parce que le tendon possède des faisceaux de collagène parallèles et non polyorientés, il est donc moins étirable (il est également plus riche en collagène, voir ci-dessous).

L'auteur nous replace dans le contexte de l'origine embryologique des tissus conjonctifs (transformation phylogénétique) c'est-à-dire les cellules mésenchymateuses embryologiques sont à l'origine des différents tissus conjonctifs [7].

Le groupement de schémas ci-dessous illustre le paragraphe.

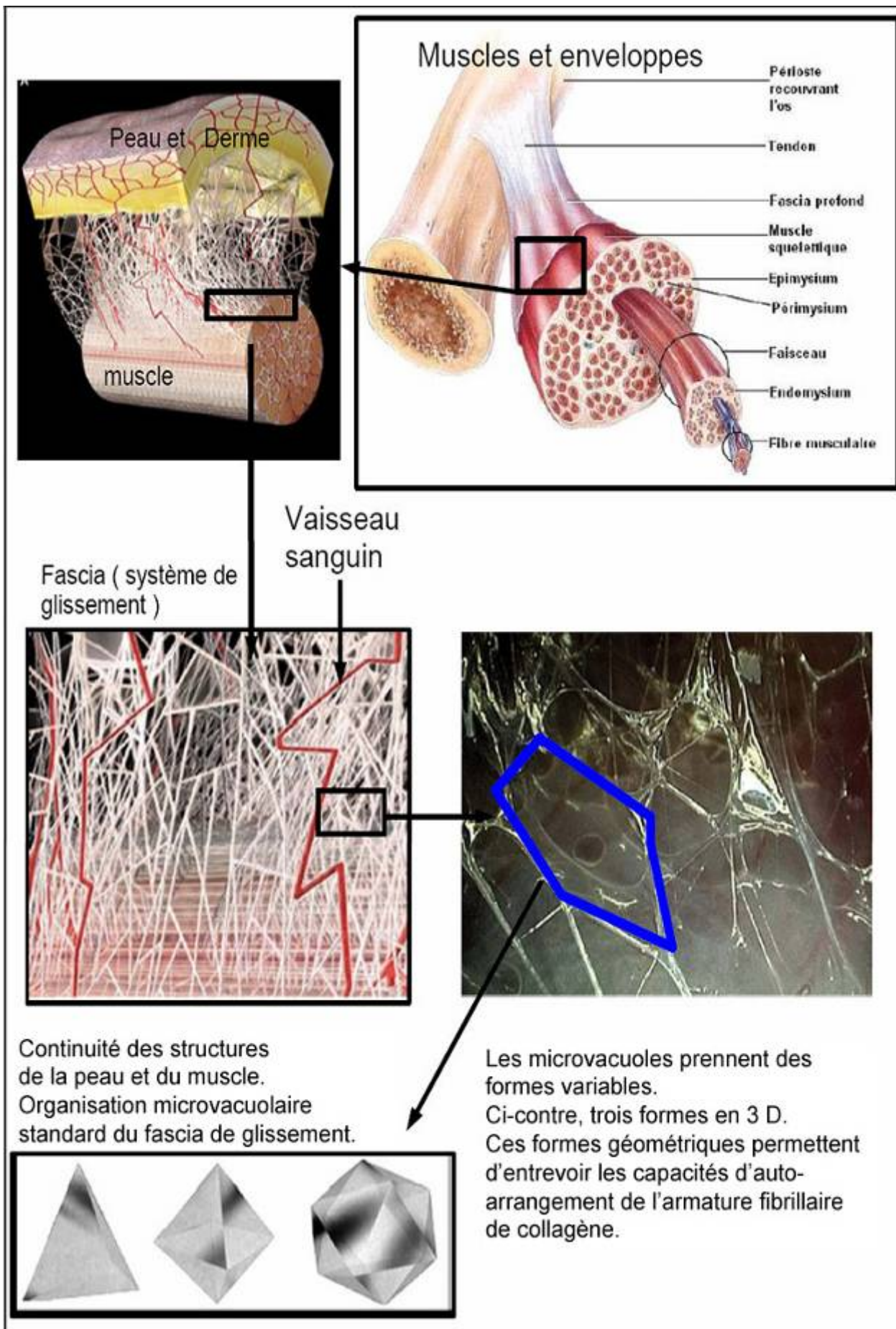
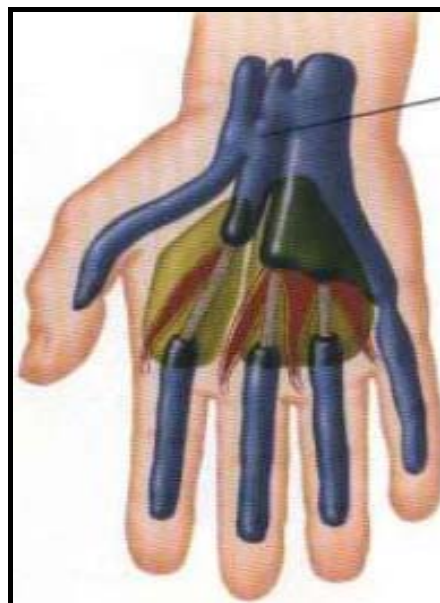
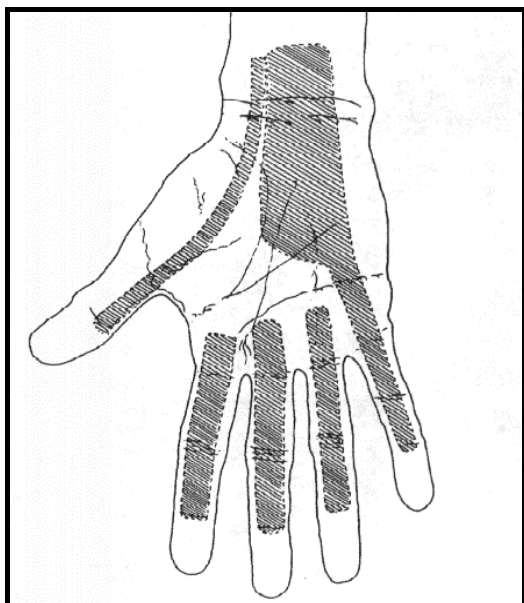


Illustration architecturale standard d'un fascia ou « système collagénique multimicrovacuolaire d'absorption dynamique » d'après Guimbertau *et coll.* [6].



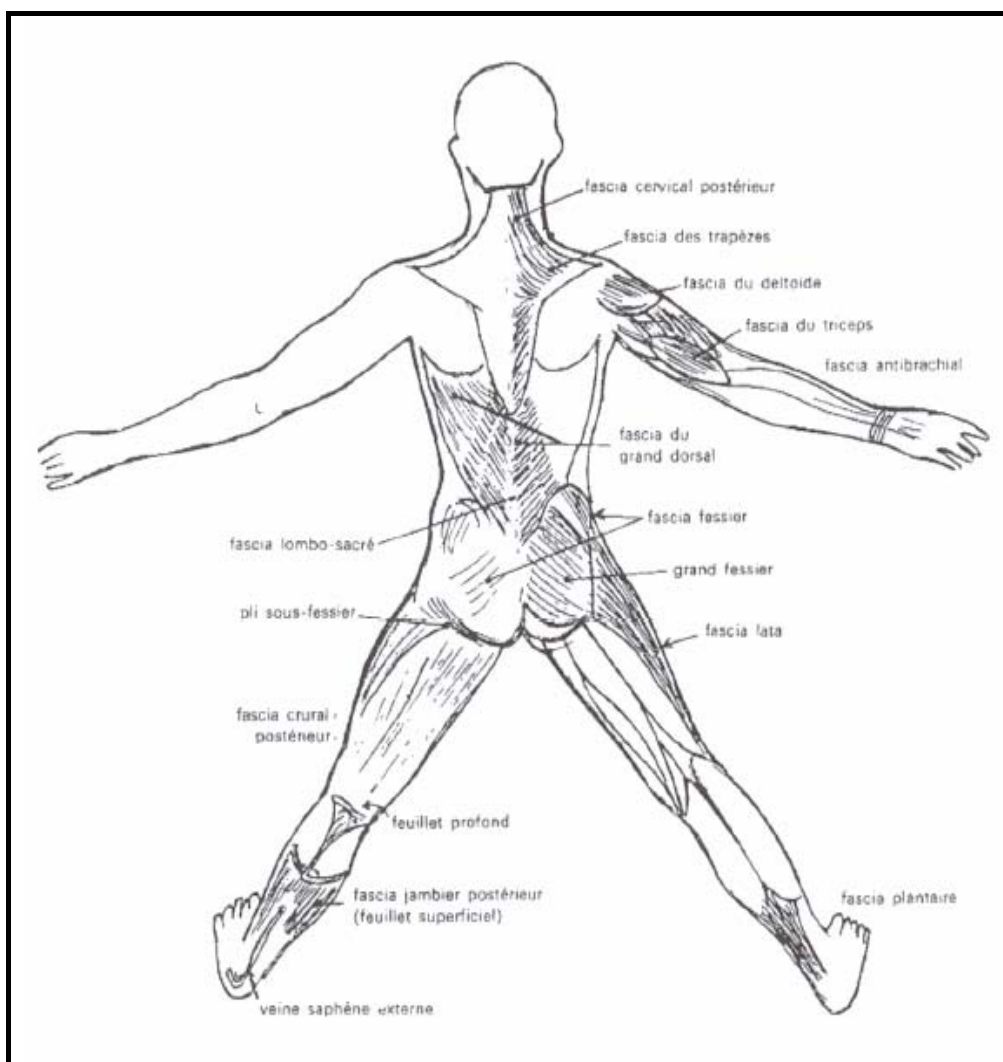
Les gaines tendineuses digitales sont considérées comme une mégavacuole d'après Guimbertau et coll.

b) Données macroscopiques sur le tissu conjonctif

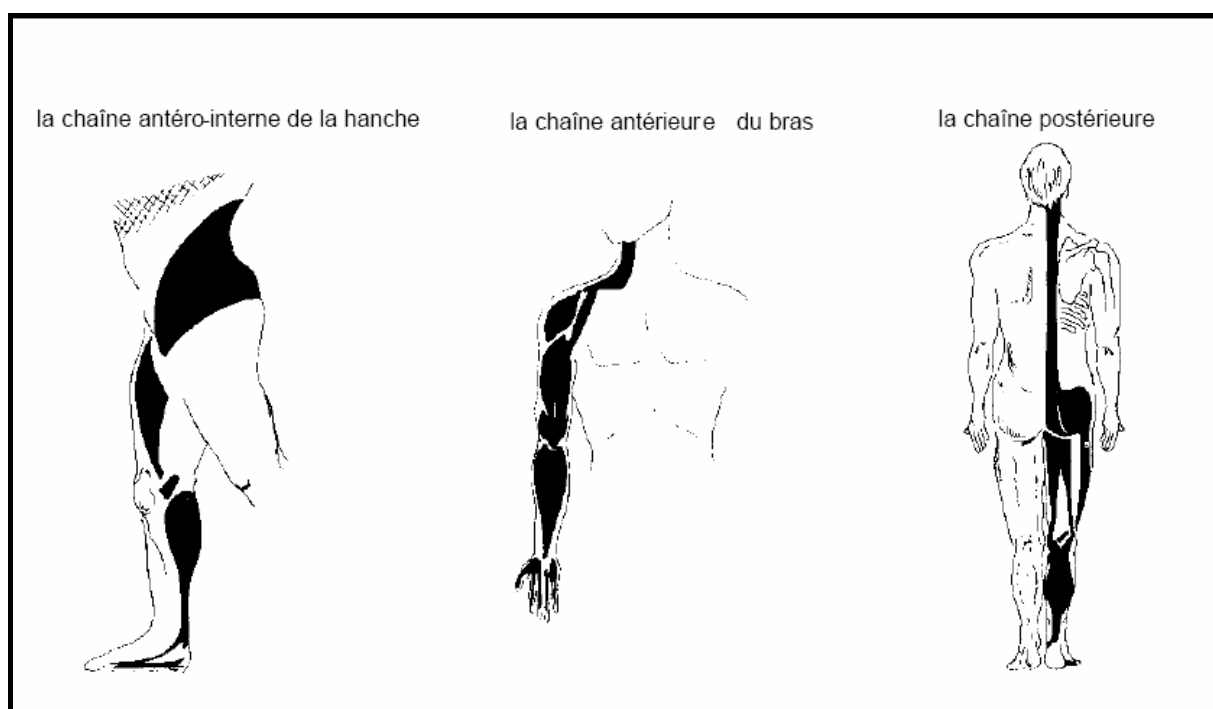
Le « système collagénique multimicrovacuolaire d'absorption dynamique » ou fascia (selon les auteurs) se retrouve dans tous le corps, nous avons sur ce sujet, un thème propre à l'ostéopathie, c'est-à-dire « l'ubiquité des fascias » : tout organe étant entouré par des fascias, ils constituent une porte d'entrée pour le développement d'une thérapie manuelle. L'abord des fascias par la thérapie manuelle a produit de nombreux concepts sur une échelle plus « macroscopique » qui prend en compte la notion de chaînes fasciales pouvant se décliner en chaînes musculaires. Ici, le système est considéré comme un ensemble de succession de muscles (entouré d'aponévroses) organisé de façon directionnelle, dans tout le corps (« Comme les tuiles d'un toit », expression courante dans le Méziérisme).

Il existe différents concepts de chaînes musculaires qui peuvent s'opposer entre eux [8 ; 9] :

- le concept de la chaîne musculaire postérieure (Mézières),
- d'analyse mécanique (de Pierron et Leroy),
- des chaînes articulaires et musculo-aponévrotiques (Struyf-Denis),
- myo-fascial (Bienfait),
- ostéo-myotensif (Busquet),
- postural global (Souchard),
- du tendon central.



Exemple de chaînes fasciales (fascia myotensif postérieur) d'après Courraud C [10].



Exemple de conception de chaînes musculaires selon la rééducation posturale globale, d'après Souchart.[11].

Certains comparent les systèmes des fascias à une toile fasciale tendue par le cadre osseux (Busquet). Alors on pourrait se poser la question, quel système est subordonné à l'autre ? Est-ce les chaînes musculaires ou les chaînes fasciales ?

Les avis divergent quant au lien de subordination entre les chaînes musculaires et les chaînes fasciales.

Ils ne semblent pas y avoir de hiérarchie « préalable » : « ... Les étirements en chaîne sollicitent de nombreux muscles habitués à fonctionner de concert... Le continuum formé par des nappes de muscles et d'aponévroses qui sont sollicités ensemble par des mises en tension spécifiques. La confusion ne doit pas être faite avec des « chaînes musculaires » conceptuelles (décrites souvent en lemniscate) dont parlent à la fois les ostéopathes... p38 » [12].

Pour l'auteur Léopold Busquet [13], le muscle est subordonné aux fascias, « le muscle n'est qu'un manoeuvre au service de l'organisation générale, c'est à dire au service des fascias... » [13]. Certains chirurgiens cités plus haut, Guimbertau *et coll.* [6], aboutissent à des conclusions similaires sur le fascia : «... MCDAS (= système collagénique multimicrovacuolaire d'absorption dynamique) se retrouve donc dans l'ensemble du corps et semble être le tissu relationnel, d'adaptation. Mais est-ce suffisant comme conclusion ? Cette apparente organisation globalisante, véritable charpente mésoscopique de la matière vivante incite à une perception, plus holistique ; ce tissu a peut-être une autre importance que de n'être que conjonctif ou de remplissage. Et si en fait, il était l'architecture structurante basique de la forme vivante ?...p30 ».

En musculation, par le concept d'énergie - structure, le muscle peut être envisagé comme l'élément central de la structure ou une structure bien en amont [14]. Il est au cœur de la production d'énergie d'ATP se transmettant, se transformant aux différents plans de la structure musculaire (sarcomère, fibre, muscle, puis coordination entre agoniste - antagoniste puis chaînes musculaires...).

Les avis sont donc partagés suivant les écoles où l'angle de vue que l'on souhaite aborder.

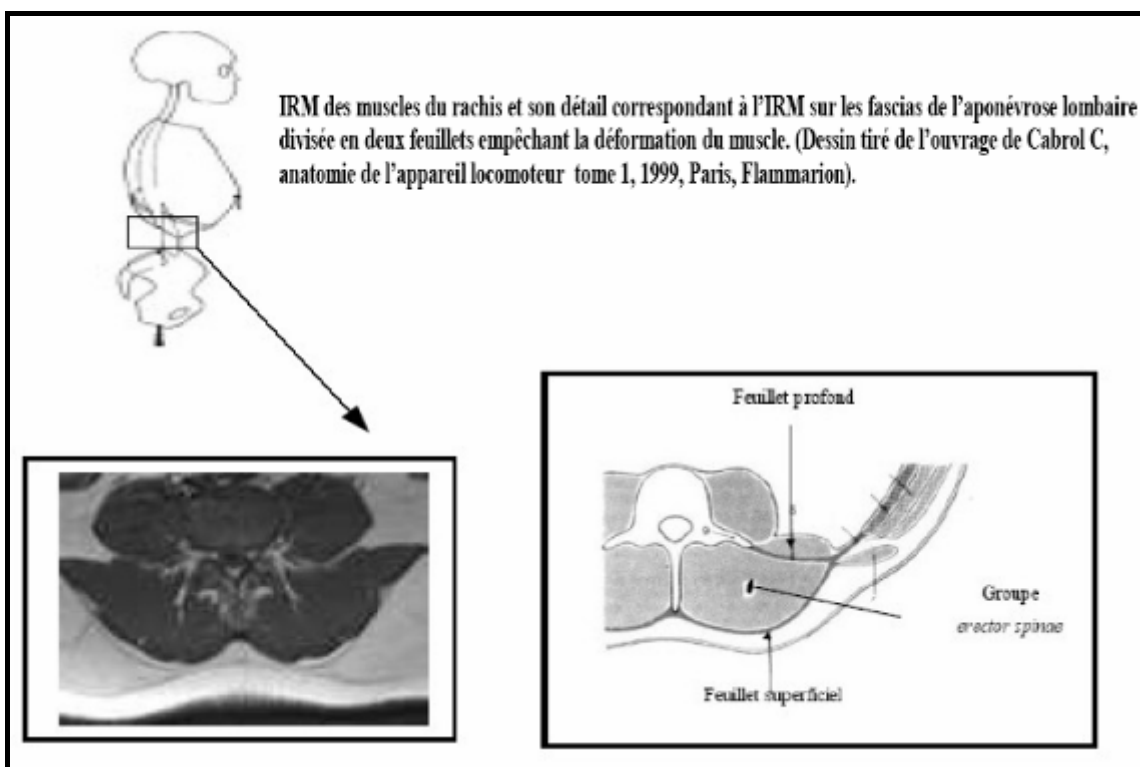
c) Rôles du tissu conjonctif

Au-delà des différents concepts, les aponévroses ont un rôle indispensable au bon fonctionnement des organes [7] :

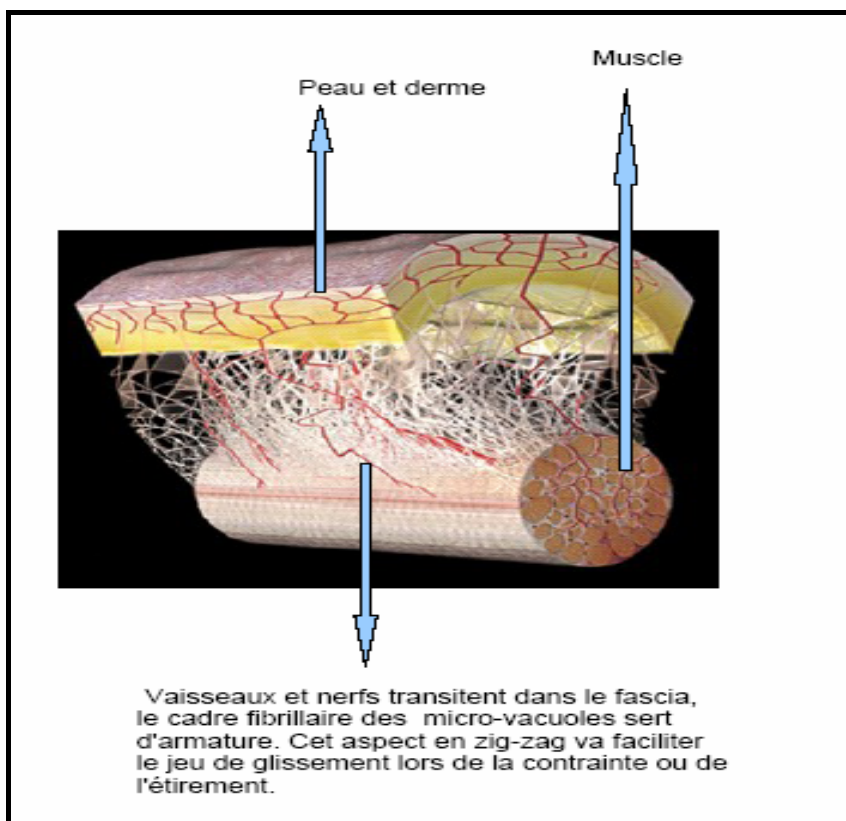
- rôle de soutien,
- de support,
- de protection,
- d'amortisseur,
- de verticalité de la posture (selon Busquet),
- hémodynamique,
- de défense,
- de communication et d'échange,
- biochimique.

Les cinq premiers rôles nous intéressent particulièrement.

Par le rôle de soutien, le système musculaire peut fonctionner, les articulations sont stables, les organes peuvent maintenir leurs formes anatomiques et sont fixés aux os. Nous pouvons citer l'exemple de l'aponévrose lombaire qui limite la déformation transversale des muscles du rachis, ce rôle est aussi nommé « rôle d'anti-globulisation » des muscles érecteurs du rachis [15].



Par le rôle de support, le système fascial (ou des aponévroses) supporte le système nerveux vasculaire et lymphatique.

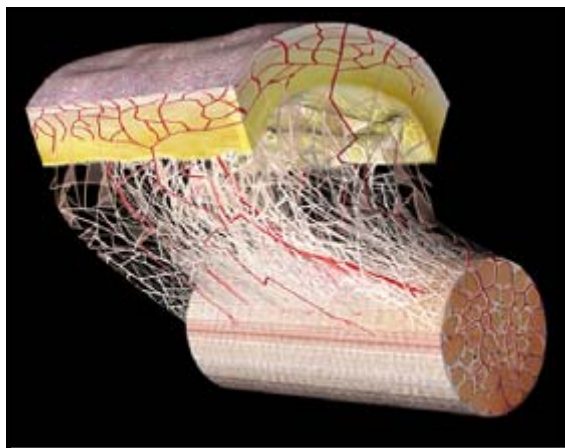


Rôle de support vasculo-nerveux de l'aponévrose, d'après Guimbertau *et coll.* [6].

Par le rôle de protection, Il peut s'épaissir ou se densifier dans les zones de contraintes maximales.

Par leur rôle d'amortisseur, l'élasticité du fascia permet d'amortir les contraintes et les pressions.

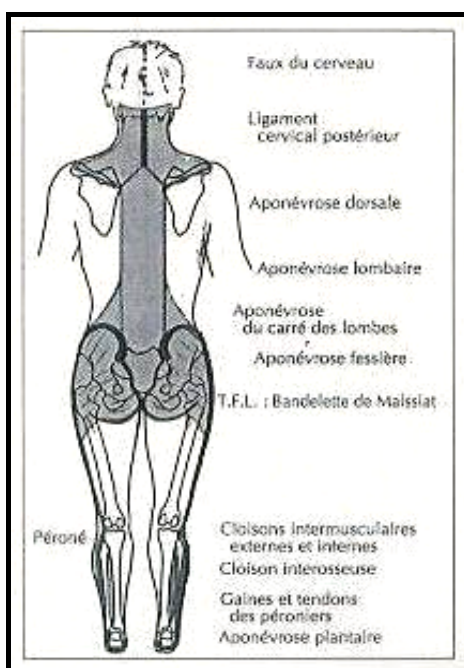
Cette élasticité est réalisée grâce au système microvacuolaire extensible.



Rôle d'amortisseur de l'aponévrose, d'après Guimbertau *et coll.* [6].

Guimbertau *et coll.* décrivent : « ... Il faut que ce comportement soit de type caoutchouteux, permettant la traction des fibrilles en associant extemporanément les autres fibres voisines, distribuant la contrainte, évitant la fracture fibrillaire. L'absorption de la contrainte va se faire tout au long du tramage. Ainsi la vacuole la plus près du mobile accomplit son rôle plastique au maximum et celle la plus éloignée est peu concernée...p 26 » [6]. En effet, les fibrilles de collagènes (l'armature de la microvacuole) sont capables de s'adapter en changeant de forme grâce à diverses propriétés : « ...nous avons observé que la fibrille sollicitée répond tout d'abord par un allongement, ce qui témoigne d'un réarrangement moléculaire avec une capacité à la récupération de la forme initiale instantanée. Une précontrainte interne, comme un ressort, semble être en premier sollicitée pour de minimes tensions. Les fibres sous sollicitation mécanique peuvent se diviser, sans apparence brutale dans l'espace en plusieurs autres fibrilles qui se dispersent, peuvent ainsi répartir les forces et les absorber efficacement. Cette fusion-scission au sein d'un gel commun témoigne d'une fluidité visqueuse capable de friction ou attraction explicable par des liaisons covalentes...p28 » [6].

Par le rôle sur la posture verticale, ils ont un rôle important dans le maintien de la posture verticale. Dans le cadre de la notion de verticalité, Busquet décrit une chaîne statique postérieure essentiellement fibreuse [13].



Chaîne statique postérieure, d'après Busquet [13].

Toutes ces fonctionnalités sont effectives grâce à l'organisation propre aux fascias. Ils s'organisent en chaînes fasciales et en d'autres termes en chaînes musculaires tant la corrélation est étroite.

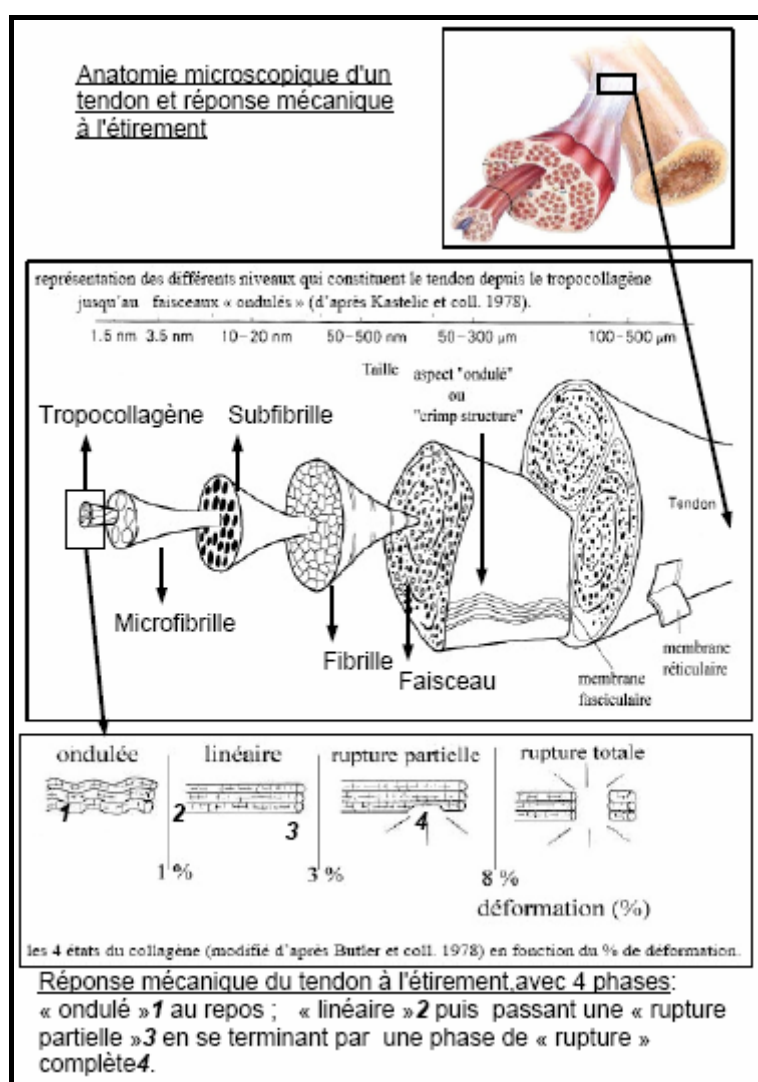
3 - Le tendon et le tissu osseux

a) Le tendon

Le tendon constitue un dérivé d'aponévrose avec une organisation des fibres de collagène différentes. Il est constitué de 70% de fibres collagéniques (70% de la masse du tendon) [16]. C'est un tissu dense, très peu vascularisé. Il est formé sur plusieurs niveaux architectural de fibres (comme le muscle), dont le tropocollagène est le plus petit.

Un assemblage de tropocollagène forme les microfibrilles puis ces dernières réunies constituent les subfibrilles qui vont se réunir en fibrilles. L'ensemble des fibrilles devient le faisceau puis à leur tour le tendon. Les faisceaux du tendon sont organisés les uns parallèles aux autres par rapport à l'axe du tendon [16].

L'aponévrose des muscles a des fibres maillées plus lâche (organisation microvacuolaire tridimensionnelle), elle est donc plus déformable.



Anatomie microscopique et réponse mécanique d'un tendon.

Les fonctions du tendon sont :

- la liaison et la stabilisation des articulations du système squelettique (attache du muscle à l'os),

- la transmission des forces musculaires aux os.

b) Le tissu osseux lors de l'étirement

L'étirement agit sur l'os et peut même stimuler l'ostéogénèse en cas d'ostéoporose [17]. L'os subit une contrainte mécanique en cas d'étirement au niveau des insertions des muscles.

4 - Les mécanismes nerveux lors de l'étirement

Ils sont mis en jeu grâce à des « capteurs » sensoriels périphériques situés dans le muscle et dans le tendon :

- le fuseau neuromusculaire dans le muscle,
- l'organe tendineux de Golgi dans le tendon (également nommé fuseau neurotendineux).

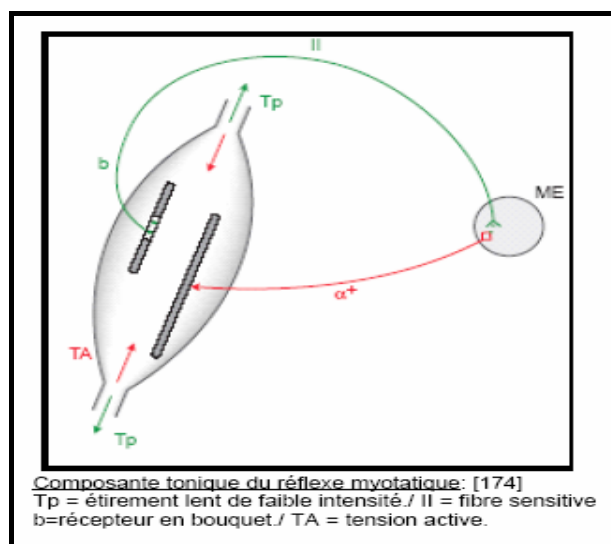
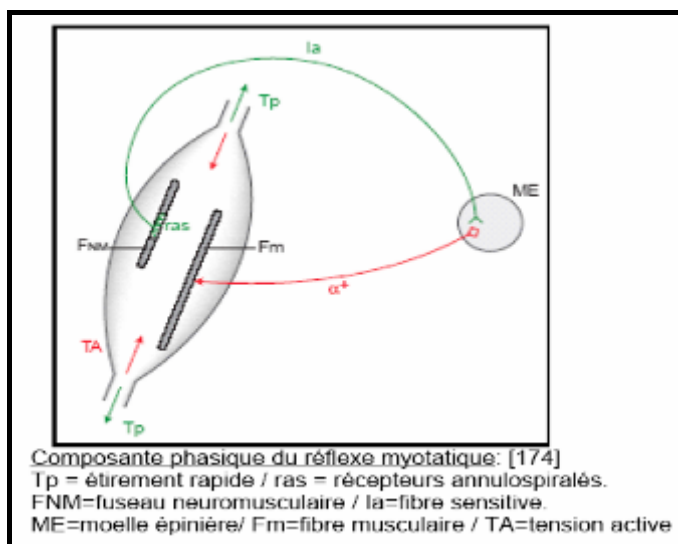
Nous allons présenter les réflexes dans l'ordre d'extensibilité décroissante des structures concernées, c'est-à-dire le muscle puis le tendon.

a) Le réflexe myotatique (ou réflexe d'étirement)

C'est un processus neurologique réflexe qui débute au niveau du muscle. Le rôle du réflexe myotatique est de contrôler les changements « brusque » ou « involontaire » de la longueur du muscle. Ce réflexe d'étirement est possible grâce aux fuseaux neuromusculaires situés dans le muscle. Les fuseaux neuromusculaires captent les informations sur la longueur des muscles, c'est-à-dire leurs états d'étirements et de contractions. Le muscle étiré ou contracté brusquement va exciter le fuseau neuromusculaire provoquant le réflexe myotatique [18 ; 19].

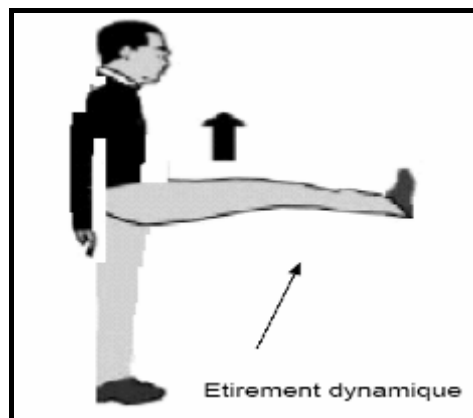
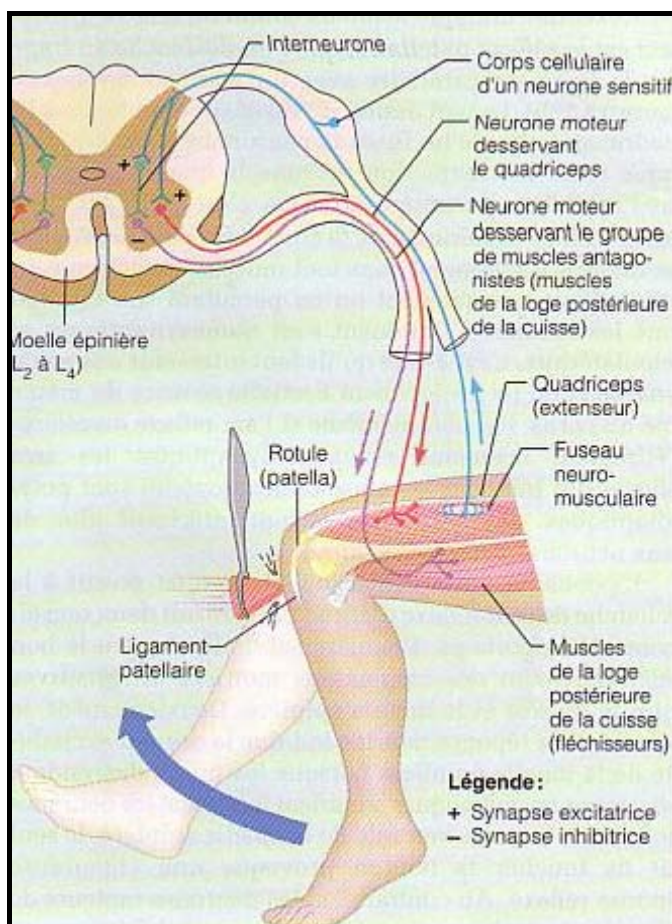
Le réflexe myotatique possède deux composantes, une phasique et l'autre tonique. La composante phasique est liée à la vitesse rapide d'étirement provoquant une contraction réflexe. Elle met en jeu les fibres nerveuses afférentes de type Ia (d'où l'indication de nombreux auteurs de ne pas faire un stretching rapide). La composante tonique de réflexe est liée à l'intensité faible de l'étirement qui provoque aussi une contraction réflexe. Elle met en jeu les fibres nerveuses afférentes de type II [20]. Ce réflexe est monosynaptique et homolatéral.

REFLEXE MYOTATIQUE = POUR LE CONTROLE DE LA LONGUEUR DU MUSCLE



La composante phasique et tonique du réflexe myotatique, d'après Chavanel et coll. [20].

La conséquence pratique du réflexe d'étirement est son exploration par le médecin grâce à son marteau à réflexe lors d'une percussion sur un tendon. Cette percussion provoque un étirement brusque du muscle. Cet étirement de muscle provoque sa contraction réflexe, de ce fait beaucoup de physiologistes déconseillent les étirements balistiques.



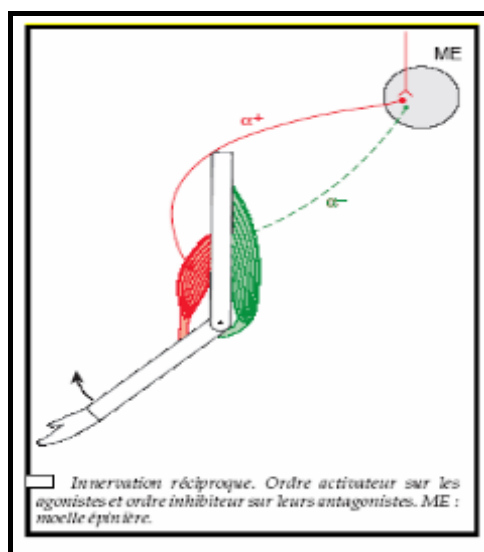
Les étirements de type balistique provoquent un réflexe d'étirement

L'étirement brusque au cours d'un lancer de jambe peut provoquer une contraction des ischiojambiers à cause du réflexe myotatique (composante phasique). Ceci peut favoriser des lésions musculaires.

Le réflexe d'étirement ou myotatique selon Marieb E.N [18].

b) L'innervation réciproque

C'est un processus neurologique réflexe qui débute au niveau du muscle. L'innervation réciproque est utilisée dans la contraction de l'antagoniste dans la méthode CRAC (à la quatrième phase de la technique), ce qui permet au muscle agoniste étiré d'être inhibé.



D'après Chavanel et coll. [20].

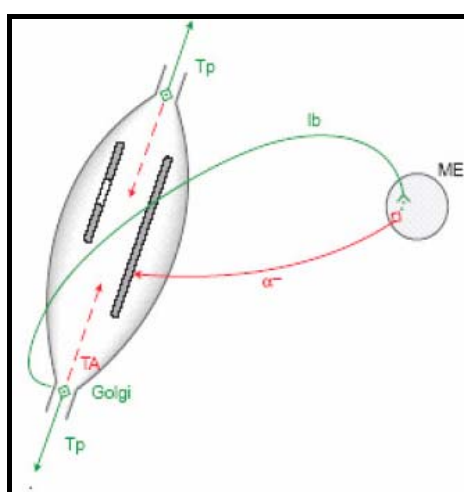
c) Le réflexe myotatique inverse (ou réflexe tendineux)

C'est un processus neurologique réflexe qui débute au niveau du muscle. Le rôle du réflexe myotatique inverse est de provoquer « le relâchement et l'allongement » en réponse à sa contraction. Ce réflexe est possible grâce aux organes tendineux de Golgi, organes sensibles à la tension du tendon. Ces fuseaux neurotendineux auront pour effet d'envoyer un signal inhibiteur au muscle (étiré ou contracté). C'est-à-dire par les neurofibres Ib puis les fibres alpha (-), ces dernières vont inhiber le muscle en cas de tension trop forte [18 ; 19 ; 20].

Il peut être déclenché de deux façons :

- par une forte tension pendant un temps court,
- par une faible tension pendant un temps long (d'où l'indication de nombreux auteurs de pratiquer d'un stretching lent).

REFLEXE MYOTATIQUE INVERSE = POUR LE CONTROLE DE LA TENSION DANS LE MUSCLE



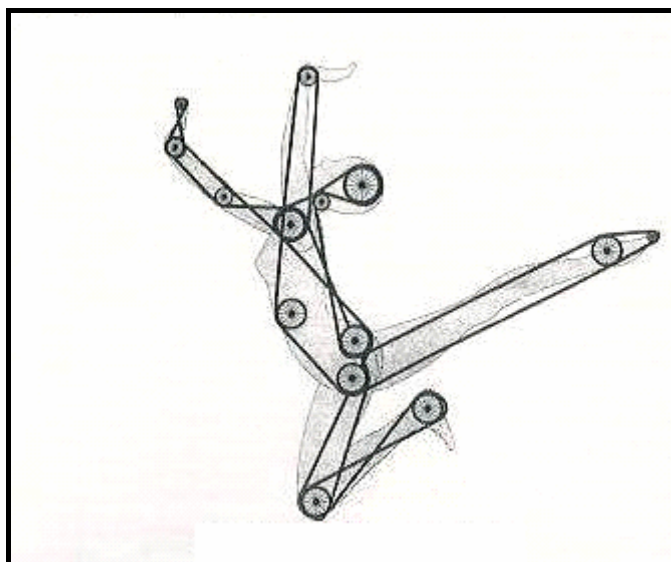
Le réflexe myotatique inverse : Tp = tension passive étirement intense (ou contraction non décrite ici), Ib = fibre sensitive, TA = contraction réflexe arrêtée grâce aux neurofibres alpha (-). D'après Chavanel *et coll.* [20].

La conséquence pratique du réflexe myotatique inverse est celle de l'indication d'un stretching passif. Ce stretching passif, lent, statique va être conseillé par les physiologistes car provoque un relâchement des structures musculaires. « ...Ce principe fonde la méthode des étirements statiques passifs générés par la force de gravité... » [21].

5 - Le rôle des axes articulaires dans la transmission des « forces »

a) Le concept de poulie

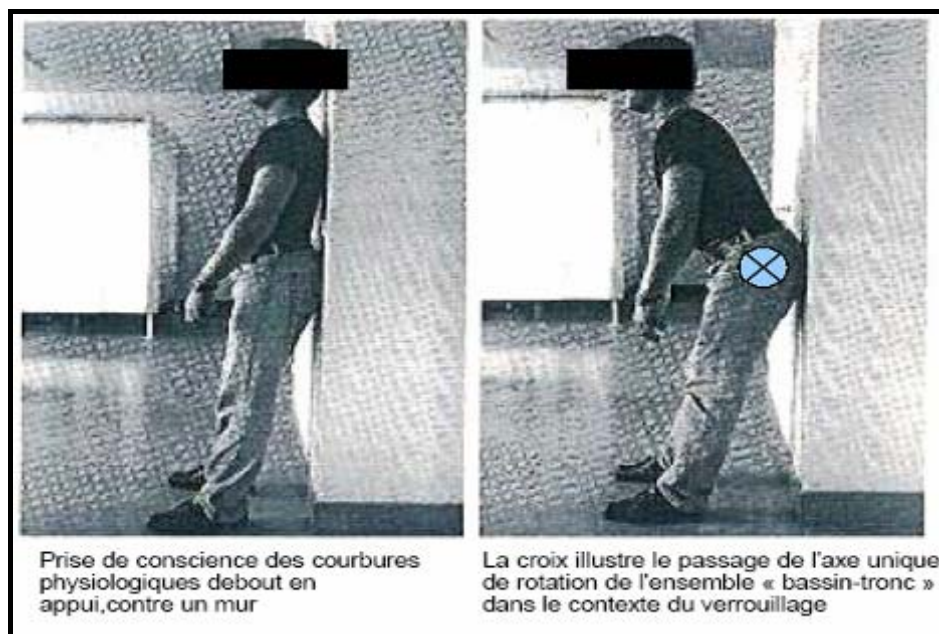
Ces chaînes ont donc un rôle de transmission, coordination - harmonisation et d'amortissement. Certains parlent de véritables cordes fasciales avec des poulies de réflexion (ce concept de poulie est utilisé dans les courants ostéopathiques), le schéma suivant illustre bien ce propos.



Les poulies de réflexion, d'après Paoletti S [7].

Ce schéma est tiré de l'ouvrage de Serge Paoletti [7], nous remarquons que la plupart des poulies de réflexion correspondent aux articulations (poignet, doigt, sacro-lombaire, coxo-fémorale, genoux, cheville...). Ce schéma est un profil, il montre indirectement le versant sagittal de la biomécanique articulaire. Notamment pour la colonne vertébrale avec l'articulation prépondérante du bassin dans son équilibre sagittal (version pelvienne, pente sacrée, et force de contact intervertébrale). D'ailleurs l'exploitation de ces « poulies / articulations » est fréquente dans les méthodes d'étirements ou de rééducation.

Illustrons un exemple d'exploitation de ces poulies dans la région du bassin.



Prise de conscience des courbures physiologiques debout en appui, contre un mur

La croix illustre le passage de l'axe unique de rotation de l'ensemble « bassin-tronc » dans le contexte du verrouillage

La rotation du bassin et du tronc, d'après Troisier O [22].

Les deux photos précédentes sont une illustration de la technique de verrouillage - déverrouillage de Troisier, avec un travail effectué sur la coxo-fémorale, véritable « poulie-clé » de la méthode Troisier pour la protection des lombalgiques [22]. D'autres méthodes insistent sur la prise de conscience de cette région et de sa fonction.

b) La répartition des forces de contact

Bien souvent le but des méthodes de rééducations globales est d'éviter une accentuation des courbures (hypercyphose ou hyperlordose) afin de ne pas effectuer un travail en compensation de la colonne vertébrale, et ceci par d'une compréhension des articulations du bassin (articulations sacro-lombaires, coxo-fémorales) c'est-à-dire de l'équilibre sagittal pelvi-rachidien.

Nous voyons dans le cadre de ces étirements que les notions de cambrure lombaire exagérée ou l'existence de cyphose thoracique sont des éléments qui peuvent être considérés comme anormaux (compensation) ou comme une synergie. Nous abordons ici, le lien très étroit des étirements des membres périphériques avec la colonne vertébrale, parties du corps inséparables dans le cadre des méthodes globales d'étirements. La jonction entre la colonne vertébrale et les membres se fait :

- soit au niveau supérieur par le groupe scapulo-huméro-thoracique,
- soit au niveau inférieur par l'articulation coxo-fémorale et le sacrum.

Le niveau inférieur est essentiel pour bien répartir les forces de contact au niveau intervertébral (équilibre sagittal pelvi-rachidien). La rotation de l'axe coxo-bi-fémoral peut engendrer soit un mouvement de rétroversion du bassin, soit une antéversion, ce que l'on appelle la « version pelvienne » [23] (synonyme de l'« assiette neutre remplie d'eau » utilisée en langage imagé par certains moniteurs de la gymnastique Pilates pour définir un bassin en position neutre, c'est-à-dire sans hyperlordose ou hypercyphose lombaire, voir DVD gymnastique « Essentiel Pilates n°1 avec petit matériel » avec Didier Pescher, chapitre placement du corps, collection Eurothémix).

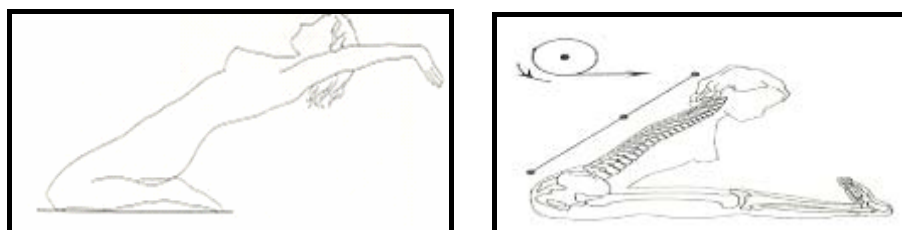
L'élément clé est la non augmentation des forces de contact au niveau de l'articulation intervertébrale c'est-à-dire de ne pas augmenter les forces de compression et de cisaillement au niveau des espaces intervertébraux (ce qui se traduit par des compensations) [23].

Il en résulte une volonté de répartir harmonieusement les courbures de la colonne vertébrale :

- un rachis aux courbures effacées aura des forces de contact s'appliquant en compression,
- un rachis aux courbures accentuées aura des forces de contact qui s'appliqueront en cisaillement.

Cette répartition harmonieuse se réalise à partir d'articulations importantes comme l'articulation coxo-fémorale. Elle va pouvoir orienter la « pente sacrée » et par ce fait accentuer ou non les courbures (ces notions de force de contact seront développées au chapitre III) [23]. Les différents auteurs pour créer les conditions d'une répartition harmonieuse des forces de contact entre les vertèbres vont devoir mettre en évidence des postures normales ou des postures tendant vers « la perfection » (d'où le rôle de certaines articulations clés pour adopter une bonne posture, ici la coxo-fémorale). L'exploitation de la potentialité de ces poulies (c'est-à-dire articulations principales) se fait par le travail des étirements ou d'un bon placement corporel.

Le terme de « posture tendant vers la perfection » est un vocabulaire employé par Souchard [24], l'amplitude articulaire reflétant au mieux le rôle de la poulie. Les illustrations suivantes montrent un maximum d'amplitude articulaire sans compensation.



Postures illustrant la perfection (sans compensation), d'après Souchard [24].

Cette notion de perfection est souvent associée dans les étirements posturaux par l'absence de compensation dans la posture. Par exemple, il n'y a pas de cyphose dorsale lors de la flexion antérieure du tronc sur les membres inférieurs. Ce concept de la compensation a été mis à jour

lors de l'élaboration de la méthode Mézières. Elle les appelait les « tricheries », celles-ci s'incluent dans le système des chaînes musculaires [25]. Pour certains la compensation peut être substituée à la notion de synergie : « ...alors que ce sont en fait des substitutions d'un muscle par un autre : celui qui est encore opérationnel tente de faire faire le travail de celui qui est absent... p15 » [26].

Kendall en 1988 décrit une étude sur le contrôle de la capacité d'étirement des muscles dorsaux en position assise en fonction de l'angle coxo-fémorale [3 ; 27]. Cet auteur décrit la posture de figure précédente (flexion du tronc en avant jambe tendue) : «... Capacité d'étirement normale des extenseurs du dos dans la zone thoracique : contracture des extenseurs du dos dans la région lombaire avec « paralysie » des deux jambes... p 375 ». Cette étude met en avant, le travail des étirements sélectifs par rapport aux étirements en groupe de chaînes musculaires : « ...L'étirement du muscle doit être si possible sélectif et ne pas s'inscrire dans un mouvement complexe, auquel participe plusieurs muscles en série...p 374 » [3]. L'étude se continue par la description des différents angles possibles de l'articulation coxo-fémorale lors de la flexion antérieure du tronc (120°, 90°, 45°). Elle décrit ainsi l'articulation comme une poulie.

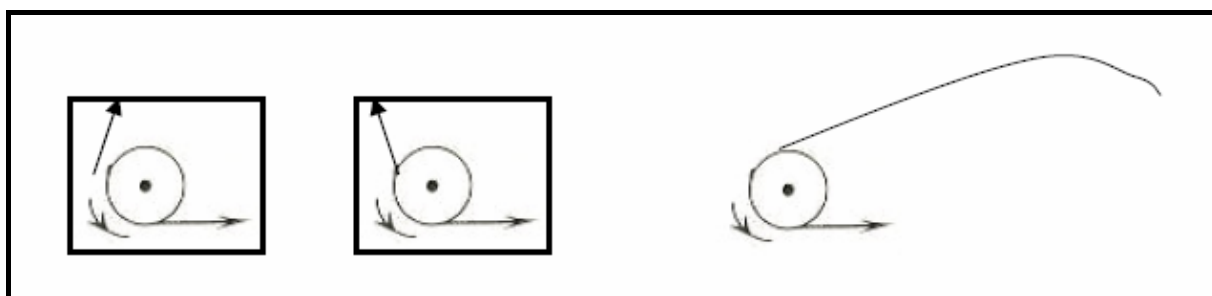


Illustration des différents angles de la coxo-fémorale lors de la flexion antérieure du tronc. La flexion progressive confirme le rôle de poulie.

II - Conséquences pratiques

1 - Amélioration de l'amplitude

Les objectifs principaux sont :

- l'amélioration de l'amplitude articulaire (effet à long terme) [28],
- lutte contre la raideur musculaire (relâcher et décontracter les muscles) [29 ; 30].

Plusieurs zones cibles sont visées :

- la colonne vertébrale,
- la région du bassin,
- les membres.

Trois composantes anatomiques peuvent être travaillées pour le gain d'amplitude :

- le tendon,
- le muscle,
- l'aponévrose.

Les diverses méthodes axent les exercices en proportion variable sur ces éléments. Les objectifs peuvent être variables dans le temps surtout en rééducation du sportif.

Les exercices peuvent être organisés en trois objectifs :

1. les exercices d'étirements d'entraînement, le but est l'amélioration de l'élasticité musculaire,
2. les exercices d'étirements de maintien, le but est la conservation du degré d'élasticité

musculaire et la mobilité articulaire,

3. les exercices d'étirements de régénération, ils sont basés sur la combinaison de techniques de décontraction musculaire et d'étirements de faible intensité.

2 - Consignes de base pour débiter les étirements

Voici quelques consignes de bases pour bien débiter les étirements [4 ; 31] :

- bien s'échauffer,
- éviter les à-coups,
- apprendre quelques mouvements de base,
- commencer par des mouvements lents ou des positions statiques,
- éviter les erreurs de placements (lordose ou cyphose exagérée),
- éviter les positions extrêmes (ménisques),
- inclure les rotations si possible après maîtrise d'une gestuelle de base.

Il est conseillé d'adapter les étirements selon l'activité et la chronologie de la séance.

Pour la séance d'échauffement :

- étirements de type activo-dynamique [4],
- étirements actifs raisonnés myotendineux, ERAMT [32].

Entre les efforts :

- étirements de type contracté - relaché [4 ; 33].

En fin de séance :

- étirements passifs [4 ; 29 ; 31].

En dehors des efforts, en séance individuelle :

- étirements posturaux.

3 - Remarques sur l'échauffement

Rey *s et coll.* [32] conseillent les étirements actifs raisonnés myotendineux à l'échauffement (ERAMT). Les physiologistes nous indiquent que : « ... Quelle que soit la technique utilisée, les effets négatifs sur la performance sont présents...p 8 » [29 ; 34].

De même, Ziltener *et coll.* [28] affirment : «... Il a, en outre, été montré qu'en termes d'échauffement, voire de performance, un protocole incluant course sous-maximale et sauts répétés d'intensité moyenne (avec et sans contre-mouvement) donnait de meilleurs résultats qu'un protocole identique auquel étaient ajoutées des séances d'étirements statiques des membres inférieurs...p 113 » et toujours dans le même article « ... En guise d'échauffement, les étirements ne sont pas indiqués pour les sports de force, d'explosivité ou de vitesse - détente... p 115 ».

Egalement, les étirements ne permettent pas l'augmentation de la température musculaire [28 ; 16] de façon efficace à l'échauffement. Ziltener *et coll.* proposent à la place des étirements « ... des séries de contractions concentriques contre résistance légère à moyenne semblent bien plus efficaces...p113 » [28].

4 - Prévention des blessures et étirement

Il s'agirait (à l'échauffement ou à d'autres moments de la séance sportive) de considérer plutôt le risque de blessure en utilisant une technique d'étirement. Selon certaines études (comme les études de Pope *et coll.*, 1998 et 2000), les étirements avant exercices physiques ne permettraient pas de diminuer les risques de blessures dans les phases initiales d'un nouvel apprentissage [29].

Mais Canal M. [2] relativise cette remarque en citant d'autres études discordantes sur le sujet de la prévention des blessures (comme celles Hilyer *et coll.*). Son principal argument est celui-ci : « ... Ces études concernent en priorité les étirements à court terme et il serait faux de généraliser...p33 » [2]. De même Gremion G dans sa revue de littérature sur le sujet indique « ...aucune étude n'a examiné une population d'athlètes peu mobiles et donc à plus hauts risques de blessures. Ces derniers pourraient bénéficier avantageusement du stretching... » [34].

Les étirements semblent être contre-indiqués en cas de courbature, les étirements statiques entraînant plus de courbatures que les étirements balistiques [28]. De plus les courbatures semblent être plutôt une adaptation à l'effort musculaire. « ... Ainsi il n'est pas interdit de penser que les courbatures qui disparaissent toujours au bout de 5 à 7 jours sont les signes précurseurs normaux de l'adaptation musculaire à une forte utilisation, adaptation réduisant par la suite les risques de blessures...p36 »[2].

5 - La performance et étirement

Pour le sportif amateur et surtout le senior, la notion de performance peut être très secondaire. La lutte contre l'enraidissement est une priorité chez le senior et la notion de compétitivité absente chez le « sportif du dimanche ». Les étirements vus dans le contexte global de la santé, avec une meilleure connaissance du placement du corps, une meilleure mobilité, un effet relaxant...font passer au second plan les études statistiques (...en millisecondes sur le temps de suspension en saut ... [32]) sur le déficit d'une performance illusoire [30].

D'autre part, l'efficacité d'un étirement se heurte à des limites anatomiques variables selon les individus : la disposition des fibres musculaires, des enveloppes conjonctives internes et externes, les tendons, l'excès de graisse, le contact avec les masses osseuses, l'âge, sexe, hérédité et disponibilité pour s'entraîner régulièrement ...

Canal M. [2] et Gremion G. [34] indiquent que la méthode d'assouplissement la plus efficace pour augmenter l'amplitude du mouvement articulaire serait la technique du contracter - relâcher avec contraction du muscle antagoniste pendant la phase d'étirement [2] ou méthode CRAC.

C'est une méthode qui demande beaucoup de précaution, d'apprentissage dans la sensation de relâchement et de contraction musculaire.

6 - La vitesse gestuelle et étirement

Si l'étirement est effectué de façon rapide, le fuseau neuromusculaire à l'intérieur du muscle est stimulé et provoque le déclenchement du réflexe myotatique. Celui-ci va provoquer la contraction réflexe du muscle et l'étirement ne pourra s'effectuer correctement, c'est pourquoi beaucoup d'auteurs conseillent de faire les étirements lentement. Le mouvement lent va provoquer une réponse des organes tendineux de Golgi qui empêche la contraction réflexe par une diminution de l'excitabilité des motoneurones.

Les méthodes PNF vont agir sur la possibilité d'inhiber les motoneurones après la contraction volontaire pour pouvoir inclure l'étirement juste après. Cela sera le cas du « contracter - relâcher ».

La méthode CRAC ajoutera la contraction de l'antagoniste pour avoir un réflexe d'inhibition réciproque.

III - Les mouvements en rotation

Une des origines du travail en rotation serait la technique de « Kashland » utilisée dans la méthode de Kabat. Cette technique se définit comme des mobilisations du squelette fibreux en rotation et spirale autour de fûts osseux [35]. Le mouvement organique physiologique se développe dans un espace courbe à trois dimensions avec trajectoire en spirale.

L'extensibilité myo-tendineuse peut s'améliorer lors de l'utilisation de mouvement de rotation. Il semble même qu'elle permet une protection articulaire en limitant l'amplitude extrême. Henri Neiger [5] nous renseigne sur ce sujet : « ...Lorsque le sujet ressent une douleur articulaire, il faut

réduire un peu l'amplitude de cette articulation et en compensation augmenter la composante de rotation... p 33 ».

Cette notion de rotation peut-être définie d'après ce que dit Eric Viel [35] dans son ouvrage « la méthode de Kabat » : une des raisons de l'existence des rotations provient « ...du fait que les insertions musculaires de terminaison sont toujours décalées par rapport à l'axe diaphysaire de l'os, et la première mise en tension entraîne nécessairement une composante rotatoire ; seule la tension synchrone d'autres muscles permet au sujet humain qui se contrôle d'annuler la rotation... p21-22 ». Un des reflets de ce décalage est que la plupart des os sont courbes ou tordus sur eux-mêmes et jamais dans un axe diaphysaire rectiligne.

Pour synthétiser, Eric Viel décrit cinq raisons sur l'intérêt d'un travail en rotation :

«...-1 la double organisation transversale et longitudinale du squelette fibreux du tissus conjonctif. Seul l'enroulement des parties molles autour de l'axe des membres associé à un étirement longitudinal pourra mettre en tension cette structure complexe,

- 2 l'organisation fonctionnelle des feuillets aponévrotiques. Chacun d'eux étant constitué par des travées conjonctives orientées dans le même sens mais formant un angle par rapport à la direction des adjacents,

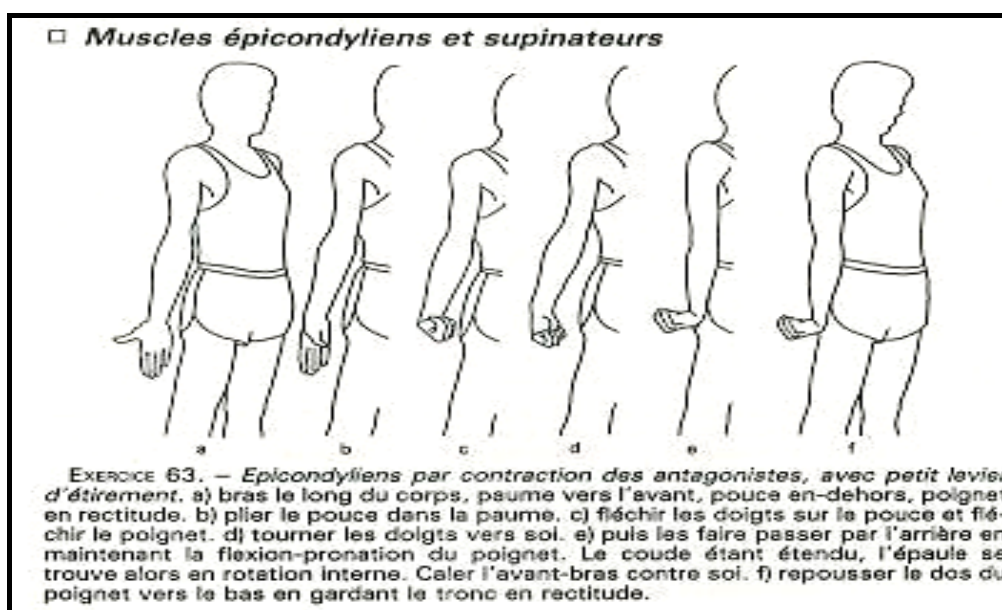
- 3 l'histologie du tissu contractile. A l'organisation longitudinale de l'ensemble des myofibrilles, s'ajoute une spiralisation de celles-ci à l'intérieur des résilles fibreuses,

- 4 la multiplicité des types d'attaches des fibres musculaires sur les lames tendineuses. La rotation seule permet de solliciter l'ensemble de ces sites d'attache,

- 5 l'organisation fonctionnelle du membre inférieur et la ceinture pelvienne en rotation. Chacune des pièces constituantes est entraînée en rotation par rapport aux pièces sus et sous-jacentes lors de la mise en mouvement, que le pied soit libre ou qu'il soit fixé au sol. Il doit alors résister aux contraintes en rotation partant du bassin ou des épaules... p134 -136 » [35],

Cette notion de rotation présente une composante ubiquitaire dans le travail des exercices corporels, tant sur les étirements que sur le renforcement musculaire. Nous verrons qu'une réflexion sur le travail des abdominaux est abordée sur le thème de la rotation des articulations coxo-fémorales par le biais de la théorie des « delta pondéral » (voir chapitre II sur les abdominaux). Cette notion de rotation fait comprendre que l'organisme se meut à travers les trois plans de l'espace.

Ci-dessous un exemple de mouvement rotatoire tiré de l'ouvrage « étirements analytiques en kinésithérapie active » de Michèle Esnault [36].



Un exemple de mouvement en rotation, méthode des étirements myotendineux, d'après Esnault M [36].

BIBLIOGRAPHIE

1 - WAYMEL T

Le stretching, pratique et technique.
Paris : édition Ellebore, 1999.

2 - CANAL M

La souplesse : quelques mises au point.
J. Traumatol.Sport, 2005, n ° 22, pp 32 - 43.

3 - WEINECK J

Manuel d'entraînement, 4^{ème} édition.
Paris : éditions Vigot, 1997.

4 - GEOFFROY C

Le guide des étirements du sportif. 4^{ème} édition.
Paris : collection sport plus, 2005.

5 - NEIGER H, GOSSELIN P

Les étirements musculaires analytiques manuels. Techniques passives.
Paris : éditions Maloine, 1998.

6 - GUIMBERTEAU J.C et coll.

Introduction à la connaissance du glissement des structures sous-cutanées humaines.
Annales de chirurgie plastique esthétique, 2005, n°50, pp 19-34.

7 - PAOLETTI S

Les fascias. 2^{ème} édition.
Vannes : éditions Sully, 2002.

8 - CHANTEPIE A, PEROT J.-F, TOUSSIROT PH

Concept ostéopathique de la posture.
Paris : éditions Maloine, 2005.

9 - VALERO J.P et coll.

« Raideur » analyse et prise en charge.
Ouvrage collectif : Sport et rééducation du membre inférieur.
Sous la direction de Chambat P.
Montpellier : éditions Sauramps médical, 2001, pp 51-61.

10 - COURRAUD C

Les fascias et leur clinique en pratique sportive.
Kinésithérapie Scientifique, 2003, n° 435, pp 37-39.

11 - ASSOCIATION BELGE DEREEDUCATION POSTURALE GLOBALE

Pour mieux comprendre la rééducation posturale globale.
Site : www.rpg-souchard.com, décembre 2002.

12 - VIEL E, ESNAULT M

Récupération du sportif blessé. De la rééducation en chaînes fermées au stretching en chaînes musculaires.
Paris : éditions Masson, 2003.

13 - BUSQUET L

Les chaînes musculaires. 2^{ème} édition.
Paris : éditions Frison-Roche, 1992, tome I.

14 - COMETTI G

Les méthodes modernes de musculation :
Données théoriques (compte rendu du colloque de nov. 1988), tome 1.
France : université de Bourgogne, 1988.

15 - POMERO V

Modélisation géométrique et mécanique des muscles du tronc : relation entre musculature, troubles posturaux et surcharges vertébrales.
Thèse de l'ENSAM (école nationale supérieure des arts et métier, centre de paris), spécialité : mécanique. Soutenue le 25 mars 2002, sous la direction du prof. Lavaste F (laboratoire de biomécanique de l'ENSAM, paris).

16 - COMETTI G

Les limites du stretching pour la performance sportive. Partie 1 et 2.
2ème partie : les effets physiologiques des étirements.
Consultable sur le site : <http://www.u-bourgogne.fr>.

17 - MAYOUX-BENHAMOU M-A, REVEL M

Ostéoporose et rééducation.
Encycl Med. Chir, kinésithérapie- médecine physique-réadaptation, 1999, 26-590- A-10.

18 - MARIEB E N

Anatomie et physiologie humaines.
Paris : éditions Pearson Education France, 2005, 6^{ème} éditions, pp 536-539.

19 - SILBERNAGL S, DESPOPOULOS A

Atlas de poche de physiologie.
Paris : éditions Flammarion, 2002, 3^{ème} éditions, pp 316 - 317.

20 - CHAVANEL R, JANIN B et coll.

Principe de la kinésithérapie active.
Encycl Méd Chir, Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation, 2002,26-045-A-10,15 p.

21 - ZIANE R

GERER SES REFLEXES POUR MIEUX S'ETIRER
Revue sport, santé et préparation physique, avril 2005, n°31.
Lettre électronique des entraîneurs du Val de Marne, Université Paris 12.

22 - TROISIER O, DORARD A, REDONT MA-J

Education vertébrale : verrouillage, déverrouillage.
Paris : éditions Masson, 2002.

23 - ROUSSOULY P, BERTHONNAUD E, DIMNET J

Mécanique de l'équilibre sagittal en position debout.
In : « Douleurs mécaniques et trouble de la statique vertébrales », sous la direction de Biot B, Roussouly P, Le Blay G, Bernard J.C (2ème colloque Centre Médico-Chirurgical de Réadaptation des Massues).
Montpellier : éditions Sauramps médical, 2006. pp 45- 58.

24 - SOUCHARD PH-E

Le stretching global actif.
France, Meolans-revel : éditions Désiris, 1996.

25 - FRERES M

Les étirements à deux.
Rev. de l'éducation, vol.25, 1985.

26 - VIEL E, ESNAULT M

Récupération du sportif blessé. De la rééducation en chaînes fermées au stretching en chaînes musculaires.

Paris : éditions Masson, 2003.

27 - KENDALL PETERSON E, MC CREARY KENDALL, PROVANCE GEISE P

Les muscles, 4^{ème} édition.

Editions pradel, 2003.

28 - ZILTENER J-L, ALLET L, MONNIN D

Le stretching, un mythe...et des constats.

J.Traumatol.Sport, 2005, n° 22, pp 112-115.

29 - PREVOST P

Etirements et performance sportive : une mise à jour.

Kinésithér. Scient. 2004, n° 446, pp 5-13.

30 - LAGNIAUX F

La pratique des étirements chez le senior : intérêts, limites.

Kinésithér. Scient. 2006, n° 467, pp 14-20.

31 - WAYMEL T, CHOQUE J

Etirement et renforcement musculaire.

Paris : éditions Amphora, 2002.

32 - REY S, VAILLANT J, HUGONNARD A

Echauffement musculaire : comparaison des effets de la force musculaire des étirements passifs et des étirements actifs raisonnés myotendineux.

Kinésithér. Scient. 2002, n° 425, pp 41-51.

33 - SÖLVEBORN S-A

Le stretching du sportif. Entraînement à la mobilité

Musculaire, 9^{ème} édition.

Paris : éditions Chiron, 1994.

34 - GREMION G

Les exercices d'étirement dans la pratique sportive ont-ils encore leur raison d'être ? Une revue de la littérature ;

Revue Médicale Suisse, 2005, No 28, pp 1830 -1834.

35 - VIEL E

La méthode de Kabat.

Paris : éditions Masson, 1986.

36 - ESNULT M

Rachis et stretching, éducation du patient à l'étirement.

Paris : éditions Masson, 2005.

Etirements analytiques en kinésithérapie active.

Paris : éditions Masson, 1991.

Table des matières

PHYSIOLOGIE DES ETIREMENTS	1
A - DÉFINITION DES ÉTIREMENTS.....	1
B - GÉNÉRALITÉS.....	1
I - <i>Présentation des structures mises en jeu lors d'un étirement.....</i>	<i>1</i>
1 - Le muscle	2
2 - Les aponévroses et tissus conjonctifs.....	4
a) Données microscopiques sur le tissu conjonctif.....	4
b) Données macroscopiques sur le tissu conjonctif.....	6
c) Rôles du tissu conjonctif.....	8
3 - Le tendon et le tissu osseux	11
a) Le tendon	11
b) Le tissu osseux lors de l'étirement	12
4 - Les mécanismes nerveux lors de l'étirement	12
a) Le réflexe myotatique (ou réflexe d'étirement).....	12
b) L'innervation réciproque	13
c) Le réflexe myotatique inverse (ou réflexe tendineux).....	14
5 - Le rôle des axes articulaires dans la transmission des « forces »	14
a) Le concept de poulie	14
b) La répartition des forces de contact.....	15
II - <i>Conséquences pratiques.....</i>	<i>17</i>
1 - Amélioration de l'amplitude.....	17
2 - Consignes de base pour débiter les étirements	18
3 - Remarques sur l'échauffement	18
4 - Prévention des blessures et étirement.....	18
5 - La performance et étirement.....	19
6 - La vitesse gestuelle et étirement.....	19
III - <i>Les mouvements en rotation.....</i>	<i>19</i>
BIBLIOGRAPHIE	21
TABLE DES MATIÈRES.....	24