



# *LES ETIREMENTS : INTERETS ET LIMITES DANS LE CADRE DE LA PRATIQUE DU SKI DE COMPETITION ET DE LOISIR ...*

## INFO DOCUMENT :

Edité par le Département Sportif et Scientifique de la F.F.S

version : mai 2008

Par : Nicolas Coulmy

Depuis de très nombreuses années, l'intérêt de développer les capacités de « souplesse » semble être acquis. La plupart des entraîneurs proposent régulièrement des séances d'étirement après l'entraînement. Cependant il est possible de remarquer que les entraîneurs utilisent des termes différents pour décrire des séances équivalentes. De même, un terme identique est utilisé pour des séances qui, en fait, ont des effets différents.

Certains parleront de « flexibilité », d'autres d'« amplitude articulaire » ou d'« amplitude du mouvement »; d'autres de « capacités d'étirement » ou encore de « souplesse musculaire », etc. Or, les méthodes d'« assouplissement » sont parfois opposées aux méthodes « d'étirements ».

Les connaissances relatives aux étirements sont directement influencées par la culture sportive



et les modèles de fonctionnement des muscles que chacun se construit. Les étirements ou autres méthodes d'« assouplissement » ont longtemps été considérés comme principaux moyens de lutte contre les blessures. Les fameuses séances d'étirement en fin de séance pour empêcher la venue des courbatures sont connues de tous...

Même s'il existe quelques études scientifiques sur le sujet datant des années 1960 ; ce sont surtout les 6 dernières années qui ont permis de valider ou non l'intérêt des pratiques d'étirement d'un point de vue expérimental. Il s'agit alors de distinguer ce qui a trait à la



croissance populaire non vérifiée et ce qui a trait à la connaissance scientifique et ses applications pratiques.

Ce document « DTN info » se propose de faire une revue de question sur l'état des connaissances scientifiques et pratiques au regard des études les plus récentes.

### **Définitions et rappels théoriques:**

Il faut distinguer la souplesse musculaire de l'amplitude du mouvement. Le premier terme fait référence à une notion qui sera traitée dans ce document : la raideur d'un système élastique.

Les techniciens utilisent également le terme souplesse pour décrire la capacité à effectuer un geste de manière fluide. Nous verrons que ces deux notions ne sont, en effet, pas très éloignées.

« L'amplitude de mouvement » correspond à la capacité d'utiliser un facteur angulaire important au niveau articulaire. Les tests permettant de mesurer l'amplitude maximale de telle ou telle articulation sont souvent utilisés avec l'objectif de déterminer le comportement élastique des muscles. Cependant, l'amplitude du mouvement (parfois appelé « mobilité » par certains auteurs tels que Weineck), n'est pas toujours directement liée aux caractéristiques mécaniques musculotendineuse de l'individu. De plus, il existe deux types d'amplitude de mouvement : premièrement, l'amplitude dite « active » qui fait référence à la capacité à exploiter une grande amplitude articulaire sans aide extérieure et avec un mouvement initié par l'activité musculaire du sujet. Par exemple, en levant la jambe vers l'avant le plus haut possible en fléchissant la hanche. Deuxièmement, l'amplitude dite « passive » qu'on atteint grâce à une aide extérieure (quelqu'un vous aide à lever la jambe doucement et le plus haut possible pendant que vous vous relâchez musculairement). C'est le cas aussi des étirements qui utilisent la gravité qui vous permet d'aller plus loin qu'avec la simple utilisation des muscles. C'est une situation classique dans les aires de départ en ski : les skieurs qui balancent la jambe utilisent conjointement la gravité dans ce mouvement pendulaire ce qui permet d'aller plus haut dans le mouvement actif pur.

L'amplitude passive est beaucoup plus grande que l'amplitude active. Les activités physiques et sportives sollicitent des mouvements qui font appel à l'amplitude active. La plupart des étirements réalisés par les sportifs sollicitent pourtant plus l'amplitude passive. Certains auteurs parlent de réserve de mobilité (Frey,1977). Faut-il en conclure que les étirements avec aide sont inefficaces pour les

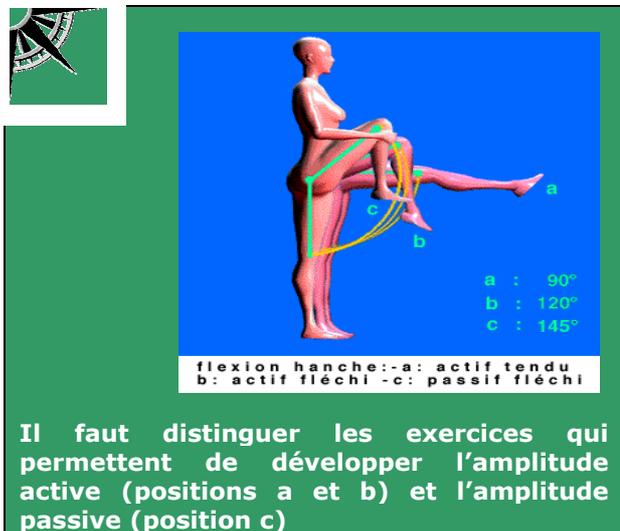
sportifs ? Certainement pas car nous verrons que, comme pour l'entraînement en général, il est bon de stimuler les structures internes de l'organisme pour les développer. Or, certaines structures intra-articulaires ne sont sollicitées que dans des cas d'étirements très précis.

De plus, la capacité à avoir une grande amplitude de mouvement passive permet parfois d'éviter les blessures lors de chute en ski par exemple. De même, le travail de l'amplitude passive autorise la stimulation efficace des éléments internes du muscle à entraînement.

Il sera possible de parler d'assouplissement pour une recherche d'amplitude articulaire maximale et d'étirements dans le cadre du développement des caractéristiques élastiques du muscle et du tendon.

En effet, les éléments qui composent les muscles et les tendons ont une certaine élasticité. Cette caractéristique permet d'augmenter l'efficacité du geste sportif car les structures internes peuvent ainsi emmagasiner de l'énergie élastique et la restituer lors de la contraction qui suit (impulsion). Cette propriété est connue sur le nom de cycle étirements raccourcissement.

L'intérêt de l'élasticité musculaire peut être envisagé pour améliorer le rendement, les paramètres mécaniques ou encore diminuer le coût énergétique.



### **L'élasticité musculaire**

#### **Amélioration du rendement.**

Si le muscle est assimilé à un moteur, son rendement peut être caractérisé par le rapport entre l'énergie mécanique produite et l'énergie chimique dépensée. De nombreuses études ont montré que le rendement est nettement amélioré quand les muscles fonctionnent en utilisant l'énergie élastique accumulée et ce,



dans des conditions optimales de force, vitesses, d'amplitude...

- **Amélioration des variables mécaniques.**

La force exercée par un muscle contracté au maximum est beaucoup plus grande quand le muscle a été préalablement étiré que s'il se raccourcit à partir d'un état de contraction isométrique. La vitesse de raccourcissement lors de la contraction peut être également améliorée de 20 % grâce aux cycles étirements raccourcissement. Ainsi la vitesse d'envol est augmentée de 6,4 % quand on passe du squat jump (saut à partir d'une position genoux à 90°) au Counter Movement Jump (saut avec contre mouvement). De l'augmentation de la force et de la vitesse découle l'augmentation de puissance musculaire (force x vitesse).

- **Diminution du coût énergétique.**

Le cycle étirement raccourcissement permet de diminuer le signal électrique musculaire pour un travail donné. En d'autres termes, le muscle à moins besoin d'énergie pour fournir un travail donné grâce à l'élasticité acquise préalablement. Notons que la réduction possible de l'activité électrique du muscle fournit une explication à l'amélioration du rendement mécanique mentionné plus haut. La modélisation suivante est celle préconisée par Shorten (1987) pour représenter les structures internes du muscle et leur fonctionnalité (figure 1).

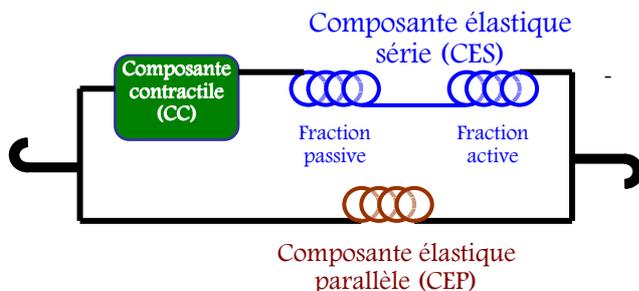


Figure 1 : modèle de fonctionnement musculaire à trois composantes selon Shorten (1987).

L'énergie élastique contenue dans le muscle permet d'améliorer le rendement, l'économie et l'efficacité d'un geste sportif. La plupart du temps cette énergie provient d'une énergie gratuite : la gravité...

**Composante contractile :**

C'est l'unité de transformation de l'énergie chimique en énergie mécanique au niveau des ponts di-sulfure d'acto-myosine. La force contractile qui caractérise cette composante dépend de la longueur et de la vitesse de contraction du muscle (figure 2).

L'évolution du rapport force/longueur correspond à une parabole.



**Il existe une longueur optimum de muscle pour obtenir le maximum de force isométrique.**

Cette évolution dépend :

- du nombre optimal de ponts de liaison actine-myosine.
- de la variation du bras de levier des muscles selon l'angle articulaire.

La relation Force/vitesse montre que la force exercée diminue quand la vitesse de raccourcissement augmente.

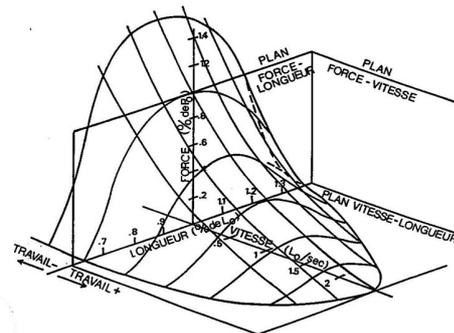


Figure 2 : représentation tridimensionnelle des relations force-longueur-vitesse de la composante contractile du muscle (d'après Winter, 1979)

**La composante élastique parallèle (CEP) :**

Elle fonctionne par l'intermédiaire des tissus conjonctifs de liaison tels que le sarcolemme et les enveloppes conjonctives. C'est une composante qui n'intervient pas dans les conditions classiques du geste sportif car elle n'intervient que dans des longueurs d'étirement du muscle supérieures à 120 % de la longueur du muscle au repos alors que les valeurs admises comme maximum dans les mouvements sportifs sont de 12 à 19 % (Lensel et Goubel, 1987 in 34).

**La composante élastique série (CES)**

Il est possible de distinguer 2 fractions constitutives de cette composante :

- La fraction passive qui correspond aux caractéristiques élastiques des tendons, du



collagène intra-musculaire et des stries Z du sarcomère musculaire.

-**la fraction active** fait référence à l'élasticité contenue directement dans l'extrémité de la myosine qui s'attache à l'actine.

Si le muscle est assimilé à un ressort, il est possible de le caractériser sous forme de deux propriétés fondamentales : la compliance et la raideur.

De même, Il en sera de même pour caractériser un tendon ou un ligaments. Il est possible également de mesurer un indice de raideur et de compliance sur un mouvement global intégrant plusieurs articulations.



**La compliance : c'est la capacité à emmagasiner de l'énergie élastique potentielle.**

**La raideur (ou stiffness): c'est la capacité à restituer l'énergie élastique.**

Attention : ces notions ne doivent pas être confondues avec « la souplesse » ou l'amplitude articulaire. Il n'existe pas de lien direct entre cette dernière capacité et la compliance ou la raideur.

*NB : selon plusieurs auteurs (Wells 1965, Goubel et Marini 1987 (in 34) , les muscles à forte proportion de fibres lentes sont caractérisés par une raideur accrue alors que les muscles à forte proportion de fibres rapides sont davantage compliant.*

Les caractéristiques élastiques du système musculo-tendineux peuvent être modélisées sous la forme d'une composante élastique série (CES) faisant intervenir deux fractions constitutives : la fraction passive qui correspond aux caractéristiques élastiques des tendons, du collagène intra-musculaire et des stries Z du sarcomère musculaire et la fraction passive faisant référence aux ponts d'actine-myosine et notamment à la tête HMMS2 de la myosine (**voir chapitre anatomie musculaire**). Cette composante constitue un intérêt fondamental dans la recherche d'un plus grand rendement musculaire. La part d'utilisation des fractions actives et passives dépendrait du degré d'activation musculaire mais aussi de l'architecture des parties musculo-tendineuses (Fukunaga et al, 1997).

Mc Mahon et al. (1987) ont montré qu'une variation intra-individuelle de la raideur a une influence sur le coût métabolique en course à pied.

Les fibres musculaires de type lent (ST) et les fibres de type rapide (FT) n'engendrent pas le même niveau d'emmagasinage et de restitution d'énergie élastique (Wells, 1965 ; Bosco et al,

1982 ; Goubel et Marini, 1987 ; Pousson, 1992 ). Les ST pourraient permettre une meilleure utilisation de l'énergie élastique dans des mouvements balistiques lents. De surcroît, les muscles à forte proportion de fibres lentes seraient caractérisés par une raideur musculo-tendineuse accrue mais avec une compliance plus faible que des fibres FT.

Il est ainsi possible de stocker et de restituer une énergie élastique au cours du travail mécanique correspondant à la phase concentrique selon un optimum de compliance (capacité d'emmagasinage) et de raideur (capacité de restitution) liée aux caractéristiques des mouvements.

Selon l'orientation de la forme de contraction de l'entraînement, la relation entre la compliance et le niveau de force exercé évolue (Pousson, 1990, 1995 ; Duchateau, 1997).

Bisciotti et al. (2000) ont montré que les caractéristiques de raideur d'une population de skieurs alpins par rapport à une population de skieurs de fond ne différaient pas pour le quadriceps fémoral mais étaient plus important chez les fondeurs au niveau du triceps sural.

Dalleau et al. (1998) ont montré que, chez des skieurs alpins, les indices de raideurs étaient de valeurs différentes selon la spécialité en course (slalom, géant ou disciplines de vitesse).

Ces différents résultats s'expliquent par la différence d'activité musculaire requise lors de la pratique spécifique. Pousson et coll.(1992) ont ainsi montré les répercussions sur le rapport compliance - raideur de cycle de musculation utilisant des modes de contractions différents.



**Valeur de raideur et de compliance globale en Ski :**

**Raideur = SL>GS=DH**

**Compliance = SL>GS=DH**

**Raideur : Nordique > alpin**

**Compliance : Nordique < alpin**

*SL : slalom GS : géant DH : descente*

Si l'incidence des qualités physiques sur les paramètres cinématiques lors d'un cycle de mouvement en ski de fond n'a pas donné lieu à beaucoup d'études, il apparaît que la spécialisation de l'entraînement et l'adaptation naturelle du skieur aux logiques internes de son activité peut entraîner des stratégies gestuelles particulières.

Comme on l'a vu plus haut, les systèmes articulés peuvent être décrits comme un ensemble de ressorts. L'entraînement permet de faire varier les caractéristiques mécaniques de chacun de ses ressorts. Pour cela, il est



obligatoire de connaître les différentes composantes anatomiques qui permettent un mouvement articulaire.

### **Optimisation de la raideur musculaire = implications techniques en ski.**

#### **La Notion de fréquence**

En ski alpin, le skieur est soumis notamment à des forces de contact ski neige. Pour maintenir la trajectoire voulue (ou imposée) en allant le plus vite possible, il doit gérer les forces de contacts qui paradoxalement sont sources de freinage et en même temps indispensable à la conduite de la trajectoire.

Cette gestion de force s'effectue dans un environnement « instable » ou « changeant » : bosses, creux, tracé, type de neige....

Le skieur doit donc adapter sa technique mais aussi le niveau de raideur de ses amortisseurs.

De la même manière, une voiture avec des amortisseurs défaillants ne peut pas conserver de bonnes trajectoires et perd en rendement...

Des cycles de mouvements répétés avec une très haute fréquence (nombre de cycle par seconde) deviennent des vibrations. Notons que ces mouvements peuvent s'effectuer dans tous les plans (par exemple les mouvements latéraux peuvent correspondre à la gestion des portes du slalom et les mouvements verticaux à la gestion du micro relief).

Le skieur peut subir plusieurs types de fréquences imposées par l'environnement et sa vitesse. Par exemple, le tracé d'un slalom géant impose une fréquence de mouvement moyenne au skieur (1 Hz s'il fait un virage par seconde) et en même temps, celui-ci subit des oscillations (vibrations) dues au micro relief de la piste (> 12 Hz).

Le skieur de fond est également soumis aux mêmes règles mécaniques. La fréquence de mouvement est dépendante, en partie, des propriétés mécaniques de son système locomoteur (voir dtn info technique du pas de patineur en ski nordique : revue de la littérature scientifique -août 2002).

La fréquence spontanée correspond au meilleur coût métabolique. Une modification de cette fréquence spontanée engendre un coût supplémentaire en ski de fond (Millet,1998).

Mais pour s'adapter au terrain, le skieur doit pouvoir faire évoluer sa fréquence spontanée.

Ainsi la fréquence des virages ou les cycles de mouvement réalisés en ski libre par un skieur correspondent la « fréquence propre » du skieur. C'est celle qui est la plus économique pour lui dans la situation donnée. Il suffit de comparer deux traces en neige profonde de deux skieurs qui descendent à la même vitesse pour apprécier la différence du système skieur-équipement (figure). Compter le nombre de virage effectué en 1 seconde permet de

mesurer la fréquence propre du skieur en Hertz (nombre de cycle /seconde).



*En 1 seconde 3 cycles réalisés (3 virages) = fonctionnement du système skieur à une fréquence de 3 Hz.*



*Adaptation de la raideur d'amortissement et donc de la fréquence pour s'adapter au terrain.*

Pour s'adapter au terrain (idem en slalom), le skieur adapte la raideur de son système et donc la fréquence de ses cycles de mouvement.

Si le skieur ne peut pas sortir de sa fréquence propre pour une même vitesse, il ne peut pas s'adapter au terrain.



**Il existe une gamme de fréquence de mouvements (cycles de mouvements, virages) qui correspond à une moindre dépense d'énergie. Cette gamme augmente avec l'entraînement afin de s'adapter efficacement à l'environnement.**



## La Notion de résonance en ski.

La résonance est un phénomène qui caractérise tous les systèmes oscillants, qu'ils soient électriques, électromagnétiques et bien sûr, (c'est celui là qui nous concerne) mécaniques. La résonance correspond à la réponse d'onde la plus ample.

L'exemple peut être pris d'un skieur qui franchi une série de bosses (figure)

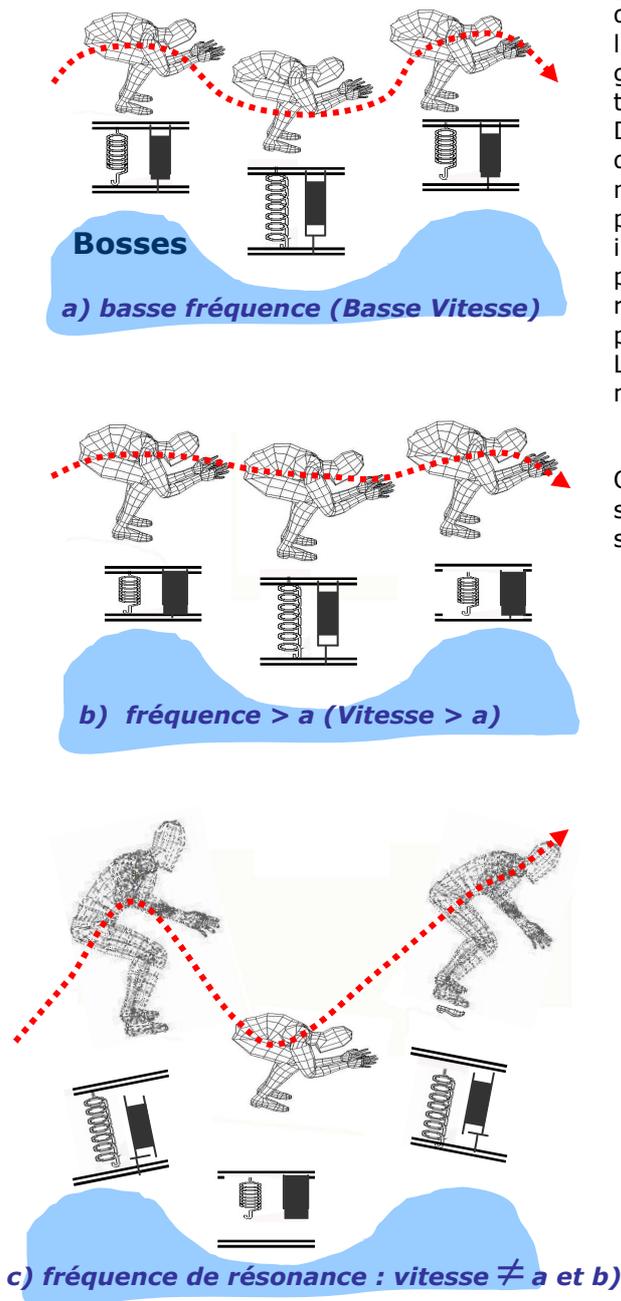


Figure 3 : skieur franchissant les bosses à différentes vitesses : à une vitesse donnée l'oscillation du système d'amortissement du skieur s'ajoute aux oscillations du terrain : le skieur perd le contact ski neige (position c).

La figure 3 schématise un skieur qui franchi des bosses à des vitesses différentes. Son système de « suspension » est constitué d'un ressort avec un coefficient de raideur  $K$  et d'un amortisseur de coefficient d'amortissement  $C$ .

A vitesse lente la fréquence d'apparition des bosses est faible (a), le skieur ondule doucement selon les oscillations du relief. Ceci occasionne des allègements et des suppressions qui diminuent la glisse.

A vitesse plus rapide, la fréquence est plus grande (b). Le skieur arrive, grâce à la gestion de ses contractions musculaires, à « absorber » le relief. Les forces de contact ski neige sont gérées ; le skieur contrôle de manière stable la trajectoire et la glisse.

Dans une zone de fréquence donnée (c) qui dépend des capacités physiques et techniques mais également du matériel, la fréquence propre du système locomoteur du skieur est identique ou proche de la fréquence imposée par la vitesse et le terrain (fréquence de résonance). C'est le chaos, le skieur oscille de plus en plus jusqu'à perdre le contact ski neige. La trajectoire et la vitesse ne sont plus maîtrisées : c'est la sortie de piste...

Quelques effets néfastes en cas d'une raideur stéréotypée du système ostéo-articulaire du skieur :

- Inadaptation des mouvements par rapport à l'environnement (relief et micro relief du terrain, enchaînement des portes, vitesse, vibrations) qui peut occasionner : une perte du contact ski-neige et donc une détérioration de trajectoires ; une accentuation non maîtrisée des frottements et donc une perte de vitesse et une fatigue musculaire précoce.
- Les vibrations « verticales » de moyennes et hautes fréquences sont particulièrement néfastes. Le corps humain fonctionne comme un filtre par rapport aux oscillations imposées par l'environnement. Il est possible grâce à la biodynamique de déterminer les fréquences de résonance des organes.
- Ces fréquences issues des vibrations occasionnent des altérations du système visuel. La baisse d'acuité visuelle peut commencer à des fréquences de stimulation proche de 12 Hz. La tête entre en résonance essentiellement vers 20-30 Hz et les yeux dès 4 à 12 Hz puis à 60-90 Hz. Heureusement la boîte crânienne osseuse peut absorber de très haute fréquence (200 Hz).
- De manière générale, les oscillations de grandes amplitudes correspondent à une gêne du contrôle du mouvement.



- Une durée importante des oscillations amène à une fatigue des récepteurs kinesthésiques.



**La notion de raideur musculaire a des implications très importantes dans la maîtrise technique en ski (l'adaptation à l'environnement)**

**L'enjeu de connaître et maîtriser les qualités de raideur musculaire se situe au-delà des seules considérations sur récupération d'un effort et l'optimisation de la quantité d'impulsion.**

**Nous verrons dans les chapitres suivants que les étirements participent à faire évoluer les caractéristiques mécaniques du système articulaire.**

## Le système osseux.

Selon le type d'articulations et ses degrés de liberté, l'amplitude maximale du mouvement varie. Il existe donc une limite anatomique à la flexibilité. La part génétique est ici importante pour expliquer les différences interindividuelles. Le tableau suivant présente les amplitudes articulaires moyennes rapportées par la littérature scientifique.

Type de mouvement articulaire	Moyenne (degrés)	Écart-type (degrés)	Centiles (degrés)	
			5 <sup>e</sup>	95 <sup>e</sup>
<i>Poignet :</i>				
Flexion	90	12	114	66
Extension	99	13	125	73
Total	189	21	231	147
Abduction	27	9	45	9
Adduction	47	7	61	33
Total	74	13	100	48
<i>Coude :</i>				
Flexion/Extension	142	10	162	122
Supination	113	22	157	69
Pronation	77	24	125	29
Total	190	30	250	130
<i>Épaule :</i>				
Flexion	188	12	212	164
Extension	61	14	89	33
Total	249	19	287	211
Abduction horizontale	134	17	168	100
Adduction horizontale	48	9	66	30
Total	182	20	222	142
Rotation interne	97	22	141	53
Rotation externe	34	13	60	8
Total	131	24	179	83

Tableau 1 : amplitude des principaux mouvements articulaires du coté droit (d'après Berter et al. 1957 in Bouisset 1995).

## Le tissu conjonctif.

Les ligaments, les tendons mais aussi les enveloppes musculaires et les aponévroses sont des éléments constitutifs de l'articulation ils correspondent à du « tissu conjonctif ». En fait, il existe plusieurs types de tissu conjonctif en fonction de sa composition.

Si le muscle contient, lui aussi, du tissu conjonctif, nous verrons que ce sont surtout les fibres contractiles qui composent son volume.

Le tissu conjonctif est principalement constitué de différentes fibres de collagène qui ont elles-mêmes des propriétés élastiques. Ces fibres correspondent à la trame de base des éléments du système articulaire.

Tendons et ligaments sont formés de manière similaire à partir de faisceaux de collagène (figure 4).

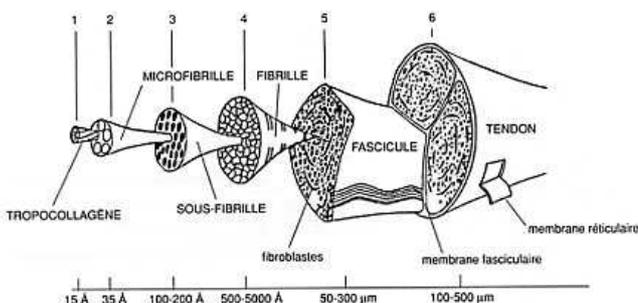


Figure 4 : Structure et ultra structure du tendon. D'après Kastelic 1978 in Bouisset

C'est la différence d'arrangement ou d'alignement de ces faisceaux qui va influencer sur la réponse mécanique du tendon ou du ligament (Elliott, 1965). Les bandes de collagènes permettent également la connexion directe entre le muscle et l'os et amènent ainsi à transmettre les forces de tension pendant la contraction musculaire. Les faisceaux de fibres de collagène sont parallèles entre elles pour le tendon et parfois obliques ou en spirale pour le ligament. La couleur du collagène du ligament est moins blanche que celle du tendon du fait de la présence de fibres élastiques entre les bandes de collagènes. Un fluide mucopolysaccharide permet de lubrifier et prévenir les frictions entre les différentes couches de faisceaux. Le développement du tendon et du ligament dépend en partie de la vascularisation sanguine et des stimulations mécaniques induites sur les tissus. Le ligament croisé latéral a la particularité d'être très



vascularisée, c'est d'ailleurs un facteur principal de résistance.

La résistance mécanique du tendon et du ligament est connue depuis le début du siècle. La résistance à un étirement pour une structure composée de tissus conjonctifs réagit sensiblement toujours de la même manière (figure 5) :

1. une première phase où le tissu passe du repos à un premier étirement. L'application d'une force engendre une raideur débutante. Il y a mise en tension des structures élastiques en cas de stimulation cyclique. Dans cette phase les fibres ont une apparence ondulée au départ puis tendu en fin de phase.
2. Une deuxième phase correspondant à une charge plus importante. La relation force - temps est linéaire tout au long de cette phase c'est-à-dire que plus on tire sur la structure plus elle résiste (augmentation de raideur).
3. Une troisième phase qui correspond à des ruptures partielles des fibres. Ici l'énergie élastique n'est plus restituée. Selon la taille du tissu cette phase arrive plus ou moins tôt. La stimulation ponctuelle du tissu dans cette phase amène à des modifications de sa structure. Il est possible de décaler cette phase en développant la quantité de fibres ou en augmentant la compliance.
4. La quatrième phase correspond à la rupture du tissu.

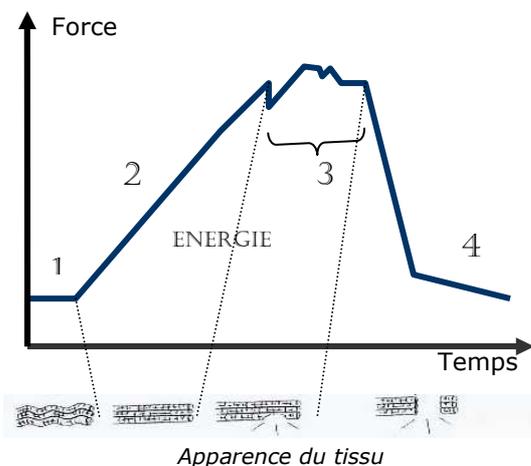


Figure 5 : Comportement de résistance à l'application d'une charge et apparence du tissu pour chaque phase. (Exemple d'un ligament croisé antérieur du genou) adapté de Butler et al 1978..

Plus le tissu a un nombre important de fibres de collagène plus il sera résistant et aura de la raideur mais cela ne change pas le seuil de rupture (figure 6a).

Plus les fibres du tissu seront allongées, plus le seuil de rupture est repoussé avec une résistance identique mais avec une raideur plus faible c'est-à-dire avec moins de renvoi d'énergie élastique (figure 6b).

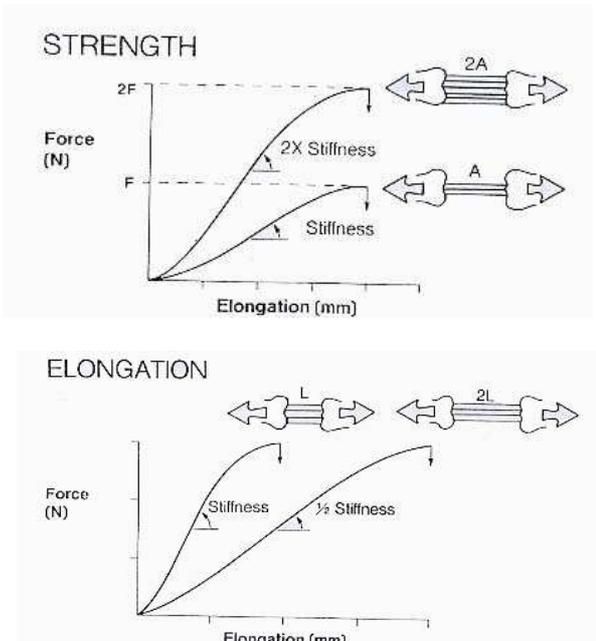


Figure 6 : effets de l'augmentation du diamètre du tissu par augmentation de fibres de collagène exemple d'un ligament (figure a). Influence de la longueur initiale des fibres sur la forme de la courbe de déformation. D'après Butler et al 1978.

L'âge joue un rôle important dans la raideur du tissu conjonctif puisque la quantité de fibres augmente jusqu'à 20 ans environ (Viidik et coll. 1982).

L'entraînement peut développer les propriétés mécaniques du tissu conjonctif (Woo et coll. 1981). A l'inverse, quelques études ont montré qu'une immobilisation de quelques semaines provoquait une diminution importante (plus de 30 %) de la résistance et de la capacité à stocker l'énergie élastique (Noyes 1977, Walsh et coll. 1993, Newton et coll. 1995).. De plus, le retour aux valeurs initiales est longue (1 an environ).

Implications : Nous verrons que ces propriétés mécaniques des tissus seront exploitées pour optimiser les performances en compétition mais aussi pour définir des contenus d'entraînement et d'échauffement de prévention des risques.





La stimulation des structures conjonctives sous forme d'étirement permet de les stimuler et de faire évoluer leur capacité de raideur et de compliance.

## Le muscle et l'élasticité

Les muscles sont constitués de fibres musculaires.

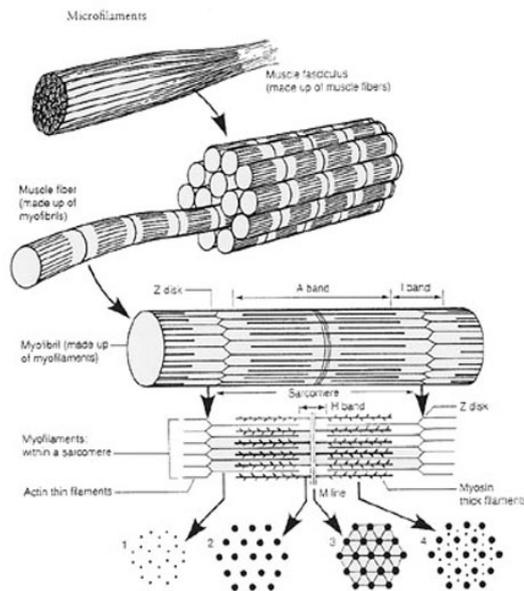


Figure 7 : structures qui composent les filaments musculaires d'après David Jones (2005)

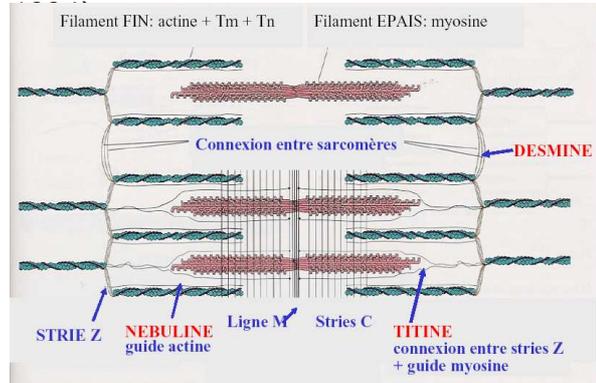
Chaque fibre peut contenir plusieurs centaines de noyaux et est entourée d'une robuste membrane (sarcolemme) formée par l'association de la membrane plasmique et d'une épaisse lame basale riche en glycoprotéines et en fibres conjonctives, l'ensemble constitue une architecture à haute résistance mécanique (figure 7)

La presque totalité de l'intérieur des fibres est remplie de faisceaux d'éléments contractiles: les myofibrilles présentant une striation transversale périodique caractéristique qui est à l'origine de la dénomination de muscle strié. Ces stries sont composées des deux types de filaments : la myosine et l'actine.

Ces filaments sont organisés en « casiers » répétitifs appelés sarcomères limités par des membranes dites Z. Chaque sarcomère présente une alternance de filaments épais (myosine) et de filaments plus minces (actine),

ces derniers étant attachés aux membranes Z. L'empilement de ces filaments rend compte de l'organisation en bandes A (foncées) et I (claires).

Figure 8 : agencement des protéines musculaires de contraction d'après Billeter R. Hoppeler H.,



Il est assez connu que la contraction s'effectue grâce à une traction de l'actine sur la myosine, les myosines glissant l'une sur l'autre. Ce qui l'est moins c'est qu'un certain nombre d'autres protéines sont indispensables pour transmettre les forces générées au cours de la contraction. Ainsi la force externe fournie par l'articulation dépend également de la raideur des éléments élastiques qui sont enfermés dans la fibre musculaire, notamment une molécule particulière, appelée **titine** (ou connectine). Son rôle est d'attacher la plus grosse des deux protéines contractiles (la myosine) aux lignes Z qui délimitent le sarcomère. Elle permet de ramener le sarcomère dans sa position de référence après l'allongement de celui-ci. Son rôle est également de maintenir l'alignement de la myosine par rapport à l'actine. Plusieurs auteurs (Wydra, 1997 ; Wiemann et Klee, 2000) ont par ailleurs montré que cet élément élastique est particulièrement sollicité pendant les étirements.

La **Desmine**, elle, permet de solidariser latéralement les sarcomères entre eux comme les barreaux d'une échelle.

La **nébuline**, pour sa part, agit comme un guide dans les mouvements d'actine.

La titine et la nébuline sont les deux éléments qui peuvent subir une destruction en cas de contraction excentrique ou en cas d'étirement intense.



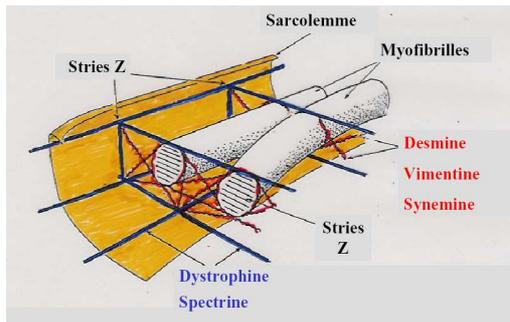


Figure 9 : éléments servant à la cohésion du sarcolemme

Les muscles transmettent des forces considérables au tendon et aux structures osseuses. Il est évident que cette transmission ne peut se faire directement sous peine de déchirer la membrane plasmique (sarcolemme) qui ne résisterait pas à de telles contraintes mécaniques.

Pour éviter les déchirures, l'extrémité de la fibre musculaire n'entre pas en contact direct avec les fibres de collagène du tendon.

A son extrémité, la fibre musculaire s'effile et le sarcolemme forme de très nombreux replis qui sont tapissés par une membrane : la lame basale. Les fibres de collagène tendineuses s'insèrent dans la lame basale par le biais d'un réseau très dense de fibres de réticuline qui pénètrent la lame basale et entrent également en contact avec le sarcolemme.

La structure membraneuse qui réalise la jonction du muscle avec le tendon est composée de protéines dont la laminine offre une surface d'insertion considérablement élargie ; ce qui réduit d'autant l'intensité de la traction par unité de surface membranaire.

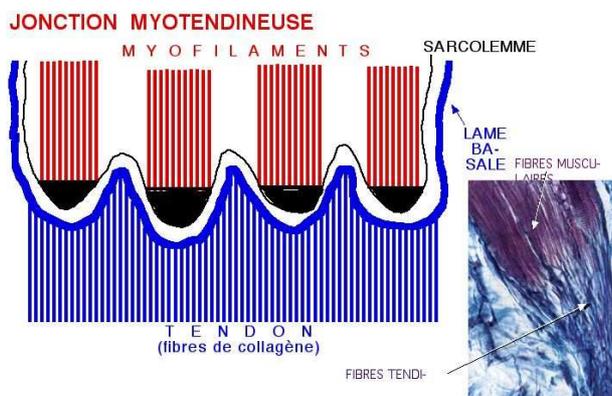


Figure 10 : la jonction myotendineuse (Schéma Daniel Balas, Université de Nice)

Pour répartir encore plus les tensions générées par la contraction, le transfert des forces se fait aussi de manière indirecte par l'intermédiaire des éléments élastiques transversaux. Ceux ci transmettent la tension aux différentes membranes musculaires (sarcolemme (myofibrille), endomysium (fibres), pérимыsium (faisceaux de fibres), épимыsium (muscle) puis aux aponévroses puis finalement au tendon.

Une stimulation musculaire intense (contraction excentrique ou étirement sévère) peut provoquer des déstructurations (désorganisation) des protéines impliquées dans la transmission des tensions.

Suite à cette destruction, les structures s'adapteront en reconstruisant les tissus de manière plus résistante.

Quelles sont les structures qui engendrent une résistance lors d'un étirement passif ?

Il semble que les principales structures qui donnent une tension au muscle soient les ponts d'actine-myosine. Le calcium résiduel présent dans la sarcomère engendre la formation de ponts. Même si l'étirement permet de défaire les unions d'actine-myosine, ces ponts se reconstruisent rapidement.

C'est ce qui explique aussi les « contractures » musculaires issues d'un effort excentrique. La déstructuration musculaire amène à une libération de calcium qui entraîne une tension musculaire résiduelle. Les étirements peuvent lever très provisoirement ces ponts mais ceux ci se reconstruisent rapidement par la suite.

**Il existe des structures élastiques qui permettent de solidariser l'actine et la myosine lors de la contraction mais aussi à transmettre les forces de tension. Ces structures représentent les barreaux d'une échelle qui permettent le maintien des deux montants. Sans barreau l'échelle est inutilisable...**



## Le contrôle réflexe des étirements musculaires

**Il existe des circuits de contrôle** qui tendent à maintenir à l'état initial le muscle au niveau de sa **longueur** et de sa **force**. Ces circuits sont sous contrôle du système nerveux.

Il permet au muscle de se protéger de mouvements traumatisants (allongement trop important avec déchirure,...)

Ce contrôle s'exerce en boucle à partir d'informations issues de capteurs situés dans les muscles et les tendons.

### Le réflexe myotatique : contrôle de la longueur musculaire.

L'étirement brutal, passif ou actif d'un muscle, engendre une contraction réflexe de ce dernier.

Il s'agit du **réflexe myotatique**.

Il agit grâce aux capteurs situés dans les fibres musculaires sensibles qui sont reliées directement à la moelle épinière. Ce réflexe a deux actions principales : sur son **amplitude de variation** et l'autre sur sa **vitesse de variation**.

Ce système tend à la **conservation des angles articulaires**. C'est pourquoi il est très impliqué dans la régulation de l'**activité posturale** (position recherche de vitesse, prise d'élan en saut,...).

### Le réflexe myotatique inverse : contrôle de la tension musculaire

Au-delà d'un certain niveau de tension musculaire, les **organes tendineux de Golgi** situés dans le tendon inhibent la contraction du muscle en action et privilégient la contraction du muscle opposé.

Aussi : « ... la force d'étirements doit être suffisamment faible pour ne pas provoquer de contraction mais elle doit être suffisamment élevée pour induire un relâchement ».

### Le réflexe d'inhibition réciproque

C'est le processus par lequel l'excitation (contraction) des muscles agonistes s'accompagne d'une inhibition (relâchement) des muscles antagonistes, et vice versa.

« ... pour faciliter l'étirement d'un muscle, on peut contracter son antagoniste ».

### Le réflexe d'inhibition post-isométrique :

La contraction statique et d'intensité modérée d'un muscle, durant quelques secondes, induit un relâchement accentué.

Ainsi : « *Un muscle se laisse mieux étirer s'il a été préalablement contracté* ». Ce principe est celui de la méthode *PNF*<sup>1</sup>, consistant à réaliser des séries de contraction-relâchement-étirement.

### La boucle gamma :

Les réflexes cités plus haut sont tous exclusivement médullaires ; c'est-à-dire qu'ils passent par la moelle épinière sans implication du cerveau.

La boucle gamma est un circuit de neurones qui passe par le cerveau. Ce circuit permet de réguler la sensibilité du réflexe myotatique et par conséquent la tension et la raideur des muscles au repos. L'utilisation de ce circuit est fortement favorisée par des expirations forcées.

## LES DIFFERENTS TYPES D'ETIREMENTS

Il est malheureusement trop commun de parler des étirements de manière très générale. Les effets engendrés par les étirements dépendent pourtant de la méthode utilisée. Il est donc important de préciser le type d'étirement possible de réaliser (d'après Kisner et C, Colby LA. Therapeutic Exercise: Foundations and Techniques. 1990:109-146)

### **1. Étirements passifs ou « tenus » :**

Ces étirements impliquent l'étirement d'un muscle jusqu'à une limite maximale de l'articulation et de la tenue de la posture pendant une durée prolongée (entre 3 et 60 secondes)

### **2. Étirements Balistiques :**

Etirements musculaires effectués sous forme de mouvements répétés et par rebonds.

Le muscle opposé au muscle étiré est contracté pendant l'étirement. Il est admis que ce type d'étirement induit l'activation de réflexes de contraction qui peuvent causer des blessures selon l'intensité de la vitesse et de l'amplitude de la gestuelle.

<sup>1</sup> **PNF** : Proprioceptive Neuromuscular Facilitation.



### 3. **Étirements PNF** : (*Proprioceptive Neuromuscular Facilitation*)

Ces techniques sont fondées sur l'utilisation des réflexes musculaires (voir chapitre correspondant).

Pour la plupart, elles adjoignent des contractions musculaires aux étirements.

a. **Contract relax technique** : contraction puis étirement du même muscle.

Il s'agit d'un étirement passif précédé par une contraction volontaire maximale du **muscle à étirer directement** suivie d'une brève période de relâchement. Ce type d'étirement tend théoriquement à mobiliser le **réflexe myotatique inverse** qui relâche le muscle suite à une contraction. L'efficacité de ce réflexe est cependant discuté dans ce cadre. Il est à noter que la durée de la contraction n'a pas besoin d'être longue ; 1 à 2 secondes suffisent (Guissard et al., 2001).

b. **Contract relax antagonist contract (CRAC)**:

contraction de l'agoniste pour étirer l'antagoniste.

Ici, la contraction du muscle opposé à celui qui est étiré engendre la sollicitation du **réflexe d'inhibition réciproque** qui doit permettre d'augmenter le relâchement du muscle pendant son étirement.

c. **Étirements de « puissance » ou « activo dynamiques »**:

Contraction d'un muscle placé en étirement. Ici les sarcomères sont placés en situation de stress important du fait de la position extrême qui leur ait imposée pour se contracter.

## LES EFFETS DES ETIREMENTS

Parmi les effets attribués aux étirements, certains ne sont pas validés scientifiquement. Il convient de faire le point sur les effets qui sont démontrés et ceux qui n'ont pas été démontrés voir même réfutés.

**Gain d'amplitude** du mouvement : En fait il semble qu'il existe un effet aigu (à court terme) et un effet chronique (à long terme).

Les méthodes PNF permettraient un meilleur gain au niveau de l'amplitude articulaire. Celles-ci permettent, à long terme, une augmentation de la tolérance à l'étirement (cornelius et al. 1992).

Hutton (1992) montre que les étirements CRAC sont aussi efficaces que les statiques à court terme mais que sur du long terme les premiers pourraient être plus efficaces.

Mading et Al 1987 et Taylor et al. (1990) ont montré que les étirements passifs d'une dizaine de sec permettent un gain supérieur en amplitude de mouvement qu'avec 1 à 2'. Proske (cité par Calder 1999) préconise 8 secondes.

Les étirements tenus sont aussi efficaces pour gagner en amplitude de mouvement mais les tenus n'engendrent pas d'effets négatifs sur les structures musculaires (Osternig 1990).

Il est possible que l'amélioration de l'amplitude provienne de l'amélioration de la tolérance à l'étirement. Ainsi, si l'amplitude augmente après un cycle d'étirements, cela se fait grâce à des charges plus importantes. Il est possible aussi que les étirements entraînent un effet antalgique (anti douleur) qui permette d'aller plus loin dans l'étirement du muscle.

Il semble qu'on puisse favoriser les étirements « à froid » : selon certains auteurs **la déformation est plus durable si le tissu est "froid" car le tissu atteint plus rapidement la borne d'étirement maximal lorsqu'il est "froid" que lorsqu'il est "chaud", et ce pour un même niveau de tension** (Sapega et coll., 1981). Si l'on veut véritablement obtenir un effet significatif, il convient de **faire les assouplissements à distance d'un exercice physique, afin de profiter de la baisse de température et de l'augmentation de raideur qui l'accompagne** ; ces deux phénomènes permettront d'obtenir des effets plus rapides pour un même degré d'allongement.

## Diminution du tonus musculaire.

Plusieurs études ont confirmé la baisse de **l'excitabilité des motoneurones alpha (les neurones qui permettent la contraction musculaire)**. L'intensité de cette inhibition est **proportionnelle à l'intensité de l'étirement** du muscle, et donc de **l'angle articulaire atteint pendant le mouvement** (Guissard et al., 1988).

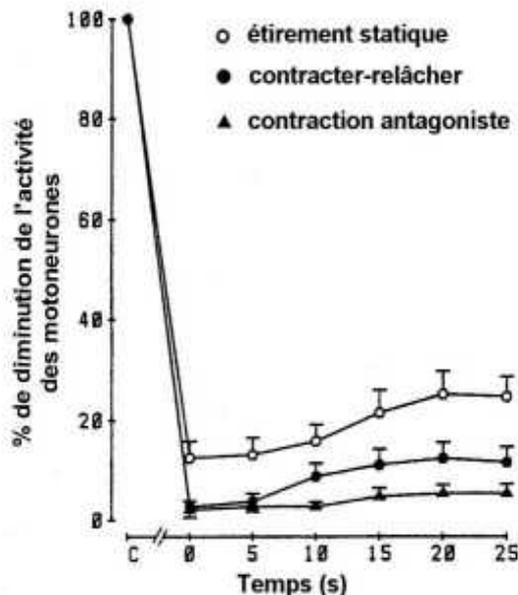


Figure 11 : Variation du niveau d'excitabilité des motoneurones en fonction du temps de maintien de l'étirement en position maximale. Quelle que soit la technique utilisée, on observe que l'excitabilité des motoneurones diminuent fortement pendant au moins 30 s, mais cette diminution tend à s'atténuer plus rapidement si l'étirement n'est pas accompagné d'une contraction musculaire agoniste ou antagoniste. (D'après Guissard et al., 2001)

## Effets sur la raideur musculaire

Il semble que les étirements fassent évoluer la raideur musculaire. Ces effets peuvent être négatifs ou positifs.

Il apparaît que les étirements (passifs ou actifs) diminuent la raideur musculaire et ce, pendant une durée limitée (1 heure environ) (Magnusson 1998). Cette baisse de raideur diminuerait le transfert de force et la performance sportive également (voir chapitre « baisse de la force à court terme »)

**Cependant il existe un moyen de réduire cet effet : il semble que plus le temps entre deux étirements est élevé, plus la phase d'étirement-relâchement passif augmente, et plus la raideur musculaire augmente.** Cet effet a été vérifié dans

différentes conditions expérimentales allant des fibres musculaires aux groupes musculaires (Hufschmidt et Mauritz, 1985 ; Kilgore et Mobley, 1991 ; Lakie et Robson, 1988a). Il est donc permis de conseiller de **garder un temps de récupération important (30'' minimum) entre deux étirements au cours d'un cycle d'étirements statiques qui s'effectuerait avant une performance à réaliser (entraînement ou compétition)**. Par contre, quand l'objectif est d'augmenter la compliance musculaire et l'amplitude articulaire, le temps de relâchement entre deux étirements ne doit pas dépasser 2 à 3 secondes (diminution de la raideur musculaire).

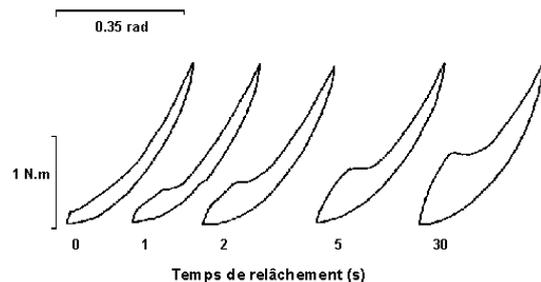


Figure 12 : Effets de différents temps de relâchement passif entre les étirements sur la relation couple-angle (muscles fléchisseurs plantaires). On voit nettement que le trajet du cycle étirement-détente s'allonge dénotant par-là même une augmentation de raideur musculaire, et donc une résistance accrue à l'allongement (d'après Hufschmidt et Mauritz, 1985, p.678).

## Diminution de la force à court terme

Plusieurs auteurs ont montré la baisse de performance après étirement dans des situations sportives différentes (Kokkonen, 1998 ; Fowles et coll. (2000) ; McNeal et Sand, 2001 et 2003). Purdam et al (1999) ont montré que les étirements statiques diminuent la force excentrique (7%), mais ni les étirements balistiques ni les étirements statiques ne jouent sur la force concentrique. Ce dernier constat est contrebalancé par d'autres travaux. Une étude récente confirme que des étirements statiques ne baissent pas le niveau de force et que la réalisation d'étirements dynamiques pouvait même augmenter la puissance musculaire (Yamaguchi T, Ishii K. 2005).

Kokkonen et coll., pour leur part, ont montré que les étirements statiques permettaient l'amélioration de la souplesse de 16% alors que la force correspondant à 1RM diminuait de 7,3% en flexion et de 8,1% en extension.

Fowles et coll. (2000) montrent la même chose avec les étirements passifs très longs (135 s) : la contraction volontaire maximale a diminué de plus de 25 % avec durée de 1 h (en accord avec l'étude de Moller et coll. (1985) qui ont eux aussi noté une augmentation de compliance

du complexe musculo-tendineux pendant une durée de 90 minutes après une séance d'étirements.

Les mêmes phénomènes ont été également observés au niveau de la force maximale concentrique mesurée après une séance d'étirements de type balistiques (Nelson et Kokkonen, 2001c).

MAIS l'effet des étirements serait d'autant plus important sur la performance que celle-ci implique des contractions à vitesse faible. Par contre, si les contractions sont réalisées à vitesses élevées, les effets négatifs des étirements auraient un impact moins important (Nelson et coll., 2001b).

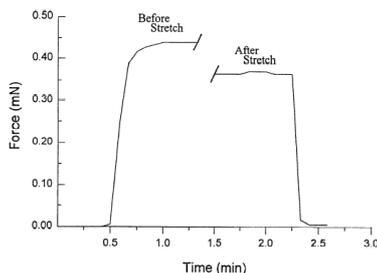


Figure 13 : tension générée par le muscle avant l'étirement et après l'étirement.

## Augmentation de la force à long terme

A long terme, l'utilisation de certains types d'étirements pourraient augmenter les indices de force.

Ainsi, suite à un entraînement incluant des étirements réguliers de type contracter-relâcher, Handel et coll. (1997) observaient déjà chez leurs sujets une amélioration de moment de force maximal (jusqu'à 21,6%) et une augmentation de la production de travail musculaire (jusqu'à 12,9%).

En effet, il convient de rappeler que les étirements couplés à des contractions (type puissance) correspondent à de véritables exercices **excentriques**.

Un grand nombre d'études (voir Calder 1999) rapporte par ailleurs que le nombre de sarcomère augmentent rapidement après entraînement en excentrique. Le temps de latence est de 6-7 jours avant de percevoir ces modifications (Proske et Morgan, 2000).

Un programme d'étirements (de type passif ou actif) durant 3 à 12 semaines améliore la force des extenseurs des genoux tout autant que leur souplesse (Dintiman 1964, Kokkonen et al. 1995, Worrel et al. 1994).

Goldpink (1999, 2002) et Antonio (1993, 1994) stipulaient déjà il y a une dizaine d'année sur le fait que l'étirement musculaire était un stimulus efficace pour la synthèse protéique et la croissance musculaire.

Wilson et al 1992, montrent que la force augmente quand on utilise des étirements mixtes statiques-dynamiques après l'entraînement en musculation pour augmenter la flexibilité. Coutinho et al ((2004) confirment que les étirements passifs peuvent avoir des effets hypertrophiques même sans immobilisation chronique en allongement.

Kokkonen (2000) rappelle par ailleurs que garder des étirements pendant les séances de musculation permet un gain de force supérieur à des séances de musculation sans étirement.

## Pas d'effet immédiat sur les courbatures mais prévention des courbatures à long terme

Aucune étude n'a jusqu'alors démontré que des étirements effectués juste avant ou après un exercice permettent de prévenir les courbatures (Herbert et Gabriel (2002). Il est au contraire permis de penser que des étirements réalisés juste après un exercice susceptible de créer des courbatures accentuent les microlésions au niveau des structures de liaisons du sarcomères. Lund (1998) a d'ailleurs observé que la **baisse de force liée aux courbatures était plus prononcée lorsque la séance d'entraînement était précédée et suivie d'une session d'étirements**.

Il faut noter qu'aucune étude n'a duré suffisamment longtemps pour évaluer les effets à long terme (Cheung et coll. 2003 ; Connely et coll., 2003). Or, nous savons que les entraînements axés sur des contractions excentriques permettent de **limiter l'apparition des courbatures** (Lieber et Friden, 2002). L'augmentation de la compliance du muscle (capacité à emmagasiner l'énergie élastique) permettrait de mieux absorber l'énergie d'amortissement (McHugh et coll., 1999 ; Wessel et coll., 1994).

## Pas d'effet de prévention des blessures à long terme

Plusieurs revues de synthèse ont permis de vérifier l'intérêt qu'auraient les étirements réalisés à l'échauffement sur la prévention des blessures (Shrier, 1999 ; Pope et coll., 2000,

Shrier et Gossal, 2000 ; Herbert et Gabriel, 2002).

Il s'avère que les étirements avant l'exercice ne semble pas constituer une pratique utile pour réduire le risque de blessures.

Cependant, Hartig et al, 1998 modèrent un peu ce constat.

Car si cet auteur confirme bien que la réalisation d'étirements statiques avant effort ne permet pas de baisser le taux de blessures, il montre que des étirements statiques après l'effort (non excentrique) et avant le coucher permettraient de diminuer de 50 % le nombre de blessures.

**Pas d'intérêt à inclure des étirements dans les échauffements.**

A la lecture des paragraphes précédents, il apparaît qu'il existe un certain nombre d'effets négatifs à introduire certain étirements à l'échauffement d'une compétition. Ces influences négatives ont été démontrées sur des efforts d'endurance de force, de vitesse, de force et surtout de sauts (détente).

Depuis 1989, l'institut des sports australien recommande de ne plus faire d'étirement à l'échauffement mais plutôt sur le retour au calme et en phase post compétition. Au bout de 4 mois, la flexibilité articulaire (amplitude) avait augmenté environ de 20° (Calder et Sayer, 1992).

Cependant, la synthèse des connaissances amène à dire que certains types d'étirements (étirement de puissance en faible répétition et avec des temps de relâchements courts (> 2''), les étirements balistiques réalisés à faible amplitude dans des gestuelles spécifiques et dans des postures dites « de chute » sont susceptibles de préparer le muscle à réaliser des performances où l'adaptabilité gestuelle est importante (c'est le cas en ski).

Le respect des consignes données ci-dessus permet ainsi de se prémunir des effets négatifs des étirements voire d'améliorer les indices de raideurs et de « contractilité ».

La gamme des exercices d'échauffement doit être suffisamment large. Ainsi, une étude récente montre par ailleurs l'intérêt d'insérer dans l'échauffement des exercices dynamiques légèrement chargés pour s'échauffer (**Burkett LN** et al. 2005).

Par ailleurs, la mise en œuvre de postures susceptibles d'étirer les structures ligamentaires habituellement mises en danger lors des compétitions (ligaments du genou et des épaules en ski) permet d'augmenter la compliance des structures (baisse de raideur)

de 15 % et au moins pendant un laps de temps suffisant pour permettre de décaler le seuil de rupture le temps du déroulement de la course. Ce qui est négatif pour le muscle avant une compétition est peut être intéressant à rechercher au niveau des ligaments.

**Étirements des ligaments en ski alpin : Intérêt à long terme des préventions des blessures (?).**

Selon le principe d'adaptation du ligament à une contrainte chronique (NOYES et al., 1978), il semble que la stimulation progressive du ligament à partir d'exercices contrôlés (actifs voire passifs) puisse permettre de renforcer le ligament.

La stimulation des ligaments dans la **zone de déformation plastique** (voir figure 5) de manière progressive et passagère permet au tissu de se reconstituer de manière plus solide pour faire face à une future contrainte qui pourrait provoquer les micro-lésions que l'on observe dans cette phase.

La FFS est donc en train de concevoir des préconisations d'entraînement à base d'exercices sollicitant spécifiquement les structures ligamentaires « à risque ».



Figure 14 : Exemples d'exercices permettant d'étirer le ligament croisé antérieur de manière contrôlée.

En conclusion, il apparaît important de dissocier des effets à court terme et des effets à long terme en matière d'étirement. De même, chaque étirement sera réalisé en relation à un objectif propre et au bon moment.

**« Les étirements ont des effets positifs mais pas n'importe comment , à n'importe quel moment... »**

# EN RESUME...

## CE QUI A ETE DEMONTRE :

### 1. Gain d'amplitude du mouvement : effet aigu et chronique :

Les méthodes PNF permettraient un meilleur gain. Celles ci permettent, à long terme, une augmentation de la tolérance à l'étirement.

Les étirements tenus sont également efficaces pour gagner en amplitude de mouvement mais les « tenus » n'engendrent pas d'effets destructurants sur la structure musculaires (pas d'effet sur l'entraînement en « force » du muscle.

Les étirements CRAC sont aussi efficaces que les statiques à court terme mais sur du long terme les premiers pourraient être plus efficaces.

Les étirements passifs d'une dizaine de sec = gain supérieur en amplitude de mouvement qu'avec 1 à 2'.

Il semble qu'on puisse favoriser les étirements « à froid » : cette déformation est plus durable si le tissu est "froid".

### 2. Diminution du tonus musculaire à court terme (dépend de l'amplitude de l'étirement).

### 3. Baisse de la raideur musculaire à court terme.

Mais plus le temps de relâchement entre deux étirements est élevé, plus la raideur musculaire augmente .

4. Augmentation de la **tolérance chronique** à l'étirement (effet antalgique « anti douleur » + adaptation long terme de la compliance (élasticité) des structures)
5. Diminution de la force à court terme (durée = 1 heure)
6. Augmentation de la force à long terme : (augmentation de la raideur et développement du muscle).
7. L'augmentation de compliance musculaire = Diminution des courbatures à long terme
8. Effet relaxant (ondes cérébrales).
9. Effet antalgique variable (décalage du seuil de douleur).

## CE QUI NE SEMBLE PAS ETRE VRAI ...

1. Prévention des blessures à long terme.
2. Prévention des courbatures.

Selon le cas, les étirements perturbent même la réparation du muscle car s'ils sont réalisés après une séance d'entraînement dont on sait qu'elle provoquera des courbatures, ils pourraient aggraver le degré de détérioration.

Cependant des étirements type puissance effectués 2 à 3 jours après l'effort « courbaturant » peuvent permettre de faciliter la cicatrisation.

3. Amélioration de la performance sportive par l'échauffement et parfois de la récupération.

## ÉCHAUFFEMENT ?

- Plutôt étirements de type puissance (mais très courts, peu de répétitions et avec un temps d'enchaînement court) ou balistiques (mais amplitude et en contrôle).
- Étirements des ligaments en ski alpin : Intérêt prévention des blessures (?).
- Plutôt intérêt à manier une charge pour s'échauffer (Burkett LN et al. 2005).

## QUELQUES CONSEILS

- Choisissez vos étirements en fonction de l'objectif choisi (voir tableau ci-après).
- Il est préférable d'étirer le muscle pendant une durée de 8" à 10 " avec plusieurs répétitions que de faire des long étirements qui occasionnent un « garrot musculaire ».
- Pour préserver la raideur musculaire le temps entre chaque répétition doit être minimisé à 2"-3". Si par contre vous recherchez un relâchement musculaire laissez plus d'interval.
- Vous avez la possibilité de vous étirer de temps en temps « à froid » afin de faciliter la mise en tension de certaines structures. Il n'est pas nécessaire, dans ce cas, d'aller chercher l' amplitude maximale de l'étirement.
- Chaque individu a des besoins différents : il convient donc d'individualiser le choix des étirements.

Types d'étirement	Pourquoi ?	Quand ?
<p>Étirement "tenu" amplitude max passive avant seuil douleur <u>durée 10"</u> environ faire plusieurs répétitions avec des pauses courtes (&lt;2") si on recherche la baisse de tonus musculaire ou des pauses longues si on veut garder la raideur.</p> <p><b>ETIRER</b> ◊ <b>Relacher</b></p>	<p>Allongement du tissu conjonctif (tendons, tissus de liaison musculaire...).</p> <p>Amélioration de l'amplitude du mouvement (ADM) passive, micro-massage...</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Après les séances qui ne sont pas susceptibles de générer des courbatures</li> <li>· Séances à objectifs de relaxation. Assouplissement (gain d'amplitude)</li> </ul>
<p><b>Étirement PNF :</b> contraction du muscle 15" puis relâchement puis étirement de 20" max (type stretching).</p> <p><b>CONTRACTER</b> ◊ <b>RELACHER</b> ◊ <b>ETIRER</b></p>	<p>Allongement du tissu musculaire et en pratique chronique : augmentation des unités de contraction (sarcomères) =&gt; action sur la force et amélioration de l'amplitude (ADM) passive(*).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Après les séances qui ne sont pas susceptibles de générer des courbatures</li> <li>- Séances à objectifs de relaxation.</li> <li>- Le matin d'une journée sans compétition ni séance demandant une disponibilité musculaire trop importante.</li> <li>- Séance de type « à jeun » ou « réveil musculaire »</li> </ul>
<p><b>Étirement "d'augmentation de puissance"</b> étirement "tenu" + contraction du muscle étiré tout en le gardant en amplitude max de mouvement + contraction du muscle opposé.</p> <p><b>ETIRER</b> ◊ <b>contracter les muscles étirés</b> ◊ <b>contracter les muscles opposés</b> ◊...</p> <p>Durée étirement de 10" à 20"</p>	<p>Augmentation de la force/puissance du tissu musculaire par stimulation des structures de liaisons et contractiles</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 3 jours après une séance occasionnant des courbatures. Lors des séances de musculation en phase de récupération.</li> <li>· Pendant les périodes d'entraînement foncier.</li> </ul> <p>En fin d'échauffement compétition ou entraînement avec 1 à 3 séries courtes et avec des temps de pause long (augmentation de la raideur)</p>
<p><b>Étirements type</b> « balistique » sans chercher l'amplitude mais en contrôlant le mouvement sur une gamme d'angulation moyenne.</p>	<p>Stimulation du réflexe myotatique et activité motoneurones</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Échauffement compétitions et entraînements</li> </ul>

# Bibliographie

## **Ouvrages :**

1. GUIDE DES ETIREMENTS DU SPORTIF (1999) CHRISTOPHE GEOFFROY – EDITIONS



## **Revue spéciale et rapports :**

1. Shrier, Gossal, Myths and Truths of Stretching (2000) THE PHYSICIAN AND SPORTSMEDICINE - VOL 28 - NO. 8 - AUGUST 2000
2. Angelina Calder, FLEXIBILITY, STRECHING THE PARADIGM, Ask, applied sport knowledge. Australia. (2000).
3. Kenneth Shannon, Procedure: Muscle Flexibility and Stretching BRIGHAM & WOMEN'S HOSPITAL Department of Rehabilitation Services (2005)
4. Cometti Gilles Les limites du stretching pour la performance sportive.
5. faculté des Sciences du sport - UFR STAPS Dijon
6. Knudson V., Magnusson P., McHugh M., The President's Council on Physical Fitness and Sports – Publications, Washington, D.C. (2000)

## **Bibliographie scientifique :**

- Burkett LN, Phillips WT, Ziuraitis J. (2005). The best warm-up for the vertical jump in college-age athletic men. J Strength Cond Res. 2005 Aug;19(3):673-6.
- Church B., Matthew S., Wiggins, F., Moode, M, Crist R., Effect of warm-up and flexibility treatments on vertical jump performance. J. Strength Cond. Res. 2001;15(3):332-336.
- Cornwell, A., Nelson, A.G., and Sidaway, B. (2002). Acute effects of stretching on the neuromechanical properties of the triceps surae muscle complex. Eur. J. Appl. Physiol., 86:428-434.
- Gleim, G.W. and McHugh, M.P. (1997). Flexibility and its effects on sports injury and performance. Sports Med., 24(5):289-299.
- Goldspink DF, Cox VM, Smith SK, et al: Muscle growth in response to mechanical stimuli. Am J Physiol 1995;268(2 pt 1):E288-E297
- Guissard, N., Duchateau, J. & Hainault, K. (1988). Muscle stretching and motoneuron excitability. Eur. J. Appl. Physiol., 58:47-52.
- Guissard, N., Duchateau, J. & Hainault, K. (2001). Mechanisms of decreased motoneurone excitation during passive muscle stretching. Exp. Brain. Res., 137:163-169.
- Handel, M., Horstmann, T., Dickhuth, H.-H. and Gülch, R.W. (1997). Effects of contract-relax stretching training on muscle performance in athletes. Eur. J. Appl. Physiol., 76:400-408.
- Herbert, R.D., and Gabriel, M. (2002). Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: systematic review.
- Knudson, D., Bennett, K., Corn, R., Leick, D;, and Smith, C. (2001). Acute effect of stretching are not evident in the kinematics of the vertical jump. J. Strength Cond. Res., 15:98-101.
- Kokkonen, J., Nelson, A., and Cornwell, A. (1998). Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. Res. Q. Exerc. Sport, 69:411-415.
- Kovanen, V., Suominen, H. and Hekkinen, E. (1984). Mechanical properties of fast and slow skeletal muscle with special references to collagen and endurance training. J. Biomech., 17:725-735.
- Lakie, M. and Robson, L.G. (1988a). Thixotropic changes in human muscle stiffness and the effects of fatigue. Q. J. Exp. Physiol., 73:487-500.
- Magnusson, S.P., Simonsen, E.B., Aagaard, P., Dyhre-Poulsen, P., McHugh, M.P. and Kjaer, M. (1995). Mechanical and physiological responses to stretching with and without preisometric contraction in human

skeletal muscle. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 77:373-378.

· Magnusson, S.P., Aagaard, P., Simonsen, E. and Bojsen-Moller, F. (1998). A biomechanical evaluation of cyclic and static stretch in human skeletal muscle. *Int. J. Sports Med.*, 19:310-316.

· Magnusson, S.P., Aagaard, P. and Nielson, J.J. (2000). Passive energy return after repeated stretches of the hamstring muscle-tendon unit. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32:1160-1164.

· McHugh, M.P., Connelly, D.A.J., Esron, R.G., Kremenic, I.J., Nicholas, S.J. and Gleim, G.W. (1999). The role of passive muscle stiffness in symptoms of exercise-induced muscle damage. *Am. J. Sports Med.*, 27:594-599.

· McNeal, J.R., and Sand, W.A. (2001). Static stretching reduces power production in gymnasts.

· Moore, M.A. and Kukulka, C.G. (1991). Depression of Hoffmann reflexes following voluntary contraction and implications for proprioceptive neuromuscular facilitation therapy. *Physical Therapy*, 71:321-333.

· Nelson, A.G., Guillory, I.K., Cornwell, C. and Kokkonen, J. (2001). Inhibition of maximal voluntary isometric torque production following stretching in velocity-specific. *J. Strength Cond. Res.*, 15:241-246.

· Nelson, A.G., and Kokkonen J. (2001). Acute ballistic muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Res Q Exerc Sport.*, 72:415-419.

· Nelson, A.G., Allen J.D., Cornwell A., and Kokkonen J. (2001). Inhibition of maximal voluntary isometric torque production by acute stretching is joint-angle specific. *Res Q Exerc Sport.*, 72:68-70.

· Noyes, F.R. (1977). Functional properties of knee ligaments and alterations induced by immobilization. *Clin. Orthop. Res.*, 123:210-242.

· Phillips, S.M. (2000). Short-term training : When do repeated bouts of resistance training exercise become training ? *Can. J. Appl. Physiol.*, 25(3): 185-193.

· Prévost, P., McIntyre, J., & Berthoz, A. (1999). Visual-motor control during a free-falling catching task. In : XXIVe Congrès de la Société de Biomécanique, Beaune (15-17 sept.) (Abstract).

· Pope R.P., Herbert, R.D., and Kirwan, J.D. (1998). Effect of ankle dorsiflexion range and pre-exercise calf muscle stretching on injury risk in Army recruits. *Aus. J. Physiotherapy*, 4:165-177.

· Pope, R.P., Herbert, R.D., Kirwan, J.D., and Graham, B.J. (2000). A randomized trial of preexercise stretching for prevention of lower-limb injury. *Med. Sci. Sport Exerc.*, 32:271-277.

· Proske, V., Morgan, D.L. and Gregory, J.E. (1983). Thixotropy in skeletal muscle spindles: A review. *Prog. Neurobiol.*, 41:705-721.

· Reisman S, Walsh LD, Proske U.(2005) Warm-up stretches reduce sensations of stiffness and soreness after eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2005 Jun;37(6):929-36.

· Shrier, I. (1999). Stretching before exercise does not reduce the risk of local muscle injury: a critical review of the clinical and basic science literature. *Clin. J. Sport Med.*, 9:221-227.

· Shrier, I., and Gossal, K. (2000). Myth and Truths of Stretching. Individualized recommendations for healthy muscles.

· Wiktorsson-Möller, M., Öberg, B., Ekstrand, J. and Gillquist, J. (1983). Effects of warming up, massage, and stretching on range of motion and muscle strength in the lower extremity. *Am. J. Sports. Med.*, 11:249-252.

· Wilson, G.J., Murphy, A.J., and Pryor, J.F. (1994). Musculo-tendinous stiffness: its relationship to eccentric, isometric, and concentric performance. *J. Apply. Physiol.*, 76:2714-2719.

· Wilson, G.J., Wood, G.A., and Elliot, B.C. (1991). Optimal stiffness of the series elastic component in a stretch-shorten cycle activity. *J. Apply. Physiol.*, 70:825-833.

· Woo, S.L., Gomez, M.A., Amiel, D., Ritter, M.A. Gelberman, R.H. and Akeson, W.H. (1981). The effect of exercise on the biomechanical and biochemical properties of swine digital flexor tendons. *J. Biomech. Eng.*, 103:51-56.

· Yamaguchi T, Ishii K.(2005). Effects of static stretching for 30 seconds and dynamic stretching on leg extension power. *J Strength Cond Res.* 2005 Aug;19(3):677-83.

Merci à Michel Pousson, Samuel Vergès et Amy Nguyen pour leur contribution à ce document.

**Toutes les références citées dans ce document sont disponibles auprès du Département Sportif et Scientifique de la FFS.**

**INFORMATION :**

Les documents « DTN infos » édités par le Département Sportif et Scientifique sont disponibles en téléchargement sur le site de la F.F.S : <http://www.ffs.fr/>.

Pour plus d'information :

Nicolas Coulmy ([nicolas.coulmy@ffs.fr](mailto:nicolas.coulmy@ffs.fr))

*Fédération Française de Ski  
Département Sportif et Scientifique  
50 rue des Marquissats  
BP 2451  
74011 ANNECY cedex*

Toute reproduction, même partielle de ce document est interdite sans autorisation du DSS de la Fédération Française de Ski.

