

# Les limites du stretching pour la performance sportive.

## 1<sup>re</sup> partie :

### □ Intérêt des étirements avant et après la performance □

Gilles Cometti

maître de conférences

faculté des Sciences du sport - UFR STAPS Dijon

BP 27877, 21078 Dijon Cedex, France

#### Préambule :

Il est indéniable que l'apparition des étirements et du stretching dans la préparation physique a constitué un progrès capital. Les sportifs ont ainsi appris à mieux s'intéresser à leurs différents groupes musculaires et à explorer leur mobilité articulaire. Il n'est donc pas question pour nous de remettre en cause l'intérêt des étirements mais de rapporter quelques données scientifiques qui précisent les effets de ces méthodes. En fait ces techniques qui avaient pour objectif principal l'augmentation de l'amplitude articulaire se sont vues progressivement attribuer des vertus quasi universelles allant de leur rôle primordial pour l'échauffement à la prévention des accidents, en passant par la musculation et la récupération. On pouvait même à un moment penser que les étirements dans leurs différentes modalités permettaient de résoudre tous les problèmes de la préparation physique. Nous voulons montrer ici que les connaissances scientifiques actuelles permettent de mieux comprendre ce que peuvent apporter les étirements et ce qu'ils ne peuvent pas faire.

En fait les effets du stretching peuvent être envisagés à 3 niveaux :

- avant la performance pour une meilleure préparation □
- après la performance pour une meilleure récupération □
- en tant que technique pour améliorer l'amplitude articulaire et participer à augmenter ce que les praticiens nomment la « souplesse » □

Dans cette première partie nous nous cantonnerons aux deux premiers aspects qui sont les plus contestés aujourd'hui, nous aborderons les effets physiologiques des techniques du stretching dans un deuxième article.

#### **1) *Stretching et échauffement pour une performance sportive :***

Quel intérêt présente l'introduction des étirements au cours de la préparation □ la compétition ? Les partisans des étirements affirment que le stretching (étirements pré-cédés ou non de contractions isométriques) permet :

- 1- l'élévation de la température locale des muscles étirés
- 2- une amélioration de la performance qui va suivre
- 3- la prévention des accidents

Envisageons ces trois arguments en les confrontant à la littérature scientifique.

##### **1.1) *effet du stretching sur l'élévation de la température musculaire :***

L'élévation de la température interne des muscles dépend de leur vascularisation, l'exercice musculaire par une alternance de contractions et de relâchements permet au muscle de jouer le

rôle de pompe et donc de mieux faire circuler le sang. Comme l'a démontré Mastrossovo (1964) une alternance de contractions concentriques contre résistance moyenne, constitue le meilleur moyen pour élever la température du muscle. Examinons ce qui se passe au cours des étirements : Alter (1996) auteur d'un ouvrage remarquable « Science of flexibility », démontre que les étirements provoquent dans le muscle des tensions élevées qui entraînent une interruption de l'irrigation sanguine, ce qui va à l'inverse de l'effet « vascularisateur » recherché. Certes si on introduit une alternance avec des contractions les périodes de relâchement intermédiaires permettent le passage du sang, mais il est encore choisis la contraction isométrique ne semble pas le meilleur moyen pour simuler une pompe. Il semble plus simple de proposer le protocole de Mastrossovo. Wiemann et Klee (2000) insistent sur l'inefficacité du stretching sur l'élévation de la température musculaire. En conclusion les étirements ne permettent pas un réchauffement musculaire correct.

## 1.2) *Stretching et performance :*

On dispose aujourd'hui de quelques études qui démontrent l'effet négatif de l'introduction de procédés d'étirement pendant le réchauffement d'une compétition. Ces influences négatives ont été démontrées sur des efforts de vitesse, de force et surtout de sauts (détente).

### 1.2.1) Stretching et vitesse :

Wiemann et Klee (2000) montrent que l'étirement passif influence négativement le niveau de prestation sur des successions d'actions de force rapide : des athlètes en activité participant à une expérimentation pendant laquelle ils devaient suivre une séance de stretching de 15 minutes au niveau des fléchisseurs et des extenseurs de la hanche, alternée avec des sprints de 40 mètres augmentaient leur temps de 0,14 secondes (donc allaient moins vite) alors que le groupe contrôle qui ne faisait que de la course lente entre les sprints ne présentait aucune augmentation significative du temps de course (+ 0,03s).

### 1.2.2) Stretching et force :

Une étude de Fowles et coll. (2000) portant sur les fléchisseurs plantaires montre que l'étirement prolongé d'un groupe musculaire diminue l'activation (EMG) et la force contractile du groupe cible. Cette perte de force est encore présente une heure après la fin de l'étirement. La diminution de l'activation musculaire est vite récupérée (15 mn) mais la force contractile est toujours 9% en dessous de la normale 60 minutes après.

Kokkonen (1998) expérimente l'effet de l'introduction de 2 protocoles de stretching dans le réchauffement d'un test de 1 Répétition Maximale (1 RM) pour les extenseurs et les fléchisseurs du genou. Il constate une baisse significative de la force produite aussi bien avec des étirements passifs qu'avec des étirements actifs comparativement au groupe témoin (sans étirements). Nelson (2001) confirme cette baisse de force en effectuant des étirements de type balistiques. La baisse de force est de 7 à 8% pour les extenseurs et les fléchisseurs. Il en conclut que l'introduction d'exercices de stretching avant des compétitions qui exigent la participation d'un important niveau de force est à déconseiller.

### 1.2.2) Stretching et endurance de force :

Kokkonen et coll.(2001) montrent qu'un excès d'étirements peut réduire la capacité d'endurance de force. Des étirements placés avant un test de répétitions maximales des ischio-jambiers réduisent significativement le nombre de mouvements enchaînés. Les auteurs en

induisent qu'il n'est pas conseillé d'introduire des étirements dans la préparation d'épreuves d'endurance de force (aviron, canoë-kayak).

### 1.2.3) Stretching et qualité de saut (dépense) :

Henning et Podzielný (1994) avaient démontré une perte de performance en dépense de 4% en introduisant des étirements au cours de l'échauffement d'exercices de saut et une perte de force explosive par rapport à un groupe témoin (sans étirements). Depuis de nombreuses études confirment que l'introduction des étirements lors de la préparation d'une épreuve de saut est néfaste.

Knudson et coll. (2001) montrent une légère baisse de résultats dans des sauts verticaux à la suite d'un échauffement avec étirements.

Church et coll. (2001) testent différents protocoles d'échauffement : échauffement général seul, échauffement et stretching statique, échauffement et étirement avec contraction préalable (PNF). Le groupe ayant pratiqué les étirements avec technique PNF, a vu ses performances en sauts verticaux baisser de façon significative. Ils recommandent donc d'utiliser cette technique au cours de l'échauffement.

Enfin Cornwell et coll. (2002) étudient les effets des étirements passifs sur la performance en squat jump (saut avec départ à 90° de flexion du genou sans étirement préalable) et la performance en Countermovement jump (CMJ) (saut avec flexion-extension enchaînés). Ils montrent une baisse significative de la performance en CMJ, sans toutefois démontrer une baisse de la raideur musculaire ou de l'activation (EMG).

### 1.3) Le rôle des étirements dans la prévention des blessures :

On considère souvent que l'introduction d'étirements dans l'échauffement est primordial pour prévenir les blessures. Plusieurs études viennent contredire cette affirmation. Shrier (1999) dans une revue de question très documentée (plus de dix articles) constate que les étirements avant l'exercice ne réduisent pas le risque de blessure. Pope et coll. (1998 et 2000) mènent deux études sur des recrues de l'armée (1998 et 2000). La première étude (1998) porte sur le muscle triceps sural, ils étudient sur plus de 1500 sujets l'effet de l'introduction de stretching dans l'échauffement pendant 12 semaines en divisant les sujets en 2 groupes (groupe témoin et groupe à étirement). Aucune différence significative n'apparaît entre les 2 groupes sur 214 blessures constatées sur les aspects musculo-tendineux. La deuxième étude (2000) porte sur 6 groupes musculaires du membre inférieur avec le même protocole. Là encore aucun effet des étirements ne fut noté. Van Mechelen et coll. (1993) testent sur une population de 320 coureurs les effets d'un échauffement avec étirements et d'un retour au calme, pendant 16 semaines. Le groupe témoin qui n'effectuait ni échauffement, ni étirement, ni retour au calme a enregistré moins de blessures (4,9 pour 1000 heures d'entraînement) que le groupe expérimental (5,5 pour 1000 heures d'entraînement). Lally (1994) montre que chez des marathonniens (600 personnes) le nombre de blessures est supérieur chez ceux qui pratiquent le stretching (35% de blessures en plus).

*Pourquoi les étirements sont-ils inefficaces pour prévenir les blessures ?*

- *l'effet antalgique des étirements :*

Quand on cherche à expliquer ce phénomène on constate dans la littérature un certain nombre d'explications. Parmi celle-ci Shrier (1999) évoque l'effet antalgique des étirements. En fait l'explication qui revient de plus en plus chez les auteurs qui étudient le stretching

(Magnusson et coll. par exemple) réside dans l'augmentation de la tolérance à l'étirement. En clair ce qui explique les progrès lors d'un exercice d'étirement c'est le fait que le sujet va plus loin parce que l'entraînement lui apprend à s'habituer à la douleur, il supporte donc un étirement supérieur (Stretch-tolérance). L'athlète va donc plus loin qu'il n'en a l'habitude (ses récepteurs à la douleur sont en quelque sorte endormis) il risque donc la blessure lorsqu'il va commencer son activité spécifique. Les auteurs (Taylor et coll. 1995, Henricson et coll. 1984) qui ont surimposé de la chaleur ou de la glace aux étirements constatent un gain significatif uniquement sur des étirements passifs (les techniques PNF ne sont pas influencées). Shrier en conclut que ces 2 moyens (chaud et froid) qui agissent sur la tolérance à la douleur permettent d'aller plus loin encore (car la douleur est endormie). Les techniques PNF (avec comme exemple la méthode Contract-Relax : étirement précédé d'une contraction isométrique) sont particulièrement efficaces pour parvenir à endormir les récepteurs de la douleur. Ces techniques (PNF) sont donc à éviter au cours de l'échauffement.

- *les microtraumatismes dus aux étirements :*

Wiemann et Klee (2000) montrent que les étirements passifs imposent aux muscles des tensions parfois équivalentes à des tensions musculaires maximales. Les structures élastiques passives du sarcomère (la Titine principalement), dont nous parlerons au cours de la 2<sup>e</sup> partie, sont donc sollicitées et risquent de subir des microtraumatismes défavorables au bon déroulement de la performance qui va suivre. Wiemann et al. (1995) ont fait suivre à des athlètes féminines pratiquant la gymnastique rythmique un entraînement excentrique du muscle droit antérieur des deux membres inférieurs. Pendant les séances d'entraînement de force, des exercices d'étirements passifs étaient faits sur une seule jambe. Deux jours après l'entraînement, le membre étiré était significativement plus douloureux que l'autre. Il semble que l'étirement passif sollicite les myofibrilles de la même façon que l'entraînement de la force et favorise donc ces microtraumatismes à l'intérieur de la fibre musculaire, auxquels on attribue la production de douleur musculaire (Evens, Cannon 1987 ; Friden, Lieber 1992).

- *la coordination agoniste-antagoniste :*

Le fait de chercher à relâcher exagérément et à solliciter passivement certains muscles met en cause la bonne coordination agoniste-antagoniste. Les ischios trop tirés ne seront pas prêts au blocage violent de la cuisse lors de la course. Certains auteurs évoquent un rôle de coordinateur des étirements.

- *Le phénomène de Creeping :*

Un phénomène évoqué également par certains auteurs pour expliquer l'effet négatif du stretching sur la performance est appelé Creeping (Wydra 1997) décrit le phénomène de Creeping : au cours d'un étirement long et prolongé le tendon s'allonge, ceci entraîne une réorganisation des fibrilles de collagène qui vont s'aligner alors que normalement elles sont orientées en oblique. On comprend le gain en allongement, celui-ci s'accompagne toutefois (Ullrich, Gollhofer 1994, Marschall 1999) d'une moindre efficacité du tendon pour emmagasiner de l'énergie. Ce phénomène est réversible mais avec une latence importante, il n'est donc pas judicieux de le provoquer à l'échauffement d'une discipline sportive sollicitant la vitesse et la détente.

## Conséquences pratiques :

Au vue des études précédentes on constate que l'introduction de techniques faisant appel aux étirements n'est pas indiquée au cours de l'échauffement des sports de vitesse-défente. Certaines disciplines qui exigent des positions avec des amplitudes de mouvements extrêmes (gymnastique, patinage artistique...) échappent à cette règle, il faut préparer l'athlète pour lui permettre d'aller sans risque dans ces positions.

### Les principes des étirements à l'échauffement :

- dissocier les extenseurs et les fléchisseurs : dans le cas des jambes il est important de ne pas traiter le quadriceps et le triceps comme les ischio-jambiers. Les extenseurs ne doivent pas être étirés sinon leur efficacité sera diminuée pour les exercices de sauts et de sprints. Nous conseillons d'éviter les 2 exercices de la figure 1. Les ischio-jambiers pourront être étirés à faible amplitude et sur une ou 2 répétitions.

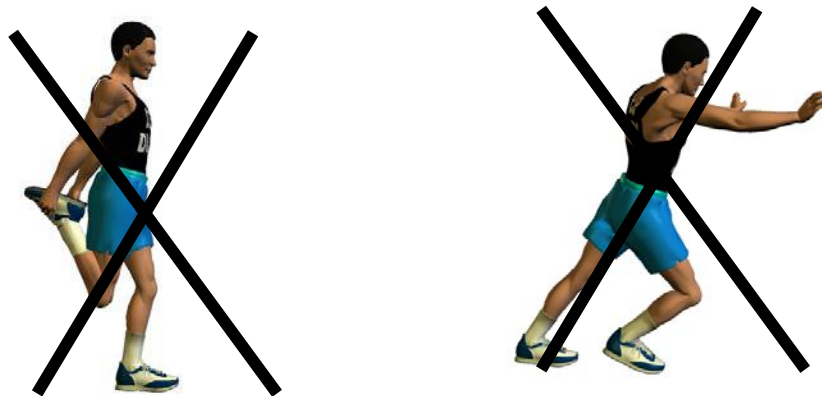


Figure 1 : les exercices d'étirement à supprimer de l'échauffement (pour des sports de vitesse-défente)

- les techniques dites PNF (Contract-Relax, et Contract-Relax à Agonist-Contraction) sont particulièrement à éviter dans la phase d'échauffement.
- les exercices de vascularisation (contractions dynamiques (et non isométriques) contre résistance) à base d'alternance contraction-relâchement pour faire pomper le muscle doivent impérativement accompagner le peu d'étirements tolérés.
- l'individualisation est le maître mot des auteurs (Shrier (1999)) : la majorité des sujets n'ont pas besoin que d'un seul étirement par muscle, certains autres doivent prendre plus de temps.
- l'alternance de contractions musculaires de l'agoniste et de l'antagoniste suffit souvent à étirer naturellement les muscles concernés.
- les mouvements naturels (massues, circumduction de la hanche) sont souvent plus appropriés pour préparer les articulations à travailler dans de grandes amplitudes.

*En résumé les étirements sont particulièrement mal placés en phase de préparation à la compétition à l'exception des disciplines utilisant des amplitudes articulaires extrêmes.*

## 2) Stretching et récupération :

Il est couramment admis que les étirements sont nécessaires et indispensables pour favoriser une bonne récupération après une compétition ou un entraînement. Les travaux actuels ne confirment pas cette certitude de la pratique. Pour bien envisager le problème il faut lister les

paramètres qui peuvent agir sur la récupération. On peut distinguer 3 aspects dans la récupération qui peuvent concerner les tiraments :

- une augmentation de la circulation sanguine dans les muscles tirés qui faciliterait l'élimination d'éventuels déchets.
- la prévention ou la diminution des courbatures.
- Une action musculaire sur les qualités viscoélastiques des muscles (diminution de la raideur ou d'éventuelles tensions, ainsi qu'une augmentation du relâchement.)

#### **a) *Stretching et vascularisation :***

Pour Freiwald et coll. (1999) les tiraments statiques compriment les capillaires et interrompent la vascularisation ce qui diminue la régénération sanguine, ce dont le muscle a le plus besoin pour récupérer. Schober et coll. (1990) testent l'efficacité des trois méthodes de stretching sur la récupération du quadriceps. Ils constatent que les tiraments statiques longs et les tiraments dans la technique après contraction isométrique ne favorisent pas la récupération (les tiraments statiques ont même un effet négatif). Seuls les tiraments intermittents dynamiques permettent d'améliorer la récupération. Nous pouvons même ajouter que l'introduction de contractions contre résistance sur une bonne amplitude articulaire augmenterait le pompage sanguin (comme dans l'échauffement russe Masterov 1964) de façon encore plus efficace. Les tiraments ne constituent certainement pas le meilleur moyen pour faciliter le drainage sanguin.

#### **b) *Stretching et prévention des courbatures :***

Il est bien connu que le travail excentrique provoque des courbatures importantes, c'est pour cette raison que les expériences qui portent sur douleurs musculaires utilisent cette forme de travail. Certains auteurs ont testé les effets de l'introduction du stretching avant l'effort, d'autres ont introduit les tiraments après l'épreuve, enfin certains ont ajouté des tiraments pendant la séance.

##### *Stretching avant :*

Johansson et coll. (1999) étudient l'effet de l'introduction de 4 tiraments de 20 secondes sur les ischio-jambiers avant un entraînement excentrique pour une seule jambe sur l'apparition des courbatures. Aucune différence n'est constatée entre la jambe tirée et l'échauffement et la jambe témoin. Wessel et Wan (1994) dans une première expérience constate également l'inefficacité des tiraments placés avant l'effort.

##### *Stretching après :*

Buroker K.C., Schwane J.A.(1989) sur un exercice musculaire excentrique du quadriceps et du triceps de 30 mn, introduisent des tiraments statiques pour un groupe après la séance. Aucune atténuation des douleurs ne fut constatée dans les 3 jours qui ont suivi la séance. La séance a entraîné une augmentation de la CK (Créatine Kinase) et une diminution de la force de la cuisse douloureuse. Le stretching n'a pas modifié ces paramètres. Ils en concluent que le stretching n'a pas d'efficacité sur les courbatures. Wessel et Wan (1994) ont également testé l'effet du stretching après l'effort dans une deuxième expérience, ils ne trouvent rien de significatif.

##### *Stretching pendant :*

Nous avons déjà vu que Wiemann et al. (1995) ont introduit pendant les séances d'entraînement de force, des exercices d'tiraments passifs sur une seule jambe. Le membre tiré était plus douloureux que l'autre. L'tirement passif ajoute des microtraumatismes à l'effort excentrique (Evens, Cannon 1987 ; Friden, Lieber 1992).

### Synthèse :

Herbert et Gabriel (2002) effectuent une revue de question complète (à partir des 5 études précédentes) sur le thème courbatures et étirements. La synthèse de leurs résultats est reportée sur la figure 2.

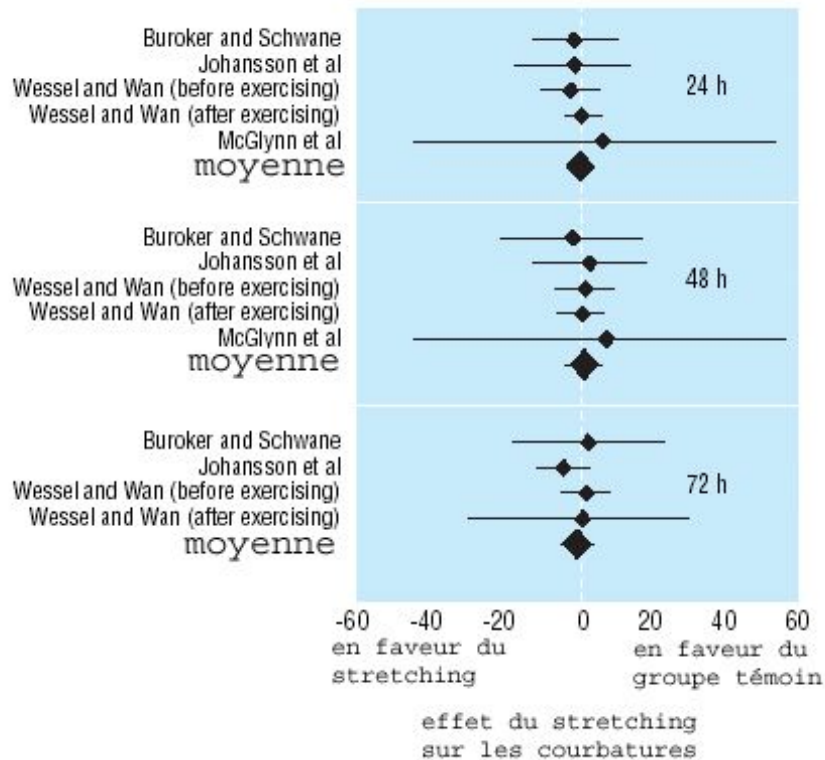


figure 2 : tableau synthétique des études portant sur les effets des étirements sur les courbatures (d'après Herbert et Gabriel (2002)). Les auteurs ont rapportés les effets 24 heures, 48 heures, et 72 heures après la séance. L'axe vertical au niveau du zéro est la position de référence (aucun effet) si le point est sur la droite du zéro, c'est le groupe témoin qui l'emporte (moins de courbatures), si le point est à gauche du zéro c'est le groupe avec stretching qui diminue les courbatures. Le gros losange matérialise la moyenne des différentes études. On ne constate clairement aucun effet notable des étirements aussi bien 24 h, 48 h que 72 heures après.

### Effets négatifs des étirements pour la récupération :

Comme le soulignent Wiemann et Klee (2000) les étirements imposent des tensions importantes dans le muscle et ceci dans des amplitudes inhabituelles, il en découle des microtraumatismes au niveau de la structure intime du muscle (la Titine en particulier). Si on impose des étirements à la fin d'un match de sports collectifs alors que les muscles viennent d'être soumis à des efforts intenses générateurs de micro-lésions, on risque de rajouter des perturbations musculaires supplémentaires. On ne peut donc pas conseiller le stretching comme récupération d'une compétition pour un match qui va suivre dans les deux jours. Tout au plus les étirements en fin de match peuvent-ils se justifier comme travail de souplesse avec les conséquences musculaires négatives à court terme, mais possibilité d'amélioration à moyen terme. Dans le contexte de l'entraînement les étirements sont donc à mettre à la fin de la séance comme moyen d'amélioration de l'amplitude articulaire et non comme méthode favorisant la récupération.

### *c) Stretching et paramètres musculaires :*

Si les arguments sur la récupération sont aujourd'hui injustifiés, on peut chercher au niveau musculaire et neuromusculaire des modifications positives induites par les étirements. Selon Guissard (2000) en phase de récupération, les étirements passifs seront recommandés car ils vont rendre leur extensibilité aux muscles et tendons, leur mobilité aux articulations.

#### *Au niveau musculaire :*

L'activité physique augmente la raideur passive du muscle, Hagbarth et coll. (1985) : sur les muscles fléchisseurs des doigts étudient les variations de raideur des muscles. Après une action concentrique la raideur musculaire a tendance à augmenter, alors qu'une action excentrique la diminue. Lakie et Robson (1988) étudient la raideur en situation de relâchement des muscles de l'avant-bras agissant sur le métacarpe, les extenseurs. Si avant chaque mesure de raideur (0, 30, 60 et 180 s) on effectue des actions excentriques répétées ou des oscillations passives, la raideur diminue avec le temps. Par contre des contractions répétées concentriques ou isométriques augmentent la raideur. Klinge et coll (1996) étudient l'effet d'un entraînement de force en isométrie des ischios. L'entraînement de force augmente la raideur et ne modifie pas l'aspect viscoélastique.

Une compétition intense (match de sport collectif par exemple) est susceptible d'entraîner une augmentation de la raideur musculaire. Magnusson (1998) montre que 4 à 5 étirements permettent de diminuer la raideur au cours d'une séance.

On peut espérer une diminution de la raideur musculaire, favorable au relâchement grâce à des étirements de faible amplitude après une compétition.

#### *Au niveau neuromusculaire :*

Les études de Guissard et coll. (1988) montrent que les étirements favorisent le relâchement musculaire grâce à une diminution de l'activation des motoneurones pendant le stretching du soléaire. Toutefois les techniques les plus efficaces pour diminuer l'excitabilité musculaire sont les techniques CR (contraction-relâchement) et AC (agoniste contraction), ces mêmes techniques qui entraînent une sollicitation excentrique du muscle étiré (Hutton 1994). Améliorer le relâchement par une sollicitation excentrique présente effectivement des inconvénients pour la récupération immédiate.

#### *L'effet antalgique :*

Les athlètes ressentent de façon positive les étirements d'après match avec une sensation subjective de diminution des courbatures, comment expliquer cela ? Il nous semble que l'argumentation de Shier (1999) sur l'effet antalgique du stretching est ici encore déterminante. Les étirements insensibilisent les récepteurs de la douleur et donnent aux athlètes une sensation de bien-être qui est ressentie de façon agréable.

#### *Conclusion sur les aspects musculaires de la récupération :*

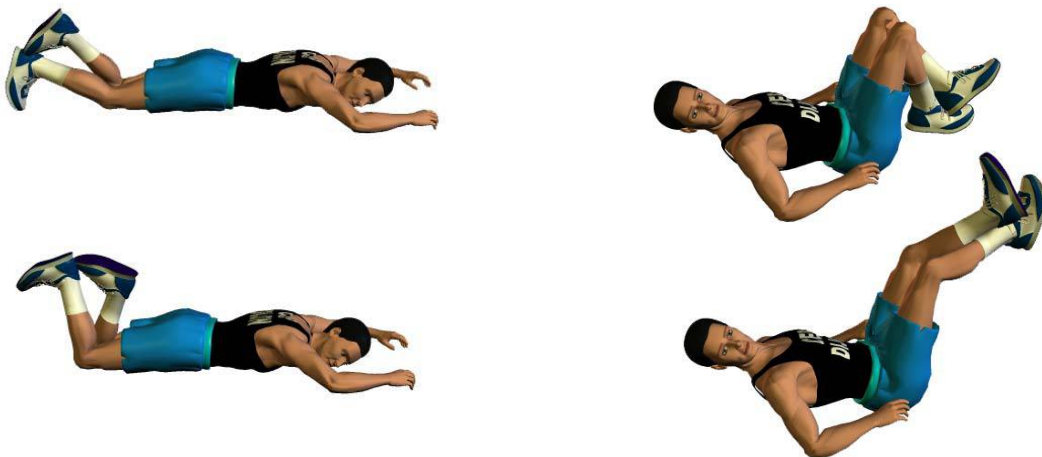
On peut attendre des effets sur le relâchement musculaire (diminution de la raideur et diminution de l'activation des motoneurones) grâce au stretching. Il faut toutefois mettre ces aspects positifs en rapport avec les risques évoqués précédemment. Pour certaines disciplines cette démarche peut se justifier.



## Conséquences pratiques :

Les étirements peuvent être effectués après une compétition ou un entraînement (il est clair qu'ils sont mieux placés qu'avant la compétition) toutefois l'argumentation basée sur une meilleure récupération ne tient pas aux vues des données scientifiques. Il est donc déconseillé de mettre des étirements de récupération à la fin d'un match si on doit rejouer un ou deux jours plus tard comme c'est souvent le cas au cours de tournoi (championnat internationaux en basket, handball, volley) car dans ce cas on augmente les traumatismes musculaires dus à la compétition. Par contre il est possible de placer une séance d'étirement à la fin d'un entraînement dans le but de travailler la souplesse, il s'agit alors d'une séquence de travail et non de récupération.

Pour favoriser la récupération nous suggérons un protocole voisin de l'échauffement russe consistant à effectuer des enchaînements de contractions relâchements des différents groupes musculaires qui ont été sollicités pendant la compétition. Des positions de jambes surélevées pour faciliter le retour veineux seront les bienvenues. Les séries sont de 10 à 15 répétitions, les résistances sont faibles (parfois uniquement le poids du membre mobilisé), la vitesse d'exécution doit être lente pour éviter les mouvements balistiques et maintenir un minimum de tension dans le muscle pendant toute la contraction, le relâchement doit être bien marqué pour faciliter l'arrivée du sang. La figure 3 montre deux illustrations pour les quadriceps et les ischios.



**ischios-jambiers** : flexion d'une jambe, le poids de l'autre freine légèrement **quadriceps** : extension d'une jambe le poids de l'autre jambe freine

Figure 3 : exemples de situations pour la récupération du quadriceps et des ischios.

L'électrostimulation avec l'utilisation de programmes spécifiques de récupération peut constituer un moyen intéressant pour améliorer la vascularisation.

Le footing lent est déconseillé car les contractions musculaires qu'il impose aux quadriceps, triceps et ischio-jambiers, sont de trop faible amplitude pour favoriser un effet pompe des muscles qui pourrait améliorer le drainage sanguin. Les contractions des quadriceps et des triceps sont pratiquement isométriques (Masterovoi, 1964) l'activité des ischios est pratiquement nulle. Masterovoi avait étudié une course qu'il avait appelée expérimentale consistant à modifier la course lente normale en cherchant à imposer des actions de contraction plus conséquentes aux principaux muscles (flexion exagérée du genou

pour solliciter quadriceps-ischios, déroulement actif talon-plante pour le triceps). On peut même envisager ce type d'exercices en restant sur place.

#### Bibliographie :

- Alter M. J., Science of flexibility, Champaign, 1996
- Anderson B., Stretching, Waldeck-Dehringhausen, 1988
- Billeter R. Hoppeler H., Muscular basis of strength in: Komi P. V., Kraft und Schnellkraft im Sport, Colonia, 1994, 39-63.
- Buroker K.C., Schwane J.A., Does post exercise static stretching alleviate delayed muscle soreness? Physician and sport Med. 1989, 17:6, 65-83
- Church JB, Wiggins MS, Moode FM, Crist R, Effect of warm-up and flexibility treatments on vertical jump performance, Journal Strength Conditioning Research, 2001, Aug; 15(3):332-6
- Cornwell A, Nelson AG, Sidaway B, Acute effect of stretching on the neuromechanical properties of the triceps surae muscle complex, Eur J Appl. Physiol (2002) 86: 428-434
- Evans W. J., Cannon J. G., The metabolic effect of exercise-induced muscle damage, Exercise and sport science reviews, 1987, 99-125
- Fabbrizio E. F., Pons A., Robert G., Hugon A., Bonet-Kerrache D., Mornet D., The dystrophin superfamily : variability and complexity, J. Muscl. Res. Cel. Motil., 15, 1994, 595-606
- Fowles, J.R., Sale, D.G., & MacDougall, J.D. (2000). Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. Journal of Applied Physiology, 89, 1179-1188
- Freiwald, J., M. Engelhardt: Beweglichkeit und Dehnung in Sport und Therapie. Lesenswerte Literatur. Teil 3. Physikalische Therapie (18) 1 (1997) 16-18.
- Freiwald, J.: Stretching - Möglichkeiten und Grenzen. Therapeutische Umschau 55, 4 (1998) 267-272
- J. Freiwald, M. Engelhardt, P. Konrad, M. Jäger, A. Gnewuch, Dehnen, Volume 37, Issue 1, pp 3-10, 1999, Manuelle Medizin, Springer-verlag.
- Friden J., Lieber R. L., Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury, Med. Sci. Sports. Exerc., 24, 1992, 5, 521-530
- Gregory J. E., Proske U., The response of muscle spindles in kitten to stretch and vibration, Experimental Brain research, 73, 1988, 606-614
- Guissard N., Duchateau J., Hainaut K, Muscle stretching and motoneuron excitability, Europ. J. of Applied Physiology, 58, 1988,47-52.
- Guissard N, Rôle de l'étirement lors de la préparation du muscle à l'effort, in la planification de la préparation physique, (2000), éditions UFRSTAPS Dijon.
- Guissard N, Méthodes d'étirement musculaire : bases scientifiques et aspects pratiques, in la planification de la préparation physique, (2000), éditions UFRSTAPS Dijon.
- Glllich A., Schnellkraftleistungen im unmittelbaren Anschluß an submaximale Kräfteinsätze, Frankfurt/M, 1996
- Glllich A.; Schmidtbleicher D., Methodik des Krafttrainings, in: Sievers A. (par), Muskelkrafttraining, V. 1., Kiel, 2000, 17-71
- Henning E., Podzielnny S., Die Auswirkung von dehn- und Aufwärmübungen auf die Vertikalsprungleistung, Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 45, 1994, 253-260
- Herbert RD, Gabriel M. Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: systematic review. BMJ. 2002 Aug 31;325(7362):468. Review
- Henricson AS, Fredriksson K, Persson I, et al: The effect of heat and stretching on the range of hip motion. J Orthop Sports Phys Ther 1984:110-115
- Herring S. W., Grimm A. F., Grimm B. R., Regulation of sarcomere number in skeletal muscle : a comparison of hypothesis, Muscle and Nerve, 7, 1984, 161-173

Horowitz, R. Podolsky, R. the positional stability of thick filaments in activated skeletal muscle depends on sarcomere length : evidence for the role of titin filaments, *journal of cell biology*, 105, 2217-23. 1987.

Huijing P. A., Mechanische Muskelmodelle, in: Komi P. V., *Kraft und Schnellkraft im Sport*, Colonia, 1994 a, 135-154.

Huijing P. A., Das elastische Potential des Muskels, in: Komi P. V., *Kraft und Schnellkraft im Sport*, Colonia, 1994 b, 155-172.

Hutton R. S., Neuromuskuläre Grundlagen des Stretching, in: Komi P. V., *Kraft und Schnellkraft im Sport*, Colonia, 1994, 41-50.

Klee A., Jöllenbeck T., Wiemann K., Biomechanical response to repeated stretches in human M. rectus femoris, in : Parisi P., Pigozzi F., Prinzi G. (par), *Proceedings of fourth Annual Congress of the European College of Sport Science*, Roma, 1999, 495

Knebel K-P., *Funktiongymnastik*, Reinbeck, 1985

Knudson D, Bennett K, Corn R, Leick D, Smith C, Acute effects of stretching are not evident in the kinematics of the vertical jump, *Journal Strength Conditioning Research*, 2001, Feb; 15 (1):98-101.

Kokkonen, J., Nelson, A. G., and A. Cornwell. 1998. Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport* vol 69, no 4, pp. 411-415

Kokkonen, J., Nelson, A. G., Tarawhiti, T., Buckingham, P., & Glickman-Weiss, E. (2000). Stretching combined with weight training improves strength more than weight training alone. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(5), Supplement abstract 649.

Kokkonen, J., Nelson, A. G., & Arnall, D. A. (2001). Acute stretching inhibits strength endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(5), Supplement abstract 53.

Krstic R. V., *Die Gewebe des Menschen und der Säugetiere*, Berlino, 1978

Labeit S., Kolmerer B., Linke W. A., The giant protein titin : emergin roles in physiology and pathology, *Circ. Res.*, 80, 1997, 290-294

Lally, D. A. (1994). Stretching and injury in distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(5), Supplement abstract 473.

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

Masterovo-Liev, la mise en train : son action contre les accidents musculaires. *Liepkaya Atletika (URSS)*, N°9 septembre 1964. Document INS N°560, traducteur M. Spivak.

Pope R, Herbert R, Kirwan J. Effects of ankle dorsiflexion range and pre-exercise calf muscle stretching on injury risk in Army recruits. *Aust J Physiother* 1998;44(3):165-172

Pope RP, Herbert RD, Kirwan JD, Graham BJ. A randomized trial of preexercise stretching for prevention of lower-limb injury. *Med Sci Sports Exerc* 2000 Feb;32(2):271-7

Schober, H., W. Kraif, G. Wittekop, H. Schmidt, Beitrag zum Einfluß verschiedener Dehnungsformen auf das muskuläre Entspannungsverhalten des M. quadrizeps femoris. *Medizin und Sport* 30 (1990) 3, 88-91.

Shrier Ian, 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* 1999, Oct. ; 9(4): 221-7.

Shrier Ian, Gossal Kav, Myths and truths of stretching, the physician and sportsmedicine, vol 28, N°8, august 2000.

Smith L. L., Brunetz M. H., Chenier T. C., Mc Cammon M. R., Houmard J. A., Franklin M. E., Israel R.G., The effects of static and ballistic stretching on delayed onset muscle soreness and creatine kinase, *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 64, 1993, 1, 103-107

Söveborn S. A., *Das Buch vom Stretching. Beweglichkeitstraining durch Dehnen und Strecken*, monaco di Baviera, 1983

- Taylor DC, Dalton JD Jr, Seaber AV, et al: Viscoelastic properties of muscle-tendon units: the biomechanical effects of stretching. *Am J Sports Med* 1990;18(3):300-309
- Taylor BF, Waring CA, Brashear TA: The effects of therapeutic application of heat or cold followed by static stretch on hamstring muscle length. *J Orthop Sports Phys Ther* 1995;21(5):283-286
- Tidball J. G., Force transmission across muscle cell membranes, *J. Biomechanics*, 24, 1991, 1, 43-52
- Tidow G., Flexibilitätsübungen für Hürdensprinter, *Leichtathletiktraining*, 1997, 4, 3-11
- Ullrich K., Gollhofer A., Physiologische Aspekte und Effektivität unterschiedlicher Dehnmethode, *Sportmedizin*, 45, 1994, 336-345.
- Vigoraux J. O., The muscle Z-band : lessons in stress management, *J. Musc. Res. Cell. Motil.*, 15, 1994, 237-255
- Walker S. M., Schrodt G. R., I-segment lengths and thin filament periods in skeletal muscle fibres of the rhesus monkey and the human, *Anatomical record*, 178, 1973, 68-82
- Wang K., Mc Carter R., Wright J., Beverly J., Mitchell R. R., Viscoelasticity of the sarcomere matrix of skeletal muscle - the titin-myosin composite filament is a dual stage molecular spring, *Biophys. J.*, 64, 1993, 1161-1177
- Wang K., Titin/connectin and nebulin : giant protein rulers of muscle structure and function, *Adv. Biophys.*, 33, 1996, 123-134
- Wessel,-J; Wan,-A, Effect of stretching on the intensity of delayed-onset muscle soreness *Clinical journal of sport medicine, New-York,-N.Y.* 4(2), Apr 1994, 83-87.
- Wiemann K., Beeinflussung muskulärer Parameter durch ein zehnwöchiges Dehnungstraining, *Sportwissenschaft*, 21, 1991a, 3, 295-306
- Wiemann K., Präzisierung des Lombardschen Paradoxons in der Funktion des ischiocruralen Muskeln beim Sprint, *Sportwissenschaft*, 21, 1991b, 4, 413-428
- Wiemann K., Muskeldehnung und stretching, in : Zichner L., Engelhard M., Freiwald J., *Die Muskulatur - Sensibles, integratives und meßbares Organ, Rheumatologie - Orthopädie*, v. 3, Wehr, 1994a, 211-230
- Wiemann K., Beeinflussung muskulärer Parameter durch unterschiedliches Dehnverfahren, in: Hoster M., Nepper H. (par), *Dehnen und Mobilisieren*, Waldenburg, 1994b, 40-71
- Wiemann K., Hahn K., Influence of strength, stretching and circulatory exercises on flexibility parameter of the human hamstrings, *Int. J. Sports Med.*, 18, 1997, 340-346
- Wiemann K., Kamphöner M., Verhindert statisches Dehnen das Auftreten von Muskelkater nach exzentrischem Training?, *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 46, 1995, 411-421
- Wiemann K., Klee A., Stratmann M., filamentäre Quellen der Muskel-Ruhespannung und die Behandlung muskulärer Dysbalancen, *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 44, 1998, 4, 111-118
- Wiemann K., Klee A., Die Bedeutung von Dehnen und Stretching in der Aufwärmphase vor Höchstleistungen. *de Leistungssport*, 4, 2000, 5-9,
- Wydra G., Börs K., Karisch G., Zur Effektivität verschiedener Dehtechniken, *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 42, 1991, 9, 386-400
- Wydra G., Stretching - ein Überblick über den aktuellen Stand der Forschung, *Sportwissenschaft*, 27, 1997, 4, 409-427
- Wydra G., Glöck S., Dynamisches Dehnen in der Sporttherapie?, *Gesundheitssport und Sporttherapie* 2000.