

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE
ABDELHAMID IBN BADIS
MOSTAGANEM



INSTITUT D'EDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE

Mémoire pour l'obtention d'un diplôme de **MAGISTER**

OPTION : Sciences de l'entraînement sportif

THEME

EFFETS IMMEDIATS DES ETIREMENTS

PROLONGES SUR LA PERFORMANCE

SPORTIVE EN SPRINT

(CAS DES JEUNES FOOTBALLEURS)

Présenté par :

Mr. MOKKEDES MOULAY IDRIS

Devant le jury composé de :

Dr. Sebban Mohammed

Dr. Bendehman Nasreddin

Dr. Saïde Aïssa

Dr. Bengoua Ali

Univ. De Mosta.

Univ. De Mosta.

Univ. De Mosta.

Univ. De Mosta.

Président

Examineur

Examineur

Encadreur

2010-2011

REMERCIEMENT

Je remercie " **ALLAH** " le tout puissant de m'avoir donné la patience et la persévérance, pour mener à terme cette modeste étude.

J'adresse mes remerciements à Mr le professeur **SEDEKI MOHAMED SALAH** président de l'université, et le directeur de l'institut Dr **BENKAZDALI Hadj Mohamed**, ainsi que tout le staff pédagogique et administratif de l'IEPS .

Je remercie les membres du jury pour avoir accepté d'expertiser ce travail ainsi que pour les observations et les critiques émises qui ne feront que renforcer de ma volonté de toujours apprendre plus.

J'exprime ma reconnaissance au Dr **Bengoua ALI**, maître de conférences à l'université de Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem, pour nous avoir fait l'honneur de diriger nos travaux. En pédagogie averti, il nous a inspiré et guidé dans notre recherche ; il nous a également encouragé à persévérer.

Au-delà de l'expérience vécue, j'ai eu, en exemple, son sens du devoir accompli, du dévouement et de la responsabilité.

Que ce travail soit le témoignage de ma gratitude et de mon profond respect.

J'adresse mes vifs remerciements au directeur technique du club professionnel de football l'USMBA Monsieur **Mokkedes Belabbes**, au docteur **Belkiche Kada**, aux entraîneurs et aux joueurs pour leur précieuse aide et collaboration.

Mes remerciements vont aussi à toutes les personnes que je n'avais pas citées et qui m'ont assistées dans la réalisation de ce travail.

Dédicaces

-A vous mes parents, ma femme, mes enfants et mes frères.

ABBREVIATION

PNF : proprioception neuro-musculaire facilitation(assouplissement neuro-musculaire proprioceptif).

CR : technique du contracter relâcher.

CRE : technique du contracter relâcher étirer.

Deg/s : degré par seconde.

CVM : une contraction volontaire maximale.

OTG : Organes Tendineux de Golgi.

r : Coefficient de corrélation de BRAVAIS-PEARSON.

P : Signification.

U20 : under 20 (moins de 20 ans).

USMBA : Union Sportif Musulman de Bel Abbes.

Staps : sciences et technologies des activités physiques et sportives.

M : Moyenne arithmétique.

Et : Ecart-type.

I C : Indice de convergence.

t:test t de STUDENT-FISHER.

F :le test de F de SNEDECOR.

d : la différence entre deux échantillons.

N :nombre.

Sig : signification.

I C : Intervalle de confiance.

Esm : Erreur standard moyenne.

D : Défenseurs.

M : Milieux.

A : attaquants.

CMA : complexe musculo-articulaire.

RMA : raideur musculo-articulaire.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Première Partie

Approche théorique

des étirements et ces effets sur les performances sportives

CHAPITRE I : Définition et concepts

1-Notion d'étirement.....	6
2-Notion de performance sportive.....	12
3-Notion de sprint.....	13
4- Notion de sport	16
5- Notion physiologique	16

CHAPITRE II : Approche physiologique

1-Structure et fonction des muscles squelettique	19
2-La mécanique musculaire.....	22
3-Les autres éléments de l'appareil locomoteur.....	24
4-Les reflex	29
5-Les systèmes énergétiques.....	32
6- Le tonus musculaire.	34

CHAPITRE III : Effet des étirements sur les performances

sportives D'après la littérature .

1- Effets du travail en stretching.....	37
2-. Principes et règles à respecter dans les techniques de stretching.....	38
3- Données récentes relatives à l'utilisation des étirements dans la pratique sportive	41
4- Effets des étirements avant et après la performance	47

CHAPITRE IV

Les études similaires.....	60
-----------------------------------	-----------

Deuxieme Partie

La realisation de l' experimentation et ses resultats

CHAPITRE I : Méthodologie de la recherche.

1- Etude d'exploration (pré-enquête).....	67
2-But de la recherche.....	83
3-Objectif et taches.....	83
4-hypothèses.....	84
5-méthode.....	84
6- matériels et outils de recherche.....	84
7-Identification et contrôle des variables.....	85
8- traitement statistique.....	91

CHAPITRE II : Analyse et interprétation des résultats

1-Résultats obtenus à l'issue de la phase 1et 2.....	92
2-Comparaison et Corrélacion des résultats lors de la phase1.....	95
3-Comparaison et Corrélacion des résultats lors de la phase 2.....	96
4-interprétation des résultats.....	98
5-comparaison et analyse des résultats des joueurs selon les postes	102

CHAPITRE III : Discussion générale.

-Vérification des hypothèses.....	104
Conclusion générale et recommandations.....	109
Bibliographie	114

Annexes

Résumé en français

Résumé en arabe

Résumé en anglais

RESUME

Les vérités d'hier ne sont souvent pas celles d'aujourd'hui et encore moins celles de demain. Telle va la science. Elle avance, qu'on le veuille ou non. Mais pour bénéficier aux mieux de ses avancées, il est nécessaire de confronter les résultats aux données et observations de terrain. Cette démarche doit rester la clé de voûte de tout processus de validation de méthodes d'entraînement sous peine de tomber dans le travers inverse qui consiste à mettre une confiance aveugle dans les résultats que proposent les revues scientifiques et que certains considèrent pour acquis en négligeant les autres travaux déjà publiés ou en cours de publication, ou généralisables à toutes les conditions d'entraînement alors qu'il ne s'agit que d'une analyse spécifique et précise d'un phénomène isolé. L'étirement est fréquemment présenté par les entraîneurs comme un facteur d'amélioration de la performance sportive lorsqu'il est utilisé pendant l'échauffement pour une compétition, pour favoriser et accélérer la récupération après une séance d'entraînement intense et pour la prévention des blessures.

Vu notre double statut (étudiant chercheur et entraîneur), nous nous efforçons de rendre accessible de nombreuses informations relatives à l'optimisation de l'entraînement, d'où l'intérêt de la recherche qui porte précisément sur la relation entre les étirements prolongés et la performance sportive. La procédure vise à inclure des étirements prolongés pendant la phase d'échauffement qui précède l'épreuve de sprint de 30 mètre et de 40 mètre chez les footballeurs professionnelles et à étudier l'effet de ces étirements sur les performances. Pour ce faire les athlètes sont mis en deux situations la première consiste à courir suite à une session d'étirement prolongés tandis que la seconde ne contient plus d'étirement préalable. Cette évaluation indépendante de la valeur réelle de la performance des athlètes va nous permettre de déterminer l'effet immédiat d'un étirement prolongé qui précède une épreuve de sprint. Les résultats montrent que la pratique des étirements pendant l'échauffement a détérioré les performances. De là espérons que toutes ces explications et expérimentations vont contribuer à la résolution d'un des problèmes majeurs de la complexité de l'entraînement de la souplesse et apporter un plus aux résultats scientifiques les plus récentes pour optimiser les effets des étirements.

Mots clés : Etirement prolongé, performance sportive, sprint.

INTRODUCTION GENERAL

INTRODUCTION GENERALE

Pendant longtemps, une croyance populaire établissait que les étirements passifs pré-entraînement pouvaient augmenter les performances et même prévenir les blessures lors d'activités sportives quelconque. Cependant, de nouvelles recherches expérimentales démontrent que ceci n'est pas le cas, et que les étirements passifs peuvent même devenir un handicap durant les performances sportives nécessitant une force ou une puissance musculaire maximales. De nombreuses recherches démontrent qu'ils créent une diminution de force en phase concentrique, et une diminution de puissance musculaire des membres inférieurs.

Cependant, les résultats en laboratoire ne peuvent pas toujours directement prédire les effets sur les performances sportives en milieux pratiques. Les chercheurs ont donc voulu déterminer si les impacts négatifs des étirements pré-entraînement étaient applicables aux sports impliquant de l'explosivité.

Lors du sprint, une force explosive est requise au commencement de la course, ainsi que durant chaque pas. La performance, lors de cette activité, peut donc être négativement influencée tout au long de la course (¹).

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(1). 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 »

¹ Gilles Cometti Les limites du stretching pour la performance sportive : les effets physiologique des étirements », - Sport Med n°150 mars 2003

- en tant que technique pour améliorer l'amplitude articulaire et participer à augmenter ce que les praticiens nomment la « souplesse ».

Les partisans des étirements affirment que le stretching (étirements précédés 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. 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 Mastérovoï (1964)⁽¹⁾ 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)⁽²⁾ 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 là encore choisir la contraction isométrique ne semble pas le meilleur moyen pour simuler une pompe. Il semble plus simple de proposer le protocole de Mastérovoï. Wiemann et Klee (2000)⁽³⁾ insistent sur l'inefficacité du stretching sur l'élévation de la température musculaire. En conclusion les étirements ne permettent pas un échauffement musculaire correct. On dispose aujourd'hui de quelques études qui démontrent l'effet néfaste de l'introduction de procédés d'étirement pendant l'échauffement d'une compétition. Ces influences négatives ont été démontrées sur des efforts de vitesse, de force et surtout de sauts (détente).

En ce qui concerne la vitesse, Wiemann et Klee (2000)⁽⁴⁾ 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

¹ Mastérovoï Liev , la mise en train : son action contre les accidents musculaires. Liegkaya. Atlitika(URSS), N°9 septembre 1964. Document INS N°560, traducteur M.Sprivak.

² Steven Alter. "Basic Ideas for Understanding Information Systems" in Information Systems: A Management Perspective, 2nd Edition, Benjamin Cummings, 1-9, 1996.

³ Wiemann K., Klee A., Stratmann M., filamentäre Quellen der Muskel-Ruhespannung ... vor Höchstleistungen. de Leistungssport, 4, 2000, 5-9,

⁴ Wiemann K., Klee A., Stratmann M., filamentäre Quellen der Muskel-Ruhespannung ... vor Höchstleistungen. de Leistungssport, 4, 2000, 5-9,

(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). Pour la force, une étude de Fowles et coll. (2000)⁽¹⁾ portant sur les fléchisseurs plantaires montre que l'étirement prolongé d'un groupe musculaire diminue l'activation (EMG) et la force contractile du groupe étiré. 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)⁽²⁾ expérimente l'effet de l'introduction de 2 protocoles de stretching dans l'échauffement 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)⁽³⁾ 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.

Pour l'endurance de force Kokkonen et al. (2001)⁽⁴⁾ 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 déduisent qu'il n'est pas conseillé d'introduire des étirements dans la préparation d'épreuves « d'endurance de force » (aviron, canoé-kayak...). Pour l'effet du stretching sur la qualité de saut (détente), Henning et Podzielnny (1994)⁽⁵⁾ avaient déjà démontré une perte de performance en détente 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 al. (2001)⁽⁶⁾ montrent une légère baisse de résultats dans des sauts verticaux à la suite d'un échauffement avec étirements.

¹ 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.

² Kokkonen, J., Nelson, A. G., & Cornwell, A. (1998). Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 69, 411 – 415.

³ Nelson, A. G., & Kokkonen, J. (2001). Acute ballistic muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72, 415 – 419.

⁴ Kokkonen, J., Nelsson, A.G. et al(2001) Acute stretching inhibits strength endurance performance. *Medecine and sciences in sports and exercices*, 33(5),supplement abstract 53.

⁵ Henning E., Podzielnny S., Die Auswirkung von dehn – und Aufwärmübungen auf die. Vertikalsprungleistung, *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 45, 1994.

⁶ Knudson et coll . :J Strength Cond Res,15(1) :98-101,2001.

Church et coll. (2001)⁽¹⁾ 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 déconseillent donc d'utiliser cette technique au cours de l'échauffement.

Enfin Cornwell et al. (2002)⁽²⁾ 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 enchaînées). Ils montrent une baisse significative de la performance en CMJ, sans toutefois démontrer une baisse de la raideur musculaire ou de l'activation (EMG).

Au vue des études précédentes on constate que l'introduction de techniques faisant appel aux étirements prolongés n'est pas indiquée au cours de l'échauffement des sports de vitesse-détente. 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.

Comment donc une méthode d'étirement prolongés utilisée avant la performance comme moyen d'amélioration va-t-elle agir sur le sujet et qu'elles peuvent être les conséquences sur la performance ?

Cela revient à dire si l'étirement prolongé a une influence positive ou négative sur la performance sportive en sprint. C'est la notre problématique.

Dans le but de montrer les conséquences atténuante ou non atténuante de l'effet de l'étirement prolongé sur la performance sportive en sprint, nous mettrons en œuvre un plan expérimentale a travers notre recherche.

Pour cela, dans notre première partie, nous explorerons le champ théorique relatif aux étirements et à leurs effets sur les performances ainsi qu'une approche physiologique visant à expliquer les différents impacts des étirements sur le complexe musculo-tendineux.

La deuxième partie de notre recherche sera centrée sur l'expérimentation visant à mettre en évidence les effets des étirements prolongés sur la performance en sprint et nous analyserons et interpréterons également les résultats de cette expérimentation.

La discussion générale qui s'en suivra constituera la réponse à la question posée.

¹ Church et coll. :J Strength Cond Res, 15(3) :332-6,2001

² Cornwell, A., et coll.: Eur J appl Physiol. 2002 Mar; 86(5):428-34,2002.

Première Partie

Approche théorique

des étirements et ces effets sur les

performances sportives

CHAPITRE I : DEFINITION ET CONCEPTS

CHAPITRE II : Approche physiologique de l'étirement

*CHAPITRE III : Effets des étirements sur les performances
sportives d'après la littérature*

CHAPITRE IV : Les études similaires

CHAPITRE I

DEFINITION ET CONCEPTS

- 1- Notion d'étirement*
- 2- Notion de performance sportive*
- 3- Notion de sprint*
- 4- Notion de sport*
- 5- Notions physiologiques*

Introduction :

La problématique soulevée repose sur les limites et bénéfices de la pratique du stretching dans le cadre des activités physiques. Cette approche des étirements à des fins d'augmentation de la mobilité est envisagée dans l'interrelation entre activité physique et santé. Soit le stretching est envisagé comme pratique physique à part entière. Soit, le stretching est intégré partiellement dans les échauffements ou dans les phases de récupération, en fin de séance. Il est dans ce cas considéré comme un outil didactique et pédagogique à visée d'amélioration de la performance ou prophylactique. La méthode est décrite par certains auteurs dans la littérature quant à sa relation directe avec l'efficacité des résultats (versus performance ou préventif au regard des blessures). Nous plaçons nos propos dans un cadre éducatif, dans lequel le stretching vise une meilleure connaissance du corps, une amélioration du schéma corporel et par là même ayant une action indirecte sur l'efficacité dans les habiletés motrices, et une approche sportive qualitative au bénéfice de l'intégrité physique.

L'apparition des exercices d'étirements et de stretching dans les années 80 pour la préparation physique a semblé un progrès capital. Sur recommandation médicale (médecins et physiothérapeutes), et d'entraîneurs, le stretching a été progressivement introduit dans le cadre de la prévention des nombreuses blessures survenant à l'appareil musculo-squelettique mais aussi dans l'idée d'une amélioration de la performance. Ceci a permis aux sportifs de mieux s'intéresser à leurs différents groupes musculaires et à explorer leur mobilité articulaire (Cometti, 2003).⁽¹⁾

En conséquence, les recommandations de la société américaine de médecine du sport (ECSM), jusqu'en 1998, étaient claires :

Les exercices d'étirements doivent être impliqués dans l'échauffement avant une activité physique et dans la récupération : ils permettent de prévenir les blessures liées à la pratique sportive.

En fait, le stretching qui avait pour but d'améliorer l'amplitude articulaire s'est vu progressivement attribuer des vertus quasi universelles allant du rôle primordial pour l'échauffement à la prévention des accidents, en passant par la musculation et la récupération. On pouvait même un moment penser que l'étirement, dans ses différentes modalités permettait de résoudre tous les problèmes de préparation physique.

Cependant, depuis le début des années 2000, il existe de plus en plus de travaux scientifiques bien documentés, qui non seulement contredisent les insertions d'utilité du

¹ Cometti G, 2003 Les limites du stretching pour la performance sportive, 1ère partie, UFRSTAPS Dijon

stretching dans la prévention des blessures, mais aussi insinuent que le stretching pourrait nuire à la capacité de performance. De 1966 à décembre 2004, en recherchant dans la littérature au moyen des mots clés "stretching, injurios prévention, sport injurios" 373 articles, se rapportant à la mobilité et risques de blessures et différentes approches à l'étirement, les effets de ces derniers sur la performance sportive et les effets négatifs du stretching, ont été recensés.

1) Notion d'étirement :

-La mobilité, selon Jürgen WEINECK

« La mobilité est la capacité et la propriété qu'a le sportif d'exécuter, par lui-même ou avec l'aide de forces extérieures, des mouvements de grande amplitude faisant jouer une ou plusieurs articulations » ⁽¹⁾. On donne comme synonyme : la flexibilité, la souplesse. La mobilité articulaire concerne le fonctionnement des articulations, et la capacité d'étirement concerne le système musculo-tendineux ainsi que les cartilages articulaires. Jürgen Weineck cite Frey (1977) et considère que la mobilité articulaire et la capacité d'étirement sont des sous catégories de la mobilité.

-La souplesse, selon Mathieu Fourré

La souplesse est une qualité rencontrée sous le nom de mobilité ou flexibilité, qui « S'exprime par la capacité de réaliser un mouvement requérant une amplitude élevée d'une ou plusieurs articulations » ⁽²⁾. Elle est la résultante de la longueur des muscles, de la résistance à l'étirement du système musculo-tendineux, et de la force disponible pour mobiliser l'articulation.

-Les assouplissements

Les assouplissements sont des exercices de mobilisation destinés à améliorer la mobilité articulaire. On peut distinguer des exercices de développement actif et passif de la souplesse (V.N.Platonov, 1984). Les exercices orientés vers le développement de la souplesse sont des mouvements de flexion, d'extension, de rotation de circumductions.

-Les étirements

Les étirements sont des exercices spécifiques destinés à améliorer la mobilité par un allongement progressif du muscle au maximum de son amplitude. Les étirements améliorent l'amplitude articulaire dans les limites de la **capacité à l'allongement du muscle**. Les

¹ Jürgen WEINECK, Manuel d'entraînement, 4ème édition, Editions VIGOT, Novembre 2003.

² Fourré Mathieu, Le karaté, préparation physique & performance, collection entraînement, INSEP Publications, 2003.

tirements agissent sur les systèmes musculaires et tendineux. Ils permettent de « prévenir et diminuer les accidents musculaires » (1).

-Définitions de La Souplesse :

. Elle fait partie des qualités physiques. C'est la « Capacité d'amplitude passive des mouvements corporels » Blandine CALAIS-GERMAIN.

Cette capacité est variable selon :

Le patrimoine génétique ; L'éducation, l'acquis ; L'âge, le sexe (fonctions hormonales),
Le temps d'entraînement ; Le mode de vie ; Les zones du corps ; Le poids ; la masse musculaire ; La prise de certains médicaments.

Dans un cours d'assouplissement, il est nécessaire de s'intéresser aux muscles et aux tendons mais aussi à tous les éléments constitutifs des articulations (cartilage, ligament, capsule, synovie) pour :

Conserver ; Augmenter La capacité d'amplitude. ; Restaurer,

a) Définition du stretching :

Le stretching est un mot d'origine anglo-saxonne qui vient de stretch, « s'étirer » .C'est une forme d'exercices physiques ou gymniques qui assure entre autres l'élasticité des muscles et la mobilité des articulations. A ce titre, sur le plan biomécanique, l'étirement musculaire consiste à allonger les fibres musculaires par un éloignement des insertions du muscle sur les structures osseuses, alors que la mobilité articulaire assure une fluidité gestuelle et un confort dans l'exécution du mouvement (2). Autrement dit l'étirement est une action visant à favoriser l'allongement du muscle ; alors que l'assouplissement est une action visant à gagner en amplitude articulaire. Alors est Le Stretching un Ensemble de méthodes et de techniques physiques visant une amélioration de l'amplitude musculaire, facteur susceptible d'améliorer le travail, la restauration ainsi que l'efficacité du mouvement.

b) Histoire du stretching :

Les étirements musculaires (stretching) sont pratiqués couramment en milieu sportif. Ils sont recommandés pour améliorer la performance, pour prévenir les lésions tendineuses et musculaires, traumatiques ou microtraumatiques, et dans la réhabilitation à l'effort. Le consensus semble tel que dans nombre d'articles consacrés au traitement de ces lésions, il

¹ Pasquer Dr G. & coll, échauffement du sportif, éditions Amphora, juin 2004.

² Alexandre Dellal, 2008, Ed de Boeck université, « de l'entraînement à la performance en football ».p, 91.

n'est pas fait mention d'une quelconque évaluation ou validation de leur utilité . Pourtant de nombreuses publications leur sont consacrées. Sur quelles bases scientifiques leur pratique repose-t-elle ? Quelles sont les différentes techniques d'étirement et quel est leur intérêt respectif ? Quelle est leur place dans les phases d'échauffement et de récupération et dans le traitement des lésions de surmenage ? Une revue de la littérature va tenter de répondre à ces questions.

La pratique des étirements musculaires ou " stretching " s'est développée, il y a déjà une trentaine d'années en milieu sportif, à la suite de travaux d'auteurs nord-américains et scandinaves. L'amélioration de la flexibilité était le but essentiel de ces étirements, utilisés depuis longtemps dans le domaine de la danse. Mais en médecine du sport, le " stretching " est venu des techniques de rééducation d'affections neurologiques, dites de facilitation neuromusculaire proprioceptive développées par Kabat et d'autres auteurs. C'est au début des années 80 que Stanish en Amérique du Nord et d'autres auteurs en France introduisirent les étirements dans la prise en charge des tendinopathies liées au sport. Puis Stanish et coll. y associèrent quelques années plus tard, le travail musculaire excentrique. Bien que reposant initialement sur des données théoriques plus qu'expérimentales, cette méthode s'est développée rapidement pour devenir un incontournable de la préparation du sportif et de la thérapeutique des lésions tendineuses et musculaires liées au sport. Ces dernières années, des méthodes d'évaluation des effets des étirements ont été développées et des études contrôlées ont été publiées, apportant un support scientifique à cette technique et permettant de mieux préciser sa place au sein des autres techniques d'entraînement et de traitement.

c) Les différentes formes du stretching ⁽¹⁾

-le stretching californien : dans cet exercice, l'étirement se place en fin de travail dynamique (par exemple, balancé de bras ou de jambe suivie d'un étirement). C'est une technique qui propose un étirement segmentaire des muscles, c'est-à-dire le travail d'un muscle après l'autre. Son intérêt dans la pratique des activités physiques et sportives est multiple, à savoir améliorer : -la récupération des sujets ; -la souplesse musculaire ou articulaire ; -la posture de la statique ; -l'élasticité du muscle ; -la force, la puissance, l'endurance musculaire.

¹ **Alexandre Dellal, 2008, Ed de Boeck université, « de l'entraînement à la performance en football », p. 92.93**

- **le stretching postural** : C'est une technique mise au point dans les années 1960 par JEAN-PIERRE MOREAU, kinésithérapeute, qui préparait des athlètes de haut niveau. C'est une technique plus globale. En effet, les muscles de la posture, qui permettent de soutenir le corps debout, sont situés en profondeur. Le stretching postural les sollicite tout particulièrement, notamment les muscles du dos. ces étirements prennent place dans des séances destinées à rétablir l'équilibre anatomique du corps et non pas à des fins d'échauffement avant une séance. il permet ainsi de dénouer les tensions physiques des sportifs, aide à combattre le stress, et permet de libérer les tensions nerveuses. Il est affirmé que le stretching postural apporte une tonicité musculaire, la souplesse articulaire, un meilleur équilibre de la posture et de la chaîne musculaire.

-**Le stretching manuel suédois** : C'est une technique manuelle dynamique et énergique, pratiqué en douceur sur les zones musculaires. Précisément, c'est un massage relaxant qui stimule la circulation et le système nerveux, qui agit sur les tensions, restructure la musculature. il s'adresse ainsi à toute personne désirant soulager des contractures musculaires, des crampes, des spasmes, ou souhaitant vaincre le surmenage ou voulant lutter efficacement contre la cellulite indurée. la technique est simple : le sportif échauffe le muscle, il le décolle, il masse son volume en profondeur pour le ré-oxygéner et ce suivant plusieurs manœuvres. les personnes ayant des inflammations, des tendinites, des déchirures musculaires et celles atteintes de tumeurs malignes et les femmes enceintes ne doivent pas choisir cette méthode. Le stretching manuel suédois se combine très bien avec le drainage lymphatique.

-**le stretching sportif** : C'est l'un des étirements les plus connus, qui fait alterner contraction-relâchement-étirement sur un groupe musculaire isolé. Les étirements à base de cette technique sont pratiqués en quatre temps : -mise en tension du muscle ; -On contracte le muscle à étirer dix secondes tout en le maintenant tendu ; -On relâche la contraction ; -On remet le muscle en tension douce dix à trente secondes aussi loin que possible sans douleur. Leur but est la préparation à l'effort, l'allongement maximal du muscle et la prévention des accidents musculaires.

Les différentes formes de stretching utilisent des techniques d'exécution plus ou moins distinctes.

d) Les différentes techniques d'étirements :

Si les techniques existantes diffèrent par leur forme, nous retrouvons des éléments communs :

- La progressivité des étirements (sans saccade ou temps de ressort).
- La lenteur des mouvements et le maintien de positions (postures).
- La respiration qui tient une place importante.
- L'action équilibrante et anti-stress.

-Technique analytique : les muscles sont étirés isolément.

-Technique globale : l'étirement concerne une ou plusieurs chaînes musculaires.

-Stretching passif : Pour obtenir l'étirement, le muscle subit une force externe.

-Stretching actif : Pour obtenir l'étirement, le muscle (lui-même, les synergiques ou les antagonistes) participent à l'étirement.

Remarque : La classification de la page suivante reprend les techniques les plus utilisées, elle n'a en aucun cas la prétention d'une exhaustivité complète des techniques existantes.

Tableau n°1 -Les techniques de stretching les plus utilisées (1)

Stretching analytique	Passif	Les muscles sont allongés sous l'effet de la pesanteur, d'une tierce personne, d'une auto-action du sujet ou grâce à du matériel	Bob ANDERSON 1983
	Actif de type CRE	Le stretching sportif appelé aussi « neuro-musculaire », « en post-inhibition », activo-passif Contraction 10 à 30 s (précédée d'un pré-étirement) Relâchement 2 à 3 s Etirement 10 à 30 s 3 répétitions	KABAT 1960 SOLVEBORN 1983
	Actif de type CRE Décliné en FPN	FPN : Facilitation en Proprioception Neuromusculaire Pré-étirement puis C : 6 à 10 s R : 2 à 3 s 3 fois E : 6 à 10 s Suivi d'une contraction des antagonistes	KNOTT 1968
	Actif en inhibition réciproque	L'étirement est obtenu par la contraction des antagonistes	Suite travaux de SHERRINGTON
Stretching global	Stretching postural	Alternance de stretches lourds et toniques (maintien de postures) Utilisation de respirations spécifiques (dont la petite respiration crachée)	JP MOREAU 1965
	Stretching global actif (SGA)	Principes de base : Etirement de chaînes musculaires Introduction d'une contraction légère pendant l'étirement Respiration spécifique Nécessite un guide (partenaire)	Norbert GRAU 2002

¹ MAQUAIRE Ph.. Une approche de l'amélioration de la Mobilité, la souplesse par les étirements.
Master 2 recherche STAPS Laboratoire Recherche Littoral en Activités Corporelles & Sportives, (RELACS), ULCO

-Techniques avec autre finalité

Échauffement sur le plan proprioceptif et musculaire	Stretching en tension active (ou activo-dynamique) 3 temps : - Pré-étirement - Contraction isométrique 7 s - Phase dynamique 7 s	MASTEROVOÏ 1966 « l'échauffement russe » Christophe GEOFFROY 2000
Optimisation gestuelle spécifique	Etirement balistique	
Relaxation, maîtrise du corps	Yoga, Eutonie ...	

Tableau n°2 – Autres techniques de stretching selon Ph. MAQUAIRE

2) Notion de performance sportive :

Définition de la performance sportive :

La performance sportive est prise dans le sens du mot «performer», emprunté à l'Anglais (1839), qui signifie accomplir, exécuter. Ce terme vient lui-même de «performance», qui signifiait accomplissement en ancien français. Ainsi on peut définir la performance sportive comme une action motrice, dont les règles sont fixées par l'institution sportive, permettant au sujet d'exprimer ses potentialités physiques et mentales. On peut donc parler de performance sportive, quel que soit le niveau de réalisation, dès l'instant où l'action optimise le rapport entre les capacités physiques d'une personne et une tâche sportive à accomplir. L'approche bioénergétique de la performance sportive en est une parmi d'autres comme l'approche psychologique, biomécanique, sociologique, cognitive. Elle n'est pas exclusive, mais reste essentielle pour appréhender les caractéristiques énergétiques, en particulier la quantité d'énergie nécessaire à la réalisation d'une épreuve sportive et le type de transformation mis en jeu en fonction de la durée et de l'intensité de l'exercice ainsi que de sa forme (continue-discontinue). Nous considérerons donc un groupe de spécialités sportives présentant des similitudes quant aux facteurs limitatifs et aux qualités énergétiques requises. La course et la natation, par l'analyse de leurs records, offrent un moyen simple d'appréhender la performance sur son versant bioénergétique.

La performance rend compte de la capacité d'un être humain dans un sport et à un moment donné de son histoire. « Faire une performance » : C'est la possibilité, au cours d'une compétition, d'un entraînement, de réaliser une prestation motrice sans qu'elle soit le but

recherché de manière exclusive et absolue. La performance est un résultat, produit de l'activité, perçu, mesuré et évalué par le pratiquant ou un observateur extérieur. FAMOSE – 1988 ⁽¹⁾. Elle met en évidence les aptitudes d'un athlète dans un sport donné et permet de les apprécier en fonction de critères connus. MATVEIEV ⁽²⁾.

La performance sportive ne serait elle pas le résultat d'un exploit individuel mais une performance sociale, au sens où une société crée les conditions de la possibilité de performance. Pierre PARLEBAS ⁽³⁾ la performance est l'expression des possibilités maximales d'un individu dans une discipline à un moment donné de son développement. (PLATONOV) ⁽⁴⁾

3) Notion de sprint :

Un sprinter est l'athlète qui pratique le sprint. Pour les athlètes pratiquant la course d'obstacle (100 m haies, 110 m haies, 400 m haies), on utilise le terme de hurdler.

Le sprint regroupe les courses à pied dans lesquelles le sprinteur doit courir sur une faible distance à la vitesse la plus rapide possible. On peut remarquer une course de sprint d'une course normale par le fait qu'en raison de la vitesse élevée pour le sprint le talon ne touche pas le sol. On distingue deux types de sprints en athlétisme:

Les sprints courts : 60m et moins, 100m, 150m, 200m.

Les sprints longs : 300m, 400m, 500m, 600m.

Pour pratiquer le sprint, il faut avoir quelques aides biologiques : une faculté de réaction-réflexe instinctive et fulgurante, des fibres musculaires qui réagissent de manière pratiquement immédiate à un stimulus (ici, le pistolet du starter), appelées fibres musculaires blanches de type II, ces aides innées étant soutenues par une puissance, une endurance et une tonicité musculaire.

a) Le sprint et le football

« La vitesse du footballeur est une capacité très diverse. Elle implique non seulement la capacité d'action et de réaction rapide, la rapidité de départ et de course, celle du maintien de la balle, du sprint et de l'arrêt, mais aussi la rapidité d'analyse et d'exploitation de la situation du moment » Weineck (1997). « la vitesse du joueur sportif est une capacité complexe qui se compose des différentes capacités psychophysiques » Bauer (1981).

¹ FAMOSE – 1988 (Aptitude et performance motrice - Revue EPS)

² MATVEIEV (Aspects fondamentaux de l'entraînement – VIGOT, Paris, 1983)

³ PARLEBAS Pierre (Le sport fait social) 1981

⁴ PLATONOV « la préparation physique spécifique des nageurs de haut niveau 1979

b) définition et objectifs : Messi, Cissé, Henry, Owen, Roberto Carlos, Ronaldo sont autant de joueurs présentant les mêmes caractéristiques : une vitesse est une vivacité exceptionnelle. La performance du footballeur de haut niveau est très souvent corrélée à sa capacité à réitérer des sprints à niveau optimal (Bangsbo, 1994 ; Helgerud et al., 2001) en harmonie avec les autres facteurs de la performance (endurance, souplesse, force, coordination, technique, tactique, récupération et hygiène de vie) cette qualité est devenue une des caractéristiques du footballeur de haut niveau. Plus le niveau de compétition est élevé plus la vitesse de jeu augmente, plus les footballeurs sont rapides comparativement au poste occupé. En effet, Verheijen (1998) a démontré qu'il existe une différence significative entre des footballeurs amateurs et les footballeurs professionnels au niveau des temps de course sur 15 et 40 mètres. Cette différence s'observe également entre des sportifs de niveau national et des sportifs de niveau international. La vitesse est un élément fondamental dans le football actuel. Durant un match, les joueurs effectuent environ 700m de sprints (entre 100 et 140 sprints), de distances variant entre quelques mètres et 50 mètres et avec des temps de récupération avoisinant les 30s à 40s, Bangsbo (1994). Les différentes études et analyses considèrent que la vitesse maximale du footballeur est atteinte aux alentours de 40 à 50m. Toutefois, n'oublions pas que « la qualité de vitesse constitue une liaison des différentes qualités physiques » (Tabachnic). Frédéric Aubert parle de « qualité multicomposante » et qui constitue une interconnexion entre les différents facteurs de performance. Elle mélange les capacités d'étirement, de coordination et de force. Bangsbo (1994) a même démontré qu'il existe une corrélation entre la capacité de répétition de sprints et la Vo₂ max. La vitesse est une qualité variée car elle fait intervenir aussi bien des facteurs d'ordre physique que psychophysiologiques. Ces éléments psychophysiologiques sont à développer, entretenir et perfectionner quelque soit le niveau de pratique. Grâce à l'harmonisation de chacun de ses facteurs, les joueurs pourront développer leurs performances quel que soit le type de vitesse. Cette vitesse est multifactorielle et existe sous différentes formes : la vitesse gestuelle, la vitesse maximale, la vitesse courte (accélération et démarrage), la vivacité, la vitesse de coordination, la vitesse-force, la survitesse et l'endurance vitesse. ⁽¹⁾

c) Les tests

Les tests de vitesse sont très intéressants pour avoir des données concernant les qualités explosives de chaque joueur. Ils prennent également en compte l'analyse de la biomécanique et la technique de course des joueurs.

¹ Alexandre Dellal, 2008, Ed de Boeck université, « de l'entraînement à la performance en football », p. 61-62.

les tests de vitesse s’effectuent quelques jours, voir quelques semaines (2-3au maximum) après la début de la préparation estivale car les sportifs et leurs muscles doivent être prêts à effectuer ces types d’efforts (ils auront du faire un travail préalable de force et d’endurance).

Concernant l’application des tests, on peut appliquer une multitude de tests :

Vitesse sur 10 m, 15 m, 20 m, 30 m, 35 m et 40 m. .départ arrêté ou lancé

Actions spécifiques préalables (course arrière, tête , passe)avec le sprint ; Course en ligne droite ; Course en courbe.

L’analyse de la différence de résultats entre des joueurs amateurs et des joueurs professionnelles lors de tests sur une distance de 5m, 10m, 15m, 20m, 30m et 40m);Commetti et all (2001), Kollath et Quade (1993),Brewwer et Davis(1992) ont évoque cette différence de performance en sprints.de même , l’entrainement orienté en force permettrait d’augmenter les performances en sprint spécifique au footballeurs (tableau 1)

		Performance en sprint (secondes)					
Auteurs	Population	5m	10m	15m	20m	30m	40m
Dupont et all(2004)	Internationaux français						5.55
	Après entrainement						5.35
Gorostiaga et all(2004)	Espoirs espagnols	0.95					
Wisloff et all(2004)	Professionnels norvégiens		1.82		3.00	4.00	
Hoff et Helgerud (2002)	Professionnels norvégiens		1.91				5.68
	Après entrainement		1.81				5.55
Helgerud et all(2001)	Juniors norvégiens		1.88				5.58
	Professionnels norvégiens		1.87		3.13		
	Après entrainement		1.81		3.08		
Cometti et all,(2001)	Division 1 française	1.80				4.22	
	Division 2 française	1.82				4.25	
	Amateurs française	1.90				4.30	
Kollath et Quade,(1993)	Professionnels allemands	1.03	1.79		3.03	4.19	
	Amateurs allemands	1.07	1.88		3.15	4.33	
Brewer et Davis,(1992)	Professionnels anglais			2.35			5.51
	Semi-professionnels anglais			2.70			5.80

Tableau 1- performances en sprint selon le niveau de jeu, le niveau d’entrainement et les distances⁽¹⁾

¹) Alexandre Dellal, 2008, Ed de Boeck université, « de l’entrainement à la performance en football »,p, 75-76

4) Notion de sport

Le dictionnaire LAROUSSE définit le sport « comme l'ensemble des exercices physique se présentant sous forme de jeux individuels ou collectifs pratiqués en observant certaines règles » (¹).

En fait sous ce vocable se cache une multitude d'activités dissemblables non seulement dans la forme mais aussi dans la conception du mouvement.

Il semble donc nécessaire d'établir une première distinction fondamentale entre des activités physiques selon le niveau de pratique, tout en spécifiant cependant qu'il ne devrait pas y avoir de cloisons mais des passerelles entre les catégories définies comme suit :

- Pratique éducative sportive
- Sport de masse à caractère récréatif
- Sport de performance

En fait , c'est cette troisième catégorie représentée par le sport de performance qui est pratiquée par tous ceux qui veulent exploiter au maximum leurs possibilités physiques, qualitativement et quantitativement qui nous intéresse.

Seulement au delà de la perfection technique et physiologique, il est nécessaire de souligner qu'il existe des éléments décisifs, « des facteurs d'ordre psychique qui restent peut être assez obscurs et à coup sur plus malaisés à définir que des possibilités appréciables au chronomètre, mais quant arrive l'heure de vérité, ce sont eux qui emporte la décision » (²).

Parmi ses facteurs physiologiques se situe justement les étirements qui agit sur l'équilibre psycho-physiologique du sportif qui va tenter une performance. Il est donc nécessaire sur celui-ci en mettant ses éléments d'ordre physique du sujet dans la bonne direction. Notre expérimentation est justement de faire ce lien.

5) Notions physiologiques**a) Réflexe myotatique :**

Il est déclenché par stimulation des récepteurs musculaires tels que les fuseaux neuromusculaires.

Ce réflexe abouti à la contraction musculaire, l'opposé même de l'étirement. Les temps ressorts, les répétitions consécutives, les étirements trop rapides sont autant d'éléments qui déclenchent les réflexes myotatiques. C'est un système de défense du muscle qui se contracte

¹) dictionnaire **Le Petit Larousse** : Ed Larousse n°9693, Paris avril 1978, p.970

² DAUVEN, T. : **Encyclopédie des sports**, librairieLarousse, Paris, 1961, p.23

lors d'un changement de longueur des fibres. Sensible aussi à la vitesse de mouvement, le réflexe gère le tonus postural. Réponse à des informations captées au travers du fuseau neuromusculaire (régulation des activités posturales, action, vitesse, état émotionnel) au niveau du tronc cérébral: on parle de la formation réticulaire GAMA.

b) Réflexe myotatique inverse :

Il est déclenché par la stimulation des récepteurs neuro - tendineux tels que les organes tendineux de Golgi situés principalement dans les tendons musculaires et les ligaments des articulations.

Ces récepteurs ou mécanorécepteurs sont détecteurs des tensions musculaires. Ce réflexe abouti à un relâchement musculaire (rétroaction nerveuse) favorisant un meilleur étirement.

c) Sensibilité proprioceptive :

Perception du corps physique par l'intermédiaire des récepteurs intéroceptifs au niveau des muscles, des tendons et des articulations (les mécanorécepteurs).

Ce sont des organes de perception kinesthésique qui transmettent tous les renseignements sur la position, le mouvement et le degré de confort. La kinesthésie est la conscience des parties du corps, leur rapport et leur amplitude.

Il est donc important d'être à l'écoute des sensations du corps dans des positions d'étirement. Le stretching permet de modifier de mauvaises habitudes posturales, réapprentissage. L'action lente permet l'enregistrement afin de reproduire une posture juste et efficace par la suite dans le cadre des préparations sportives.

d) Contraction isométrique statique :

Elle se définit par une longueur constante et une tension variable.

C'est le point de départ d'une des méthodes d'étirement. Elle engendre le réflexe myotatique inverse par stimulation des organes tendineux de Golgi.

e) Innervation réciproque :

Se définit comme un travail complémentaire des agonistes et des antagonistes par le travail synergique qui est la base du tonus postural et de la régulation tonique (système de commande motrice), mais également appliqué dans les méthodes d'étirements: inhibition réciproque.

f) Autres expressions

-Mise en tension : Muscle au repos avant mise en tension, puis on tend passivement le muscle dans une position de tension.

-Stretching ou stretch : Il se produit lorsque l'on garde le muscle dans une position de tension pendant 10 à 30 secondes.

-Mobilité : Elle indique l'ampleur des mouvements de l'articulation.

Exemple: angle maxi d'ouverture jambe par rapport à l'axe du tronc vers l'avant et l'arrière.

-Souplesse : Elle n'a pas le même sens que mobilité. C'est le résultat de la coordination neuromusculaire. Ainsi mobilité, force musculaire et coordination opèrent simultanément.

-Schéma corporel : Connaissance que chacun a des différentes parties de son corps dans sa relation avec le monde extérieur. Il se construit sur la mémoire kinesthésique.⁽¹⁾

¹ Ph. MAQUAIRE, *Master 2 recherche STAPS* « Une approche de l'amélioration de la Mobilité, la souplesse par les étirements. » Laboratoire Recherche Littoral en Activités Corporelles & Sportives, (RELACS), ULCO.

CHAPITRE II

APPROCHE PHYSIOLOGIQUE

1-Structure et fonction des muscles squelettique

2- La mécanique musculaire

3- Les autres éléments de l'appareil locomoteur

4- Les réflex

5- le tonus musculaire

Approche physiologique de l'étirement

Introduction :

Les effets physiologiques des étirements sur les muscles et les tendons (ou système musculo-tendineux) peuvent se résumer à deux choses : - diminution de l'activation des motoneurones (baisse du tonus musculaire mais aussi de la possibilité d'activer les muscles) et - diminution de la raideur du complexe anatomique musculo-tendineux (plus grande facilité à allonger le muscle et les tendons et donc moins grande résistance passive à l'allongement). Ceci est clairement démontré par l'analyse des effets des techniques d'étirements.

On peut donc en conclure que le principal objectif des étirements est de relâcher et décontracter les muscles. Compte-tenu de ces effets, l'utilisation des étirements en fin de séance est tout à fait justifiée car ils participent alors à la récupération post-exercice en diminuant les fortes tensions résiduelles liées à une séance d'entraînement difficile.

Mais qu'en est-il de leur utilisation en début de séance ou dans certaines conditions comme à l'issue d'un entraînement dans lequel on a abordé une nouvelle technique gestuelle ou réalisé une séance de renforcement musculaire comportant un fort pourcentage de travail excentrique (pliométrie, statodynamique, etc.).

Bref, quelles sont les conséquences de leur utilisation au niveau de la performance sportive et de la prévention des blessures ?

Récemment une remise en cause sur l'utilisation des Étirements a émergé en provenance de la communauté Scientifique.

Les étirements sont ils intéressants dans la prévention des blessures ou encore dans la réduction des courbatures post séance, favorisent-ils la récupération, et encor plus améliorent-ils les performances ??

En va tenter de répondre à ces différentes questions en faisant le point sur les connaissances scientifiques actuelles. Avant toute chose, pour comprendre l'intérêt ou non des étirements il faut d'abord appréhender le fonctionnement de l'unité musculo-tendineuse.

1) Structure et fonctions des muscles squelettiques

Les muscles squelettiques composés de plusieurs sortes de tissus ont pour fonction principale, en se contractant, de transformer de l'énergie chimique en énergie mécanique. L'élément de base du tissu musculaire est la fibre musculaire qui est une cellule cylindrique, allongée.

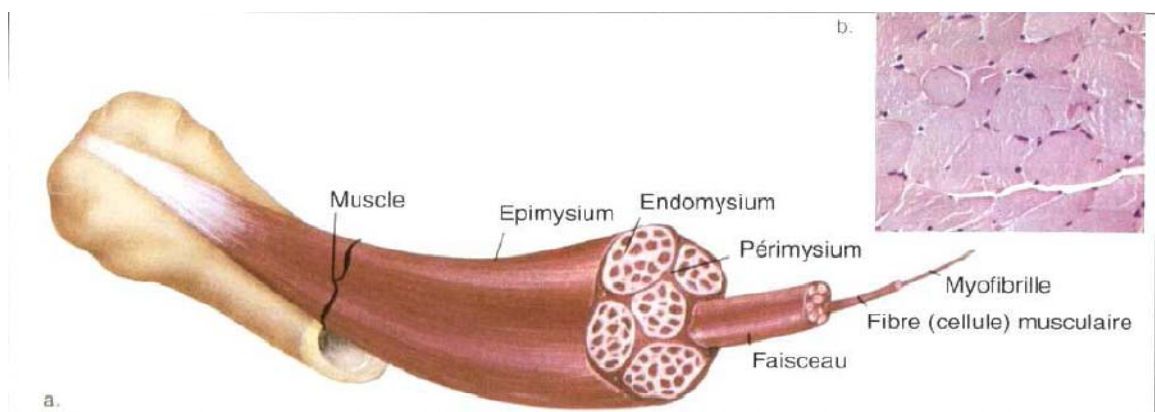


Figure 1 : structure du muscle strié squelettique

La cellule (ou indifféremment *fibre*) est composée de différents éléments :

- **Un sarcolemme**, membrane cellulaire qui entoure la fibre. C'est un élément possédant des propriétés élastiques
- **Un sarcoplasme** qui se trouve au dessous du sarcolemme. C'est le cytoplasme de la cellule qui contient des myofibrilles. Ces dernières contiennent des protéines contractiles appelées ainsi pour leur capacité à se contracter.
- **Les myofibrilles (ou sarcostyles)** sont des successions de sarcomères reliés les uns aux autres. Dans une cellule, de nombreuses myofibrilles se retrouvent empaquetées en parallèle. Au sein du muscle, les paquets de fibres sont intégrés dans du tissu conjonctif. La myofibrille ne possède pas d'innervation propre et ne peut donc être activée isolément.
- **Le sarcomère**, entité mécanique élémentaire du muscle ou « moteur élémentaire ». IL contient des protéines contractiles telle que les filaments dits primaires de myosine, et des éléments contractiles élastiques (filaments d'actine). Les filaments de myosine sont associés à un filament fin, **la titine**. Localisés sur le filament dit secondaire d'actine, on identifie deux autres types de protéines qui régulent le processus de la contraction musculaire : la troponine et la tropomyosine. Les filaments d'actine sont fixés sur la ligne Z, « ou peut-être même participent à sa formation » (¹)

Il est important de connaître le rôle de la desmine et de la titine au sein du sarcomère afin d'appréhender le phénomène des courbatures. La Desmine relie les myofibrilles, la Titine fixe les filaments de myosine aux stries Z afin de la guider.

La Desmine et la Titine participent donc à la bonne organisation musculaire.

• L'unité musculo-tendineuse

Lorsque nous effectuons un étirement c'est un ensemble muscle et tendon qui est étiré. Il faut donc connaître l'unité musculo-tendineuse dans son ensemble (figure 2).

- La composante contractile (CC) : Composée des éléments contractiles (Sarcomère), elle correspond au processus de génération de la force.

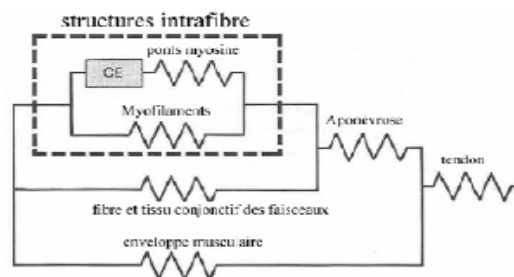


Figure2 :l'unité musculo-tendineuse

- La composante élastique parallèle (CEP) : Elle est localisée au niveau du tissu conjonctif et du sarcolemme (enveloppe fibreuse, aponévrose)

- La composante élastique série (CES) : Elle est composée d'éléments en série avec une partie passive (structure tendineuse) et une partie active (pont d'actomyosine).

¹ MONOD H. & FLANDROIS R., in Physiologie du Sport, page 68, 5^{ème} édition, MASSON, 2003.

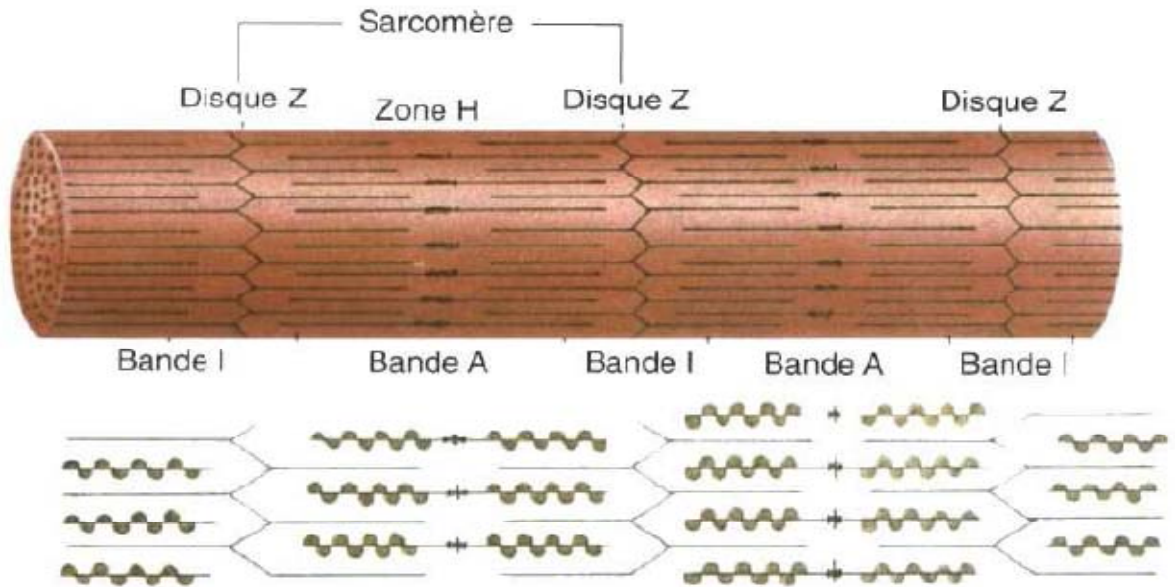


Figure 3 : les composantes de la myofibrille

Ces fibres musculaires possèdent des propriétés :

- **La contractilité**, elles ont la capacité de se raccourcir,
- **L'extensibilité**, elles peuvent se laisser étirer,
- **L'élasticité**, elles ont la capacité à revenir à leur état initial après les phases précédentes (contraction ou étirement)
- **L'excitabilité**, elles peuvent réagir à des stimulations nerveuses

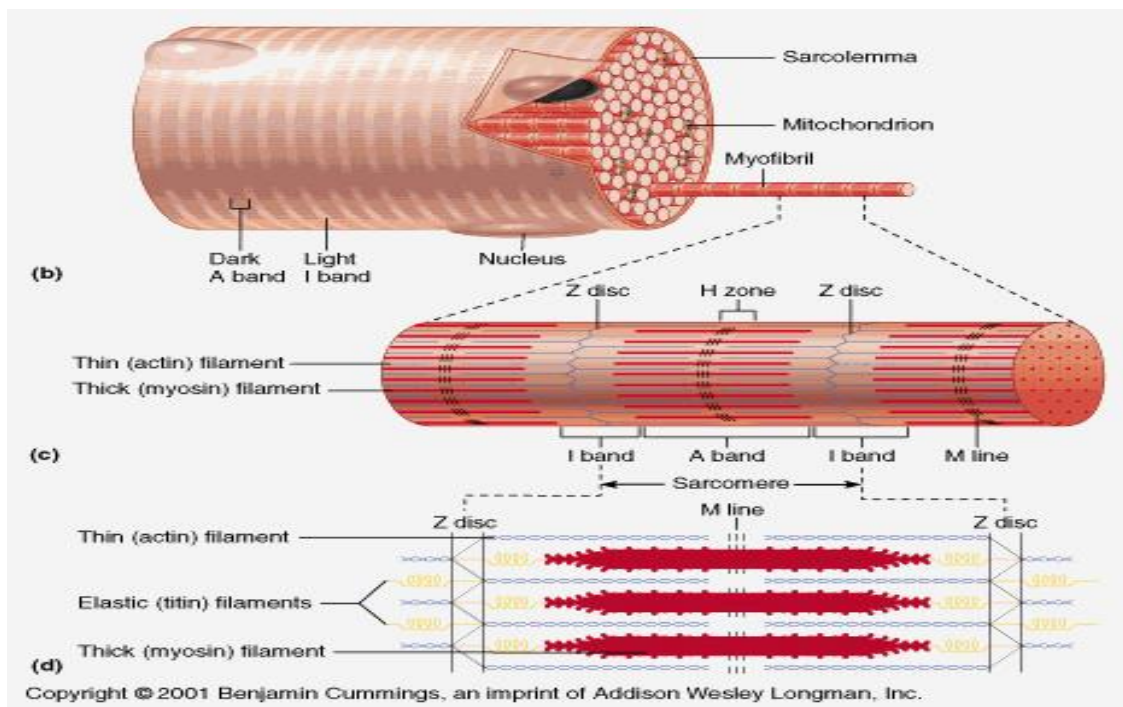


Figure 4 : le sarcomère, l'unité fonctionnelle d'une myofibrille

2) La mécanique musculaire :

a) la contractilité et l'extensibilité

Précisons qu'une approche de la recherche de gain de mobilité peut se calquer sur l'approche que l'on peut avoir de la recherche de Force. Ceci, sur les aspects méthodologiques et leurs justifications.

Les sarcomères transmettent la force qu'ils ont développée au travers des structures élastiques et intramusculaires, aux tendons et au squelette. Font partie des éléments élastiques :

- Les ponts transversaux de myosine,
- Les filaments d'actine
- Les insertions tendineuses,

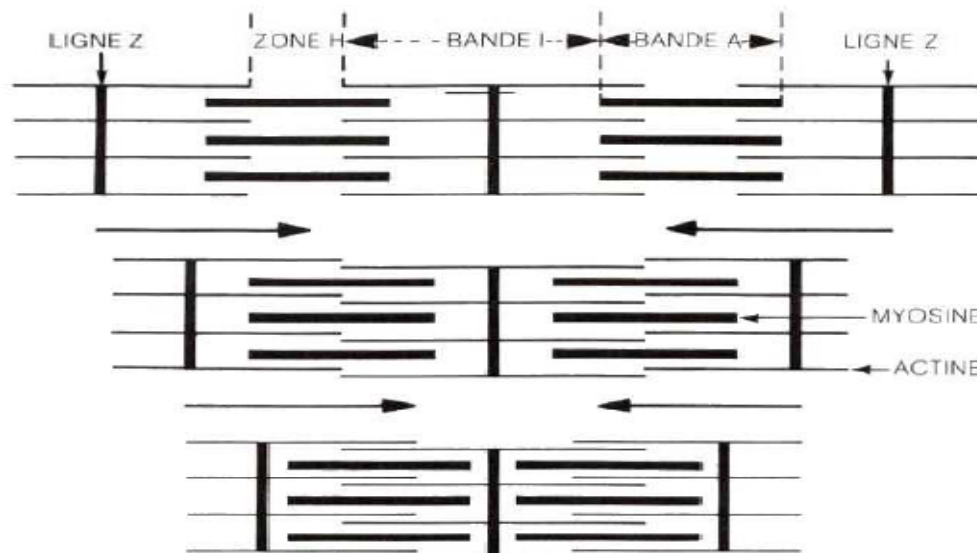
Ces éléments agissent **simultanément** comme des éléments élastiques en parallèle et comme des éléments élastiques en série. Lorsque les filaments d'actine sont tirés vers le centre et entre les filaments de myosine au moment de **la contraction**, les éléments élastiques sont tendus.

Lors de **la contraction musculaire**, si la résistance externe dépasse la force du muscle, un étirement de celui-ci se produit (contraction excentrique). « C'est pourquoi on peut considérer que le terme de contraction musculaire est souvent interprété de façon erronée en ne faisant référence qu'à la contraction concentrique... »⁽¹⁾

Une habileté sportive est souvent le résultat d'une combinaison de plusieurs types de contraction. On ne peut donc réduire une technique sportive à un type de contraction.

Lorsqu'un muscle se contracte, son antagoniste s'allonge. Cette phase s'associe à un étirement et peut être frénatrice. Les éléments élastiques s'allongent et se mettent en tension (fig.6). On parle alors de contraction anisométrique excentrique.

A l'état de repos, les filaments épais de myosine situés au centre du sarcomère se chevauchent avec les filaments fins d'actine que sur une petite distance. Ces filaments d'actine partent des lignes Z et s'orientent vers le centre.



Glissement des filaments fins et épais au cours de la contraction

Figure 5 : Glissement des myofilaments d'actine (fins) et de myosine (épais) au cours de la contraction

¹ BILLAT V., Physiologie & méthodologie de l'entraînement, page 46, collection Sciences et pratiques du sport, Ed. De Boeck Université, 1998

L'**extensibilité** est constatée lorsque le muscle est en position « allongée ». Le muscle possède des caractéristiques : contractilité, élasticité, extensibilité, excitabilité. Ce sont les enveloppes de collagène qui possèdent leur caractéristique élastique propre. Le muscle, en lui-même n'a pas cette caractéristique élastique. Il est extensible, mais ne prend pas systématiquement sa longueur initiale.

L'extensibilité est obtenue lorsque le muscle est étiré. Ces étirements font donc appel à un travail excentrique qui peut être freinateur, ou non freiné.

Protégée par ce dispositif conjonctif, la fibre musculaire présente des limites d'extensibilités. Selon VIEL & ESNAULT,⁽¹⁾ le muscle peut se laisser étirer entre 130% et 150% de sa longueur de repos. Les ischios jambiers, freinateurs dans le cadre d'un travail en contraction excentrique atteignent des valeurs inférieures (120 à 130%) de la longueur de repos. C'est la structure même du muscle, (chargée en fibres de collagène) qui lui confère ce rôle freinateur et non son activité contractile. On parle alors de raideur utile. Ces auteurs s'interrogent sur l'utilité d'étirer ces muscles que l'entraînement rend raide. Il serait judicieux pour des muscles possédant une raideur utile au geste sportif de « rechercher le maximum d'extensibilité dans l'instant, par un exercice bref, qui étirera l'ensemble de la structure conjonctive sans chercher à obtenir une amplitude déraisonnable ».

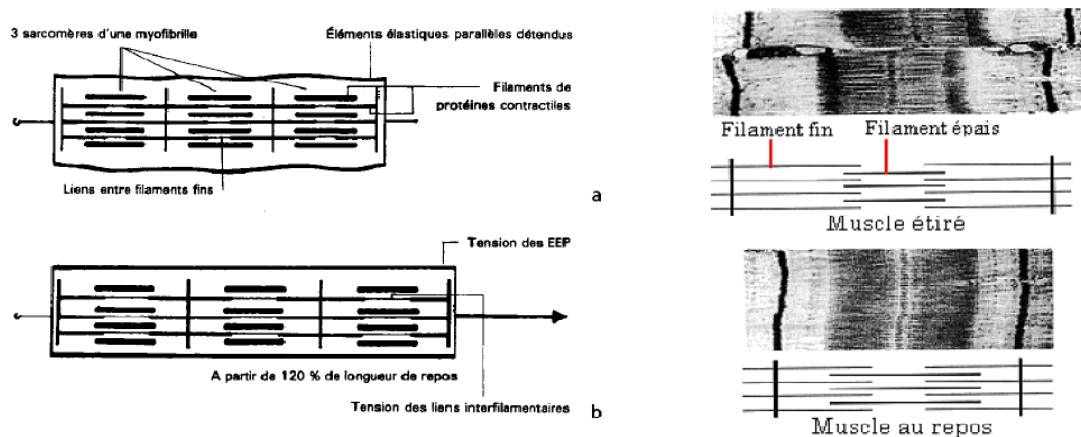


Figure 6 : mise en tension de la structure conjonctive du muscle

On peut observer les modifications de la structure conjonctive du muscle en comparant la figure 5, illustrant la contraction musculaire et la mise en tension (Fig.6, ci-dessus). Les EEP limitent le glissement des filaments d'actine et de myosine.

a. Le muscle est au repos, les EEP ne sont pas en tension,

b. Le muscle est étiré, on constate qu'avec un allongement de 20% , les EEP sont sous tension et sont un facteur limitant de l'allongement. Les filaments se tendent, s'opposent à leur désimbrication, et résistent à l'étirement.

Au-delà de ces structures, précisons que « la myosine est maintenue au centre de la myofibrille par des micro filaments appelés titine et connectine. Ces micro filaments sont soumis à l'allongement et ont un rôle dans la tension passive développée lorsque le muscle est mis en étirement. Ils sont responsables d'une résistance ». C'est surtout le tissu conjonctif qui est étiré. Les éléments responsables de la tension passive ne sont sollicités que dans le cas d'**allongement maximaux et durant des périodes longues**. Cela relativise les craintes de certains arguments littéraires opposés à la pratique du stretching. Les renseignements sensitifs

¹ VIEL & ESNAULT Eric VIEL & Michèle ESNAULT, page 35

liés à la contraction ou à l'allongement du muscle sont transmis au système musculo tendineux. Les sensations sont recueillies par :

- Les muscles, lors de toute modification de longueur enregistrée au niveau des fuseaux neuromusculaires,
- Les tendons, qui enregistrent l'intensité de la traction au niveau des Organes tendineux de Golgi,
- Les capsules et ligaments.

3) Les autres éléments de l'appareil locomoteur

3-1) Les tendons

Le tendon a des propriétés viscoélastiques : « sous l'effet d'une contrainte, il subit une déformation instantanée qui augmente progressivement (comportement élastique) suivie d'une déformation qui augmente progressivement (comportement visqueux) ». ⁽¹⁾

Plus la traction est longue, plus l'allongement du tendon est potentiellement important.

Le tendon est soumis principalement à des forces de traction, ses fibres de collagènes étant disposées dans le prolongement des fibres conjonctives musculaires.

a) Fonction : Les fibres musculaires se rejoignent à leurs extrémités pour former des fibres tendineuses ou **tendons**. Du fait de l'organisation longitudinale de ses fibres dans son axe, le tendon résiste aux forces qui s'exercent selon l'axe de ces fibres. Il possède peu de capacité de cicatrisation du fait de sa faible vascularisation. C'est une caractéristique à prendre en compte dans le traitement des blessures du tendon. Le tendon a pour fonction de lier et stabiliser les articulations. Le tendon ne produit pas de mouvement, mais participe passivement au mouvement. La jonction musculaire s'établit avec les fibres par les lignes Z. Du côté tendineux (partie reliée à l'os), ce sont des fibres de nature fibrillaire qui le relie au squelette. La fonction du tendon est de transmettre au squelette les forces générées par les différentes contractions musculaires.

b) Composition : les tendons sont très peu vascularisés. Ils sont composés principalement de fibres de collagène, d'eau et d'élastine (protéine élastique). Ces fibres de collagène sont très résistantes à la déformation.

c) Jonction ostéo-musculaire : Chaque tendon est entouré d'une gaine de protection des fibres tendineuses qui facilitent leur glissement. Du côté musculaire, elle se prolonge jusqu'au périmysium. Du côté osseux, elle se prolonge jusqu'au périoste (jonction ostéo-tendineuse). On passe à ce niveau d'une formation de collagène à une formation plus minéralisée, qui modifie les propriétés mécaniques par augmentation de la **raideur**.

d) Propriocepteurs sensibles à l'allongement

L'organe tendineux de GOLGI : A la jonction tendon- muscle se trouve les organes tendineux de golgi (O.T.G). C'est un organe proprioceptif informant le système nerveux central sur l'état de tension du muscle et renseigne l'individu inconsciemment sur les perceptions kinesthésiques*. Ces organes sont constitués de faisceaux de fibres collagènes qui relient les terminaisons tendineuses de quelques fibres musculaires appartenant à différentes unités motrices. Ils sont innervés et permettent la transmission d'informations à la moelle épinière.

¹) CORNU Ch. (laboratoire motricité, interaction, performance – UFR STAPS Nantes), in Le tendon : un organe transmetteur proprioceptif, S.S.P.P n°5, page 6, Mars 2003.

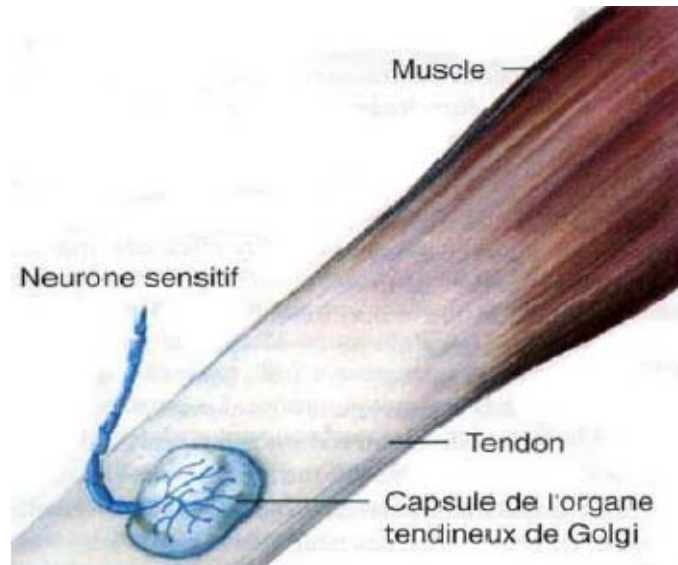
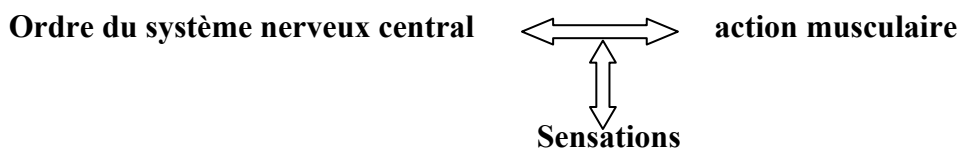


Figure 7. L'organe tendineux de Golgi

Les O.T.G sont sensibles à la tension musculaire. Si cette tension augmente trop brusquement (en intensité et/ou en rapidité), les O.T.G inhibent cette tension par l'envoi d'un signal de contraction du muscle agoniste. Cette interaction permet le réglage de la tension mécanique à l'intérieur d'un muscle squelettique. C'est le réflexe myotatique inverse qui permet, en produisant le relâchement musculaire, de protéger les muscles, les tendons, les lames tendineuses, les jonctions myotendineuses de trop fortes tensions qui pourraient affecter leur intégrité.

e) Action des fuseaux neuromusculaires

Les fuseaux neuromusculaires (FNM) sont sensibles à la variation de longueur du muscle, que ce soit dans le cadre d'un raccourcissement (contraction concentrique) ou un allongement (étirement ou contraction excentrique). Les FNM répondent à l'étirement, et retendent le muscle lors du raccourcissement pour qu'il se conforme à une nouvelle position, le muscle ajuste ainsi automatiquement sa longueur en toutes situations



Muscle	Fuseau neuro moteur	Sensibilité à la longueur Etirement - allongement	Localisé dans la fibre musculaire	Ajustement de la tension à la longueur
Tendon	Organe de Golgi	Sensibilité à la tension Etirement passif Tension de la contraction	Localisé dans la jonction myotendineuse	Facilitation de la contraction

L'ordre moteur provoque une tension dans le muscle, appréciée par les FNM au sein du muscle, régulée par les OTG au niveau de la jonction myo-tendineuse.

Deux circuits de contrôle qui surveillent les variations de longueur de la partie contractile des muscles et son influence sur les tendons nous intéressent. Ces circuits régulateurs de la souplesse font intervenir différents éléments du système neuromusculaire : les FNM et les O.T.G

Deux paramètres musculaires sont régulés par le système nerveux : la longueur du muscle et la force musculaire. Ces régulations se font en boucle à partir d'informations issues de capteurs situés dans les muscles et les tendons, et tendent à lui faire retrouver l'état initial.

Dès que l'état du muscle varie en longueur, des corrections sont mises en oeuvre afin qu'il retrouve sa valeur initiale. S'ajoute à ces variations, des influences intermusculaires et corticales. A la place d'un modèle figé, proposé au départ par les physiologistes, on note désormais que le Système Nerveux Central régule ces paramètres selon les types d'action. Ces circuits sont résumés dans la figure 8 et décrits dans les paragraphes qui suivent.

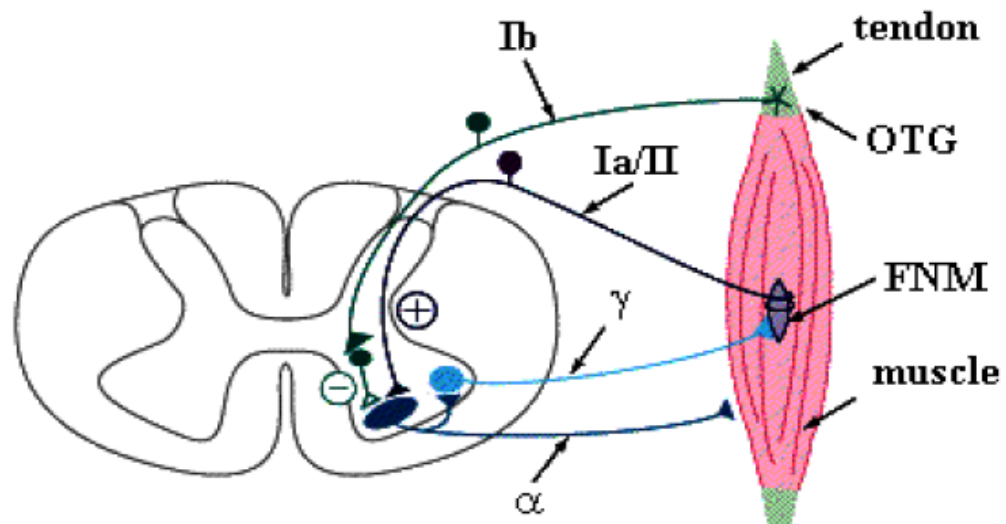


Figure 8 circuits réflexes médullaires du système musculo-tendineux

f) Les différentes sources de raideur.

-Résistances à l'allongement des différentes composantes anatomiques par rapport à la résistance articulaire :

Composants anatomique	% De résistance
Capsule articulaire	47 %
Muscle	41 %
Tendon	10 %
peau	2 %

Tab n°1- Récapitulatif des résistances à l'allongement des différentes composantes anatomiques par rapport à la résistance articulaire totale d'après Johns et Wright in FOX et MATHEWS (1981). ⁽¹⁾

- **Le cartilage** : la surface qui diminue, l'épaisseur qui s'amointrit, le cartilage qui se craquelle
- **La synovie** : peu abondante, qui s'épaissit avec l'âge et l'immobilité
- **La capsule** : qui se rétracte par les tensions physiques et mentales
- **Les ligaments** : tensions aussi ou blessures (entorses)
- **Les muscles et fascias** : qui se rétractent aussi par le manque ou l'excès d'AP
- **Les os (forme)** : becs de perroquet, ossification
- **La peau** : les adhérences.

Tous ces éléments ont tendance à de détériorer ou à se rétracter avec l'âge, à cause d'un manque d'exercice (sédentarité) ou à une mauvaise utilisation corporelle.

Par ailleurs l'incapacité du sujet à se relâcher (hyperactivité, peur de la douleur, stress) constitue un frein réel à la souplesse.

Les ligaments et tendons sont très peu extensibles (élastiques) et vont s'opposer à toute technique de souplesse. Par contre les muscles et les capsules articulaires sont très extensibles et seront, pour cette raison, les structures anatomiques principalement visées dans les exercices d'assouplissement.

Le tonus musculaire : est un facteur limitant la souplesse. Il a une action directe sur le réflexe myotatique (qui se déclenche plus facilement si le tonus est élevé). L'attitude mentale face aux exercices d'étirement sera déterminante sur le résultat. Plus on accepte de se relâcher, de lâcher-prise, moins le tonus sera élevé.

Les muscles posturaux : sont généralement les plus raides de par la grande proportion de tissu conjonctif qu'ils renferment. Les ischio-jambiers (très riches en tissu conjonctif) sont ceux qui ont tendance à se rétracter le plus rapidement lorsqu'ils ne sont pas étirés régulièrement.

La raideur myofaciale : La raideur passive du muscle varie avec l'activité physique. Elle correspond à la force de résistance générée par un muscle en opposition à son allongement.

¹ Johns et Wright in FOX et MATHEWS (1981) bases physiologiques de l'activité physique. Traduit et adapté par François Péronnet. Paris : Vigot et Montréal : Décarie, 1981

La raideur est plus marquée avant et après l'activité physique (Hagbarth et coll 1985 ⁽¹⁾, Wiegner 1987) ⁽²⁾). Elle peut être éliminée par des étirements passifs ou actifs.

Par contre il peut être intéressant de vouloir augmenter (ou conserver) la raideur musculaire dans le but d'accroître la rapidité de transmission de la force musculaire aux pièces osseuses, et par la même occasion, de rendre les muscles plus prompts à la réaction, ou moins sensibles aux perturbations. Cela leur permet de réagir plus aisément pour le contrôle postural ou l'efficacité des mouvements rapides par exemple.

g) Test de résistance réalisé sur le ligament du genou Pour comprendre, les techniques de stretching, nous allons à nouveau faire appel à quelles notions de mécanique des tissus. Considérons d'abord le cas d'un test de résistance réalisé sur un ligament. Pour se faire, une machine lui impose une traction progressive (stress), pendant que l'on enregistre son élongation jusqu'à ce qu'il y ait rupture totale. La figure 8 est un exemple de ce que l'on peut obtenir dans de telles conditions.

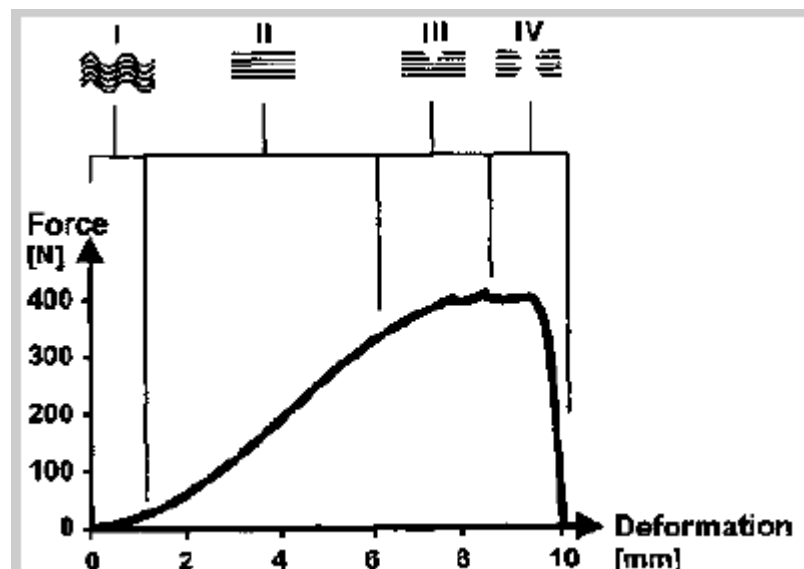


Figure 9 relation stress-déformation (commentaire dans le texte)

¹ Hagbarth KE, Hagglund JV, Nordin M, Wallim EU. Thixotropic behavior of human finger flexor muscles with accompanying changes in spindle and reflex responses to stretch. *J.physio.* 1985, 368: 323-342

² Wiegner AW. Mechanisms of thixotropic behavior at related joints in the rat. *J.Appl.Physiol.* 1987, 62: 1615-1621

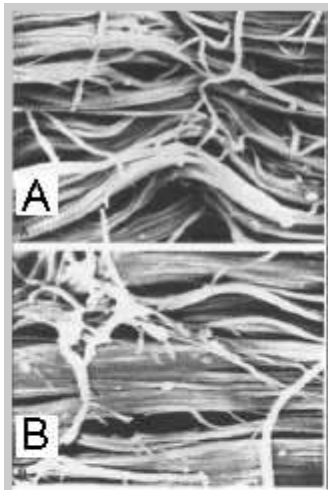


Figure 10 :
Image obtenue par microscope électronique de fibre collagène d'un ligament de genou humain relâché (A) et en charge (B)(Kennedy et coll.1976)

La première est la zone de ré-agencement tissulaire (jusqu'au repère 1) où les fibres de collagènes passe d'un état "désordonné" à un autre où les fibres sont plus ou moins parallèles (ordonnées). Ceci est illustré par la figure 2, montrant des fibres de collagène de ligament du genou d'un homme au repos (A) et en charge (B).

La seconde (entre les repères 1 et 2) est la zone de déformation élastique où le tissu revient à son état initial dès que le stress s'arrête. C'est la zone de fonctionnement physiologique. Généralement, les sollicitations liées à la pratique sportive ne dépasse jamais la valeur maximale mesurée à l'indice 2. Par exemple, Fung (1981) a rapporté des valeurs de 2 à 5% de cette limite maximale d'élasticité pour les tendons et les ligaments lors d'exercices de course et de saut.

La troisième est la zone de déformation plastique (entre les repères 2 et 3) où la charge entraîne une réorganisation moléculaire et un affaiblissement tissulaire. Si l'intrusion dans cette zone n'est que passagère, le tissu se reconstruit et devient plus fort qu'avant pour faire face à une future contrainte qui pourrait provoquer les micro-lésions que l'on observe dans cette phase. Par contre, si le passage dans cette zone se fait de façon répétitive, les micro-fractures ne peuvent être réparées suffisamment vite et le tissu se désagrège, s'affaiblit (le taux de régénération tissulaire est inférieur au taux de dégradation tissulaire).

La quatrième est la zone de surcharge (entre les repères 3 et 4) qui se caractérise par des difficultés à la cicatrisation si le stress continu à être appliqué sans ménager des phases de repos suffisamment longue pour qu'il puisse se réparer. Elle se termine par le point de rupture du tissu lorsque le stress dépasse ses capacités de résistance mécaniques.

Mécanique des biomatériaux. Certains de ces conseils vont vraisemblablement aller à l'encontre des habitudes certains entraîneurs. Pourtant ce sont ceux qui donnent les résultats les plus significatifs tant chez l'animal que chez l'homme.

4) Les réflexes

Les réflexes, sont l'expression la plus simple de l'activité nerveuse. Ils représentent la réponse automatique et prévisible de l'organisme à une excitation externe donnée. Pour fonctionner, l'arc réflexe (figure 9) doit disposer d'un récepteur spécifique (1), d'un neurone sensitif (2) qui va conduire l'information du récepteur jusqu'à la substance grise de la moelle épinière, d'un centre d'intégration (3) (cela peut être une synapse), d'un neurone moteur (4) pour conduire la réponse du centre nerveux vers la partie du corps qui doit réagir, d'un effecteur (5) (muscle ou glande).

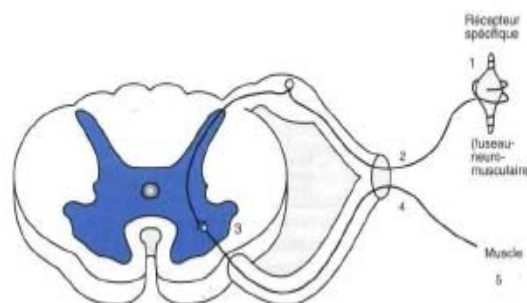


Figure 11. Fonctionnement de l'arc réflexe

L'étirement passif ou actif d'un muscle provoque une contraction réflexe de celui-ci qui a pour objectif de rendre au muscle sa longueur initiale. C'est le réflexe myotatique qui trouve son origine dans les fibres musculaires sensibles, autour desquelles s'enroule le neurone sensitif (2) transporteur des informations vers la moelle épinière. Cette fibre, appelée fuseau neuromusculaire (figure 9), est positionnée en parallèle avec les fibres musculaires striées, responsables de la contraction musculaire.

Ils permettent d'obtenir deux types d'informations concernant la longueur du muscle :

- Sur son amplitude de variation,
- Sur sa vitesse de variation.

Sur le plan physiologique, cette boucle myotatique permet d'ajuster la longueur des muscles agonistes et antagonistes. Elle contribue à la conservation des angles articulaires. Le réflexe myotatique, (Arc réflexe simple « Keidel, 1973 », ou réflexe d'étirement) met en jeu les fuseaux neuromusculaires et provoque la contraction d'un muscle lorsque ce dernier est étiré subitement. Le réflexe d'étirement est un arc réflexe monosynaptique (une seule synapse reliant deux neurones) et ipsilatéral (la stimulation et la réponse s'effectuent du même côté). Ce réflexe est constitué par la contraction d'un muscle lorsque ce dernier est étiré subitement.

Cette double innervation agoniste / antagoniste permet de diminuer la tension lorsque celle-ci est trop importante sur un muscle. On observe alors une décontraction réflexe du muscle agoniste. Ces ajustements de longueur protègent les os et les tissus conjonctifs de tensions excessives qu'ils ne pourraient supporter, contre un étirement abusif de ses structures qui pourrait entraîner des lésions.

4-1) La Physiologie du réflexe d'étirement.

Le réflexe d'étirement provoque la contraction d'un muscle effecteur lorsque ce dernier est étiré subitement. L'étirement léger d'un muscle stimule les récepteurs, appelés FNM, situés dans ce dernier. Ces FNM surveillent les changements qui se produisent dans la longueur du muscle.

En réaction à un étirement, un FNM produit un ou plusieurs influx nerveux qui sont propagés le long d'un neurone sensitif somatique par l'intermédiaire de la racine postérieure du nerf rachidien jusqu'à la moelle épinière. Le neurone sensitif fait une synapse excitatrice avec un neurone moteur dans la corne antérieure. Si l'excitation est assez forte, un influx se produit dans le neurone moteur et est conduit le long de son axone, qui s'étend depuis la moelle épinière jusque dans la racine antérieure. Les terminaisons axonales du neurone moteur forment des jonctions neuromusculaires avec des fibres musculaires squelettiques typiques du même muscle qui contient le FNM activé. Lorsque l'influx atteint le muscle étiré, un potentiel d'action musculaire est généré et le muscle se contracte. Ainsi, l'étirement du muscle est suivi d'une contraction qui raccourcit le muscle déjà étiré. En plus des neurones moteurs qui innervent les fibres musculaires habituelles, il existe des neurones moteurs de diamètre moindre qui innervent de plus petites fibres musculaires spécialisées, situées dans les fuseaux neuromusculaires eux-mêmes. L'encéphale peut régler la sensibilité du fuseau musculaire par le truchement de voies nerveuses qui mènent à ces neurones moteurs plus petits. Ce processus permet au fuseau neuromusculaire de signaler une vaste gamme de longueurs de muscle pendant les contractions réflexes et volontaires. De plus, en rajustant la vigueur de la réaction d'un fuseau neuromusculaire face à un étirement, l'encéphale peut fixer un niveau global de **tonus musculaire**, soit l'état de légère contraction présente dans le muscle au repos. Dans l'arc réflexe qui vient juste d'être décrit, l'influx nerveux sensoriel pénètre dans la moelle épinière du même côté où l'influx nerveux moteur la quitte. Cette disposition est appelée un

arc réflexe ipsilatéral (homolatéral). Tous les arcs réflexes monosynaptiques sont ipsilatéraux. En plus de maintenir un tonus musculaire approprié, le réflexe d'étirement rajuste le fonctionnement musculaire pendant l'exercice physique. Puisque le stimulus du réflexe est l'étirement musculaire, ce réflexe aide aussi à prévenir les blessures en s'opposant à l'étirement exagéré des muscles. De plus, il sert de base à plusieurs tests effectués pendant des examens neurologiques (p. 404). L'un de ces réflexes est le **réflexe rotulien** qui provoque l'extension de la jambe si l'on percute le ligament rotulien. Cette action étire les fibres musculaires dans le quadriceps fémoral, ce qui stimule les récepteurs (fuseaux neuromusculaires) situés dans ce muscle. Les influx nerveux sensoriels provenant des récepteurs aboutissent dans la moelle épinière. Les influx nerveux moteurs qui en proviennent génèrent des potentiels d'action musculaires qui provoquent la contraction du quadriceps fémoral et l'extension de la jambe au niveau du genou.

Bien que la voie nerveuse du réflexe d'étirement est monosynaptique (seulement deux neurones et une synapse), un arc réflexe polysynaptique au muscle antagoniste fait cependant intervenir trois neurones et deux synapses. Une collatérale (branche) de l'axone du neurone sensitif du fuseau neuromusculaire fait aussi synapse avec un neurone d'association inhibiteur dans le centre d'intégration. À son tour, ce dernier neurone fait synapse avec un neurone moteur qui excite normalement les muscles antagonistes et inhibe ce dernier (figure 13.7). Ainsi, quand le muscle étiré se contracte pendant un réflexe d'étirement, les muscles antagonistes qui s'opposent à la contraction se détendent.

Ce type de circuit neural, qui provoque simultanément la contraction d'un muscle et le relâchement de l'antagoniste de celui-ci, est appelé **innervation réciproque**. Il empêche les conflits entre les muscles agonistes et antagonistes, et est essentiel à la coordination des mouvements corporels. Nous avons vu, au chapitre 11, que les muscles squelettiques agissent en groupes plutôt que seuls. Chaque muscle du groupe (agoniste, antagoniste, synergique et fixateur) joue un rôle spécifique dans la production d'un mouvement particulier.

Les collatérales de l'axone du neurone sensitif du fuseau neuromusculaire relayent aussi les influx nerveux à l'encéphale le long de voies nerveuses ascendantes spécifiques. De cette façon, l'encéphale reçoit de l'information - sur l'état d'étirement ou de contraction des muscles squelettiques - qui lui permet de coordonner les mouvements musculaires et la posture. Les influx nerveux qui passent à l'encéphale permettent aussi de se rendre compte que le réflexe a eu lieu.

4-2) La physiologie du réflexe tendineux

Alors que le réflexe d'étirement agit comme mécanisme de rétroaction qui règle la *longueur* d'un muscle grâce à la contraction musculaire, le réflexe **tendineux** agit de la même façon sur la *tension* musculaire en provoquant le relâchement musculaire. Le réflexe tendineux a pour tâche de protéger les tendons et leurs muscles associés contre une tension excessive. Les récepteurs destinés à ce réflexe sont les **organes tendineux de Golgi** (figure 15.3b). Ces derniers se trouvent dans le tendon, près de la jonction avec un muscle. Alors que les fuseaux neuromusculaires sont sensibles aux changements de longueur du muscle, les organes tendineux décèlent les modifications de tension musculaire dues à l'étirement passif ou à la contraction musculaire, et réagissent à celles-ci.

Lorsqu'une tension supplémentaire est appliquée à un tendon, l'organe tendineux de Golgi est stimulé (dépolarisé jusqu'au seuil d'excitation). Des influx nerveux sont générés et se propagent vers la moelle épinière le long d'un neurone sensitif (figure 13.8). À l'intérieur de la moelle épinière, le neurone sensitif fait synapse avec un neurone d'association inhibiteur qui, à son tour, fait synapse avec un neurone moteur qui innerve le muscle associé à l'organe tendineux de Golgi et inhibe (hyperpolarise) ce dernier neurone. Ainsi, à mesure que croît la tension sur l'organe tendineux de Golgi, la fréquence des influx inhibiteurs augmente, et l'inhibition des neurones moteurs du muscle, cause de tension excessive, provoque le

relâchement du muscle. De cette façon, le réflexe tendineux protège le tendon et le muscle contre les blessures imputables à une tension excessive.

Le neurone sensitif de l'organe tendineux de Golgi fait également synapse avec un neurone d'association excitateur dans la moelle épinière. Ce dernier, à son tour, fait synapse avec les neurones moteurs qui régissent les muscles antagonistes. Ainsi, le réflexe tendineux provoque non seulement le relâchement du muscle lié à l'organe tendineux de Golgi, mais aussi la contraction des muscles antagonistes. Il s'agit d'un autre exemple d'innervation réciproque.

Le neurone sensitif relaye aussi les influx nerveux à l'encéphale, à l'aide de voies sensorielles et informe ainsi l'encéphale sur l'état de tension musculaire dans tous les muscles du corps. (1)

5) LES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

Lorsque le corps produit de l'énergie, celle-ci peut provenir de différentes sources :

L'énergie électrique

L'énergie chimique

L'énergie mécanique

L'énergie thermique

On pourrait aborder davantage ce sujet complexe mais pour l'utilité de ce volet, il soulignera seulement les renseignements suivants : les cellules utilisent l'adénosine triphosphate (ATP), comme principale source d'énergie, pour produire de l'énergie électrique, chimique, thermique et mécanique. L'ATP est une molécule composée de trois phosphates. Quand les liens entre les trois phosphates se brisent, de l'énergie est libérée et peut être utilisée.

Ce premier système énergétique est très puissant car il produit de l'énergie très rapidement. Cependant, les réserves d'ATP sont plus ou moins faibles; on estime qu'elles peuvent soutenir un effort intense pendant 2 à 4 secondes.

À l'effort maximal, il y a un déploiement partiel de l'ATP, partiel, car les autres filières énergétiques peuvent être utilisées pour produire de l'ATP. Pendant la période de récupération, la moitié des pertes d'ATP est régénérée en 1 à 3 minutes et les réserves sont complètement refaites en dedans de 15 minutes. Il est intéressant de relever qu'à un effort sous-maximal (c'est-à-dire 75% et moins du VO₂ max) les réserves d'ATP sont complètement renouvelées en 3 minutes ou moins.

Étant donné que l'ATP est la seule source d'énergie directe de la contraction musculaire et que les réserves de cette essence sont limitées, pour poursuivre un effort, il faut resynthétiser de l'ATP. L'énergie nécessaire à la reconstruction synthèse de l'ATP provient de plusieurs filières énergétiques

a) Filière anaérobie alactique (sans oxygène et sans production d'acide lactique)

Cette première filière énergétique est aussi un système très puissant car elle permet d'obtenir une source immédiate d'énergie en resynthétisant de l'ATP très rapidement. Tout comme l'ATP, la filière anaérobie alactique utilise une autre molécule riche en phosphate : la créatine phosphate (CP). La CP est considérée comme étant le réservoir principal au maintien des concentrations en ATP à l'exercice.

Les réserves de créatine phosphate sont faibles, cependant, les spécialistes considèrent que celle-ci est trois fois la quantité des réserves d'ATP. Donc, pour effectuer un effort intense avec cette filière, un individu dispose de 6 à 12 secondes d'action.

b) Filière anaérobie lactique (sans oxygène avec production d'acide lactique)

Dans cette deuxième filière, lorsque les réserves de CP diminuent, les cellules commencent à dégrader le glycogène musculaire pour produire de l'ATP. On nommera ce processus glycolyse anaérobie.

¹ PRINCIPES D'ANATOMIE ET DE PHYSIOLOGIE TORTORA ET GRABOWSKI –
De Boeck Université (pp. 399, 400).

Tout comme la filière précédente, celle-ci est relativement puissante et rapide, mais sa capacité est potentiellement réduite. Le processus de la glycolyse anaérobie permet au muscle de continuer un certain effort, mais seulement dans l'optique d'une courte période. Cette autre réserve énergétique peut compenser pour un effort relativement intense de 2 à 3 minutes. La clause qui limite le processus de glycolyse anaérobie est l'accumulation d'acide lactique dans le muscle et le sang. Cette acidification est une des causes majeures de la fatigue à l'effort. Dans la possibilité où l'on inclut un apport de glucides dans la période de récupération de cette filière, le système en cause peut se régénérer dans un délai de plus ou moins deux à trois heures.

c) Filière aérobie (avec oxygène)

Cette troisième filière a la possibilité de produire de l'énergie à long terme. Pour être en mesure de produire cette énergie, cette filière se sert du glycogène (qui est converti en glucose), du glucose sanguin et des acides gras.

Donc, pour obtenir de l'énergie, ces molécules sont dégradées de manière à transférer l'énergie produite dans un milieu où l'ATP peut être renouvelée, c'est-à-dire dans la mitochondrie (celle-ci peut être considérée comme étant la fabrique de production énergétique de la cellule musculaire).

L'utilisation aérobie du glycogène est beaucoup plus productive en terme d'ATP, car elle en produit 13 fois plus que son utilisation anaérobie. Cependant, la puissance et la rapidité de production générée par celle-ci sont beaucoup plus faibles.

Concernant les acides gras, les lipides peuvent être oxydés. Par contre, ils doivent avant tout être mobilisés et ce

procédé se nomme la lipolyse. Les graisses sont un immense réservoir d'énergie, mais avec une puissance réduite.

LES PRINCIPES DE L'ENTRAÎNEMENT

L'entraînement en système anaérobie

- Travail par intervalles courts
- Bonne charge de travail demandé
- Appliqué pour les entraînements en :
 - Force maximale
 - Puissance maximale
 - Vitesse maximale
- Tout mouvement d'une durée maximale de 60 secondes
- Puissance anaérobie maximale
- La puissance anaérobie maximale représente la quantité d'énergie totale qui peut être transformée en absence d'oxygène, durant un exercice, par unité de temps.

Le principe du travail en vitesse

- Par vitesse, on peut sous-entendre deux données indépendantes :
 - La vitesse de réaction à un signal (temps de réaction), qui concerne le domaine de l'acuité neuromusculaire.
 - La vitesse maximale d'une action, qui correspond à la capacité de produire une fréquence gestuelle élevée

pour atteindre une vitesse maximale.

Développement de la vitesse musculaire

- L'acquisition de la vitesse maximale se réalise en deux phases

- Phase d'élévation de la vitesse : c'est la capacité d'un athlète de vaincre l'inertie, à accélérer et de considérer

le rapport poids puissance dans son action.

- Phase de conservation de la vitesse : c'est de réussir à faire un compromis entre la gestuelle qu'implique

l'action et la fréquence de celle-ci.

- Les types d'athlètes

- Certains sont très rapides en action, mais n'ont pas de grande vitesse maximale.

- Certains sont longs à trouver leur vitesse idéale

- Les meilleurs athlètes sont ceux qui sont capables d'adapter constamment leurs mouvements aux besoins

sans changement marqué dans la qualité de leurs mouvements.

- Améliorer la vitesse

- Répétition d'exercices très courts, mais d'intensité très forte.

6-Le tonus musculaire (1)

Le tonus représente l'état permanent d'activité fondamentale des muscles.

La régulation du tonus dépend de différents centres nerveux (cervelet, cortex, mésencéphale)

Selon la pathologie rencontrée, Il peut être perturbé, il est alors soit diminué, soit augmenté, ou encore variable selon les cas.

On évalue la diminution ou l'augmentation du tonus par la diminution ou l'augmentation de la résistance lors de la mobilisation passive d'un segment de membre.

Tonus pathologique :

L'absence de tonus s'appelle la flaccidité.

La diminution du tonus s'appelle l'hypotonie et elle correspond à une diminution de la résistance à la mobilisation passive d'un segment.

L'augmentation du tonus s'appelle l'hypertonie et correspond à une augmentation de la résistance lors de la mobilisation passive.

L'hypertonie peut se présenter sous deux formes

- L'hypertonie plastique ou rigidité

- L'hypertonie élastique ou spasticité

Le tonus variable correspond à l'ataxie, l'athétose chorée.

¹ Xhardez, Y. VADE-MECUM de KINESITHERAPIE, Ed. Maloine Cours de neurologie et de pédiatrie de l'Ecole de Physiotherapeutes de Genève

a) L'hypotonie

o Un patient peut être atteint d'hypotonie de manière généralisée (ex : lésion médullaire lombaire ou sacrée) ou son hypotonie peut être combinée à de la spasticité (hypertonie sur certains muscles, hypotonie sur d'autres)

b) La rigidité :

se rencontre lors d'une atteinte du système extrapyramidal (ex : Parkinson). prédomine sur les muscles fléchisseurs et sur les muscles du tronc et de la région scapulaire.

- peut être modifiée selon l'atmosphère dans laquelle se trouve le patient et selon son état personnel (stress, fatigue, émotion, température ambiante).
- le muscle rigide présente une résistance tout au long du mouvement et donne, lors de la mobilisation, une Impression de saccade (roue dentée)

c) La spasticité

-se rencontre lors d'une atteinte du système pyramidal (lésion cérébrale ou spinale)
-est généralement prédominante sur les muscles anti gravifiques : fléchisseurs pour le membre supérieur, extenseurs pour le membre inférieur
-contrairement au muscle rigide. le muscle spastique présente une résistance importante dans ne certaine amplitude qui diminue lorsque l'on atteint les autres amplitudes (lame de canif) la spasticité peut augmenter selon l'état général du patient (fatigue, stress, émotion), mais aussi selon certaines conditions externes (température ambiante, infection,...)

Il existe des signes associés à la spasticité :

- réflexes ostéo-tendineux augmentés
- Babinski
- éventuellement syncinésies (-réactions associées)
- clonus (étirement d'une articulation qui provoque des contractions répétées et non volontaires, p.ex. : lors d'un étirement en flexion dorsale de la cheville)
- parésie musculaire et diminution de la coordination

la spasticité : peut par conséquent diminuer l'amplitude articulaire et provoquer des douleurs et des contractures musculaires (déséquilibre musculaire entre les muscles agonistes et antagonistes d'une articulation, tensions musculo-tendineuses importantes et risques de rétractions musculaires -> contractures).

d) Le tonus variable ou mixte

- chez un même patient le tonus peut être variable (fluctuation entre hypo et hypertonie ou entre hypotonie et tonus normal)

L'athétose ou chorée :

Se rencontre chez les enfants IMC par exemple, ou chez les adultes atteints de la Chorée de Huntington (très rare).

Le tonus est alors fluctuant, il varie entre l'hypotonie et hypertonie. Les changements de tonus sont involontaires et imprévus et ils provoquent alors des mouvements involontaires. souvent de grande amplitude et sans contrôle. Le patient a de la difficulté à maintenir une posture, est instable.

On essaye alors de stabiliser le tonus, d'aider au contrôle et à l'organisation du mouvement, de faciliter l'équilibre et la coordination. On possède différents moyens tels que la coaptation, la mise en charge et la facilitation des réactions automatiques et d'équilibre.

Le traitement est souvent difficile. Parce qu'il faut apporter de la stabilité au patient. tout en lui donnant la possibilité de se mouvoir.

L'ataxie

Se rencontre chez les enfants IMC, ou chez les patients avec atteintes du cervelet, par exemple.

Le tonus varie entre l'hypotonie et un tonus normal. L'enfant a alors des problèmes de coordination et d'équilibre. Il aura aussi des mouvements involontaires (mais moins marqués que chez l'athétosique), l'enfant est lent.

On essaye alors à nouveau de régulariser le tonus et de faciliter les réactions automatiques.

e) Les tremblements :

Un tonus perturbé peut aussi provoquer des tremblements.

On trouve cela notamment chez les patients parkinsoniens ou chez les patients cérébelleux

Le traitement physiothérapeutique vise alors à aider la précision et la coordination des mouvements par la régulation du tonus, la charge, les techniques de stabilisation.

CHAPITRE III

Effets des étirements sur les performances sportives d'après la littérature

1- Effets du travail en stretching

2- Principes et règles à respecter dans les techniques de stretching

3- Données récentes relatives à l'utilisation des étirements dans la pratique sportive

4- Effets des étirements avant et après la performance

Introduction :

Les effets musculaires sont bien connus. L'allongement et la mobilisation des fibres, le développement des sarcomères (effet contesté), vont contribuer à développer la souplesse et l'amplitude du geste. Au niveau des membranes tissulaires, les plans de glissements tissulaires seront plus fluides. Les articulations sont également concernées avec une libération des tensions accumulées lors de l'effort, une restitution de la souplesse des membranes articulaires. L'amélioration du drainage vasculaire facilite l'épuration des déchets musculaires, et augmente la pré charge cardiaque (retour sanguin) par le rythme respiratoire associé. L'impact hormonal est directement palpable avec une sensation de bien être, favorisée par la libération des endorphines naturelles. La relaxation n'est pas seulement physique, mais aussi et avant tout psychologique.

1) Effets du travail en stretching**a) Effets anatomo-physiologiques**

. Retrouver les facultés d'origine: mobilité, souplesse, coordination, tonicité corporelle, apprendre à connaître son corps, à l'accepter et à le détendre, favoriser l'organisme à se débarrasser des déchets du métabolisme.

. Combattre les problèmes psychomoteurs: les contractions instinctives dues au stress et qui se prolongent dans le sommeil.

Calmer les conséquences des larmes émotionnelles: angoisse, peur.

. Calmer les douleurs chroniques (articulation raide ou ankylosée). La souplesse tend à réharmoniser, à laisser libre la circulation de l'énergie, à régénérer notre énergie.

. Amélioration des capacités sensitives des systèmes neuromusculaires dans le cadre de la préparation sportive.

b) Effets psychologique du stretching

Voilà qui est moins évident à admettre, et nécessite une certaine ouverture d'esprit ! C'est dans ce domaine que les étirements actifs prennent toute leur importance. Les contractions des muscles agonistes et antagonistes associées aux étirements doivent vous imposer une certaine concentration sur votre posture, et vous amener quelques questions : Quel niveau de contraction dois-je imposer pour maintenir ma position ?

Dans quelle position, quelle orientation se trouve mes segments de membres ? Quels muscles me maintiennent en équilibre ? Pour une posture donnée, vous imposez à votre appareil

locomoteur différentes forces (contractions relâchement). Essayez donc à saisir ce que votre corps vous renvoie comme information ?

Cette compréhension des postures, cette perception du degré d'allongement et de contraction (agoniste/antagonistes), ainsi que la prise de conscience de chaque muscle sollicité, vont-ils permettre d'intégrer votre schéma corporel. Le principal bénéfice que vous allez en tirer, sera une meilleure coordination motrice, c'est-à-dire une meilleure coordination et répartition des charges entre les différents groupes musculaires, un geste sportif plus efficace, plus puissant, plus rapide, ou plus précis. Le principal obstacle de cette technique, repose sur l'effort de concentration qui est loin d'être négligeable. Ces étirements ne peuvent s'effectuer « à la légère » et nécessitent de s'isoler dans une ambiance calme, pas toujours facile à obtenir aux entraînements.

2) Principes et règles à respecter dans les techniques de stretching ⁽¹⁾

Compte tenu des observations que nous avons faites jusqu'à présent au niveau anatomique, mécanique, neurophysiologique et psychologique, il est possible de donner quelques règles simples pour gérer les étirements et les assouplissements.

Il faut d'abord préciser la différence qui peut exister entre assouplissement et étirements afin que chacun puisse utiliser le même langage.

- Les assouplissements sont une méthode d'entraînement permettant de gagner en souplesse, visant ainsi l'augmentation de l'amplitude articulaire.
- Les étirements quant à eux sont utilisés avant le corps de la séance afin d'optimiser le geste sportif ou alors directement à la fin de la séance dans un but de prévention des courbatures et/ou des blessures, visant ainsi l'allongement des muscles.

2-1) Règles pour les étirements

La raideur passive du muscle varie avec l'activité physique Cette raideur correspond à la force de résistance générée par un muscle en opposition à son allongement. La raideur est plus marquée avant et après l'activité physique (Hagbarth et coll., 1985⁽²⁾ ; Lakie et Robson, 1988b ⁽³⁾; Proske et coll., 1983⁽¹⁾ ; Wiegner, 1987⁽²⁾). Elle peut être éliminée par des

¹ Alexandre Dellal, 2008, Ed de Boeck université, « de l'entraînement à la performance en football ». 2008,p,96-101

² Hagbarth KE, Hagglund JV, Nordin M, Wallim EU. Thixotropic behavior of human finger flexor muscles with accompanying changes in spindle and reflex responses to stretch. J.physio. 1985, 368: 323-342

³ Lakie M et Robson L (b). Thixotropy: The effects of stretch size in relaxed frog muscle. Q. J. exp. physiol. 1988, 73: 127-129

mouvements passifs (étirements) ou actifs (contraction musculaire), de grande amplitude, mais jamais par des contractions isométriques puisque durant celles-ci les glissements entre les protéines contractiles sont quasi inexistantes (Lakie et Robson, 1988a⁽³⁾ ; Wiktorson-Möller et coll., 1983)⁽⁴⁾. Cet effet, appelé thixotropie, est bien connu des chimistes. Il permet d'assimiler le comportement musculaire à celui d'un gel qui se liquéfie lorsqu'on le brasse (pensez à une célèbre sauce tomate qu'on rend plus fluide en secouant son contenant). L'action de la composante élastique du muscle contribue elle aussi à la raideur passive musculaire. On limitera, ou mieux, évitera de ne faire que des étirements au cours de l'échauffement ou juste avant le début d'une compétition. La cible privilégiée des étirements est la raideur musculaire... pour autant, on ne cherchera pas un gain maximal comme dans les assouplissements. Elle varie en fonction des circonstances puisque cette raideur peut être soit active (quantifiée par l'habilité transitoire du muscle contracter à se déformer pour amortir la contrainte subitement imposée), soit passive (quantifiée à l'aide de l'angle maximal que l'on peut mesurer au niveau d'une articulation).

Dans le premier cas, elle résulte généralement de l'action des composantes contractile (ponts d'actine-myosine) et élastique en série (aponévroses et tendons). Dans le second, c'est surtout la composante élastique parallèle (squelette cellulaire de la fibre musculaire notamment) qui est en cause.

Pour la diminuer, on peut faire appel à différentes méthodes dont certaines relèvent simplement de la mobilisation ou de la mise en tension passive du muscle, alors que d'autres nécessitent de faire appel aux réflexes exposés dans la partie théorique. Par contre, il peut être intéressant de vouloir augmenter (ou conserver) la raideur musculaire dans le but d'accroître la rapidité de transmission de la force musculaire aux pièces osseuses et, par la même occasion, de rendre les muscles plus prompts à la réaction ou moins sensibles aux perturbations. Cela leur permet de réagir plus aisément pour le contrôle postural ou l'efficacité des mouvements rapides par exemple. En effet, il a été démontré que la production de force et puissance augmentait de façon inversement proportionnelle à la raideur musculaire (Wilson et

¹ Proske V, Morgan DL, Gregory JE. Thixotropy in skeletal muscle spindles: A review. *Prog. Neurobiol.* 1983, 41: 705-721

² Wiegner AW. Mechanisms of thixotropic behavior at related joints in the rat. *J. Appl. Physiol.* 1987, 62: 1615-1621

³ Lakie M et Robson L (a). Thixotropic changes in human muscle stiffness and the effects of fatigue. *Q. J. Exp. Physiol.* 1988, 73 : 487-500

⁴ Wiktorson-Möller M and al. Effect of warming up, massage and stretching on range of motion and muscle strength in the lower extremity. *Am. J. Sports. Med.* 1983, 11 :249-252

coll., 1991)⁽¹⁾. Ainsi, l'augmentation de raideur liée l'entraînement pourrait améliorer la restitution de l'énergie élastique stockée dans le tendon lors d'un cycle étirement-détente et, par là même, la performance liée à ce mécanisme. De même, l'augmentation de souplesse diminuerait à *long terme* la raideur active et améliorerait ainsi la performance du cycle étirement détente (Wilson et coll., 1992, 1994).⁽²⁾

Néanmoins, les techniques d'étirement exposées ci-dessous sont tellement efficaces qu'elles induisent immédiatement des baisses de performance significatives. Ceci a été démontré de façon très claire par de nombreuses études. Par conséquent, on fera en sorte de les utiliser à bon escient, c'est-à-dire à un moment où l'on est sûr qu'elles ne nuiront pas à l'efficacité du geste. Ou alors de les inclure dans un échauffement à part entière comme cela est expliqué dans la rubrique "Echauffement". Dans le doute, comme l'objectif premier des étirements est bel et bien de relâcher les muscles, il est logique de les placer dans la phase de récupération, après la séance, pour essayer de retrouver un degré de tonus musculaire quasi similaire à celui précédent la séance !

a) L'allongement du muscle L'allongement du muscle provoque une diminution réflexe de l'activité des nerfs moteurs et donc un relâchement musculaire. Tant que l'on maintient l'allongement du muscle, l'excitabilité des motoneurones est diminuée et le muscle s'allonge plus facilement. Dès que l'articulation est replacée dans sa position initiale, l'effet d'inhibition disparaît et les motoneurones retrouvent quasiment leur niveau d'excitabilité initial (Guissard et al., 1988) ⁽³⁾. D'autre part, l'intensité de l'inhibition est proportionnelle à l'intensité de l'étirement du muscle, et donc de l'angle articulaire atteint pendant le mouvement. Par exemple, dans l'étirement du mollet, un angle de flexion de 20° entraîne une diminution plus importante de l'excitabilité des motoneurones qu'un angle de 10°. Ceci est dû au fait que, en fonction de l'intensité de l'étirement, différents mécanismes nerveux de modulation de la réponse musculaire peuvent être sollicités. Il est conseillé d'aller jusqu'à l'amplitude articulaire correspondant au seuil de douleur tolérable par la personne. Cette amplitude permet de solliciter tous les mécanismes d'inhibition présents au sein du système nerveux central

¹ Wilson GJ, WOOD GA, Elliot BC. Optimal stiffness of the series elastic component in a stretch-shorten cycle activity. *J. Apply. Physiol.* 1991, 70: 825-833

² Wilson GJ, Murphy AJ, Pryor JF. Musculo-tendinous stiffness: its relationship to eccentric, isometric, and concentric performance. *J. Apply. Physiol.*, 1994, 76: 2714-2719

³ Guissard N, Duchateau J, Hainaut K. Muscle stretch and motoneuron excitability *Euro. J. Appl. Physiol* 1988, 58 :47-52

3) Données récentes relatives à l'utilisation des étirements dans la pratique sportive ⁽¹⁾**Les 3 effets reconnus des étirements**

- Chute du tonus musculaire (Hypotonisme).
- Diminution de la raideur musculaire.
- Effet analgésiant (élève le seuil de la douleur à l'étirement, donc un danger).

Que se passe-t-il lors de l'étirement ?

- Rupture des ponts résiduels entre actine et myosine
- Mise en tension de la structure conjonctive (Sarcolemme, périnysium, endomysium, aponévrose...)
- Mise en tension de la structure tendineuse
- Mise en jeu des circuits inhibiteurs diminuant l'excitabilité des motoneurones.

Les effets physiologiques des étirements sur les muscles et les tendons (ou système musculo-tendineux) peuvent se résumer à deux choses : - diminution de l'activation des motoneurones (baisse du tonus musculaire mais aussi de la possibilité d'activer les muscles) et - diminution de la raideur du complexe anatomique musculo-tendineux (plus grande facilité à allonger le muscle et les tendons et donc moins grande résistance passive à l'allongement). Ceci est clairement démontré par l'analyse des effets des techniques d'étirements sur les muscles. On peut donc en conclure que le principal objectif des étirements est de relâcher et décontracter les muscles.

Compte-tenu de ces effets, l'utilisation des étirements en fin de séance est tout à fait justifiée car ils participent alors à la récupération post-exercice en diminuant les fortes tensions résiduelles liées à une séance d'entraînement difficile. Nous montrerons néanmoins que, dans certains cas, cet effet n'est pas atteint et que c'est même l'inverse qui se produit, notamment au niveau des courbatures. Mais, quelles sont les conséquences de leur utilisation au niveau de la performance sportive ? Et surtout, pourquoi s'inquiéter de ces conséquences ?

a) Raideur du système musculo-tendineux et performance

En 1994, Wilson et coll ⁽²⁾ ont émis l'hypothèse qu'une augmentation de la raideur du système musculo-tendineux permettrait, d'accélérer la **vitesse de la transmission des forces** (générées au niveau de la composante contractile et/ou stockées au niveau de la composante élastique) et **donc la vitesse de mobilisation des pièces osseuses** durant les mouvements (Figure 1).

¹ **Pascal Prévost** Sciensport© - Techniques d'amélioration de la souplesse. 2005, p : 7-17. (Pascal Prévost Docteur en physiologie et biomécanique de la performance motrice).

² Wilson GJ, Murphy AJ, Pryor JF. Musculo-tendinous stiffness: its relationship to eccentric, isometric, and concentric performance. J. Apply. Physiol., 1994, 76: 2714-2719

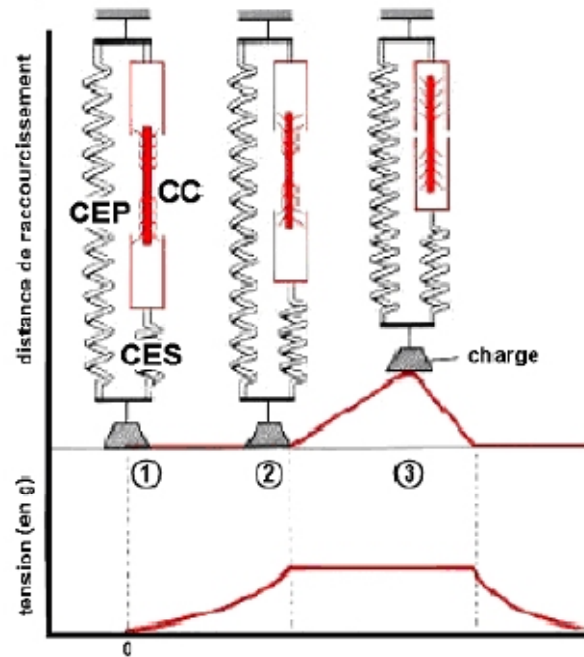


Figure 1/Application d'une force à une charge à l'aide du système musculo-tendineux (1) le système est au repos. De (1) à (2), le système est progressivement mis en tension par la composante contractile (CC) entraînant l'allongement de la partie élastique située en série (CES). Une fois atteint son seuil d'allongement maximal (2), la CC qui continue à agir sur la CES peut alors soulever la charge (3) pendant son propre raccourcissement.

On pourrait alors noter une amélioration de la performance dans les exercices qui mobilisent justement force et/ou puissance, c'est-à-dire une très grande majorité de ceux que l'on trouve dans les pratiques sportives. Ces idées trouvent leur corollaire dans les résultats d'expériences menées récemment. En effet, il existe déjà des différences mécaniques et anatomiques entre homme et femme :

a) au niveau du comportement viscoélastique du tendon lorsqu'il est soumis à un allongement passif (Kubo et coll., 2003) ⁽¹⁾ et b) au niveau de la grosseur des muscles ou l'angle de pennation (Ichinose et coll. 1998) ⁽²⁾. Ces différences pourraient être à l'origine des variations de performance du système musculo-tendineux par les différences de raideur qu'elles impliquent (par exemple, le tendon de la femme est moins raide que celui de l'homme ; par conséquent, il ne permet pas des transmissions de forces avec les pièces osseuses aussi rapides que chez les hommes, d'où les différences de puissance musculaire que l'on peut noter sur le terrain dans certains types d'exercices, notamment pliométrique). Mais, il existe également des résultats qui permettent d'illustrer cette hypothèse en montrant comment

¹ Kubo K, Hiroshi K, Fukunaga T. Gender differences in the viscoelastic properties of tendon strictures. Eur. J. Appl. Physiol. 2003, 88: 520-526

² Ichinose Y, Kanehisa H, Ito M, Kawakami Y, Fukunaga T. Morphological and functional differences in the elbow extensor muscle between highly trained male and female athletes. Eur. J. Appl. Physiol. 1998, 78: 109-114

l'entraînement peut lui aussi modifier la raideur du système musculo-tendineux et améliorer les performances (par exemple, Newton et coll., 1995 ⁽¹⁾) ou en tout cas ne pas leur nuire (par exemple, Nelson et coll. 2001d) ⁽²⁾.

Par conséquent, on peut en déduire que toute modification de la raideur du système musculo-squelettique aura des répercussions sur les performances impliquant l'utilisation de la force ou de la puissance musculaire... autant dire un très grand nombre d'entre elles !

Une question se pose alors : étant donné les effets des étirements qui ont été mis en évidence dans de nombreuses publications, est-ce que leur utilisation lors de l'échauffement ou avant une compétition est justifiée ?

Mais parce qu'elle impose des contractions musculaires qui dépassent de loin les capacités élastiques passives de nos muscles. Elles entraînent alors des microlésions de nos fibres (dès les premières contractions) et dans les jours qui suivent un oedème et les douleurs que l'on connaît bien dont le point culminant est situé 2-3 jours après la séance .

Ces micro-lésions induisent, elles aussi, une diminution de la performance musculaire puisque des séances intenses provoquent une chute de force maximale volontaire pouvant durer jusqu'à 7 jours ! Cela vient du fait que le travail musculaire (surtout excentrique) provoque des lésions du tissu conjonctif qui forme le squelette élastique de la fibre musculaire. Ce dernier permet de transmettre les forces internes générées par le tissu contractile vers les pièces osseuses mais aussi d'absorber la déformation liée à l'application d'une force extérieure sur le muscle qui lui impose un allongement malgré la tension générée par le tissu contractile.

Lund et al. (1998) ⁽³⁾ ont même observé une augmentation de la douleur subjective des courbatures lorsque les étirements étaient réalisés à l'issue de la séance et une diminution accrue de la force musculaire dans les jours qui suivaient. Ces résultats sont confirmés par une étude plus récente Gleeson et al. 2003. Ces observations vont dans le sens d'une contre-indication de la pratique systématique des étirements en fin de séance lorsque celle-ci va occasionner l'apparition de courbatures, c'est-à-dire lorsque son intensité dépasse les capacités maximales du sujet, lorsqu'il s'agit d'une période de reprise après des vacances ou une convalescence suite à une blessure, ou encore lors de l'apprentissage d'une nouvelle

¹ Newton PO, Woo SL, Mackenna DA, Akeson WH. Immobilisation of the knee joint alters the mechanical and ultrastructural properties of the rabbit anterior cruciate ligament. *L. Orthop. Res.* 1995, 13 : 191-200

² Nelson AG, Kokkonen J, Eldredj C, Cornwell A, Glickman-Weiss E. Chronic stretching and running economy. *Scand. J. Med. Sport* 2001(d), 11 : 260-265

³ Lund H, Vestergaard-Poulsen P, Kanstrup IL, Sejrsen P. Isokinetic eccentric exercise as a model to induce and reproduce pathophysiological alterations related to delayed onset muscle soreness. *Scand J Med Sci Sports.* 1998, 8(4):208-215.

technique. Étirements et courbatures touchent les mêmes structures musculaires et ont donc un effet similaire. Seuls les délais diffèrent. En dehors de ces conditions, les étirements n'auront pas d'effets négatifs sur la récupération et la performance. Bien au contraire !

b) Les étirements diminuent la force et la puissance musculaire

La première étude à avoir tenté de répondre à cette question est celle de De Vries (1963) ⁽¹⁾. Il a étudié l'effet des étirements pré-exercices sur le temps de course d'une épreuve de vitesse sur 100 m. Les résultats recueillis sur quatre sujets ont montré que les étirements n'avaient pas un impact négatif sur le temps au 100 m, exercice dans lequel la puissance musculaire joue un très grand rôle. Pourtant une autre étude publiée l'année suivante rapporta que les performances de vitesse étaient améliorées lorsqu'une séance d'étirements était incluse dans le programme d'entraînement (Dintiman, 1964) ⁽²⁾; des résultats confirmés beaucoup plus tard par d'autres études impliquant la force (Worrel et coll., 1994⁽³⁾ ; Kokkonen et Lauritzen, 1995). ⁽⁴⁾. Depuis cette étude pilote, de nombreux chercheurs se sont penchés sur la pertinence de faire des étirements préexercices, en mesurant les niveaux de production de force et/ou de puissance dans différentes conditions (isométrique, isocinétique, dynamique), mais aussi les variations de la performance elle-même.

Dans un article publié en 1998, Kokkonen et coll ⁽⁵⁾. ont demandé à leurs sujets, après avoir fait un test de souplesse, de suivre une série de 5 étirements statiques passifs des muscles de la hanche, de la cuisse et du mollet. Cette série était répétée 3 fois de suite par le sujet seul, puis 3 fois de suite avec l'assistance des expérimentateurs. Les étirements étaient maintenus durant 15 s (3 fois) avec des pauses de 15 s entre chaque. Une phase de récupération de 10 min était alors imposée avant de refaire un test de souplesse puis de réaliser un test de force (1RM) au niveau des muscles du genou. Ils notèrent une amélioration de la souplesse de 16% alors que la 1RM diminua de 7,3% en flexion et de 8,1% en extension. Fowles et coll. (2000) ^(2⁶) sont arrivés à la même conclusion. Dans leur étude, ils ont demandé à des sujets de réaliser, pendant 30 min, des étirements passifs très longs (135 s), jusqu'au seuil maximal de douleur

¹ De Vries HA. The "looseness" factor in speed and O₂ consumption of an anaerobic 100-yards dash. Res Quaterly 1963, 34 (3): 305-313

² Dintiman GB, Effects of various training programs on running speed. Res. Quaterly 1964, 35 : 456-463

³ Worrel TW, Smith TL, Winegardner J. Effect of hamstring stretching on hamstring muscle performance. J. Orthop. Phys. Ther. 1994, 20 : 154-159

⁴) Kokkonen J, Lauritzen S, Isotonic strength and endurance gains through PNF stretching. Med. Sci. Sports Exerc. 1995, 27, S 22

⁵ Kokkonen, J., Nelson, A., & Cornwell, A.. Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. Research Quarterly for Exercise and Sport, 1998, 69 : 411-415.

⁶ Fowles, J., Sale, D., & MacDougall, J.. Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. Journal of Applied Physiology, 2000, 89 (3) : 1179-88.

tolérable par le sujet, entrecoupés de pause (19 s). La contraction volontaire maximale a diminué de plus de 25 % (Figure 2).

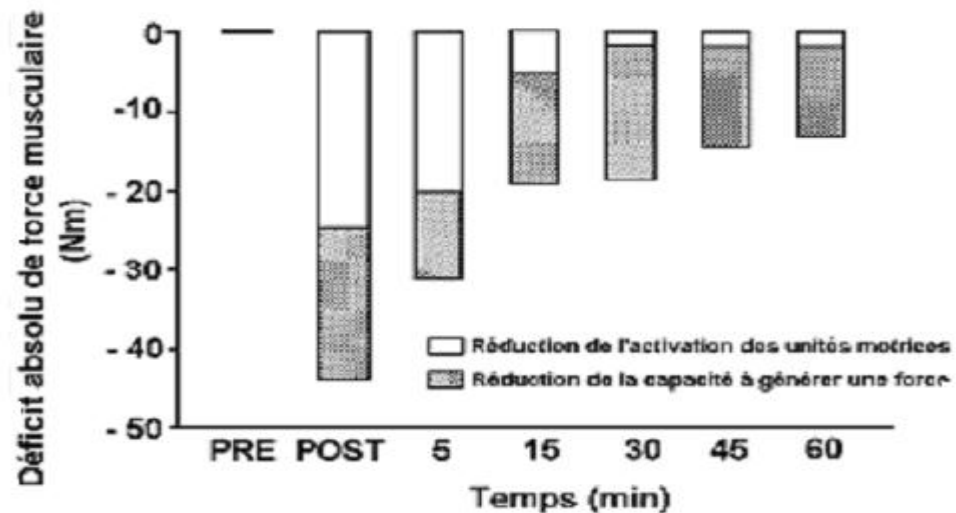


Figure 2 : Estimation des contributions de la diminution d'activation des unités motrices et de la capacité à générer une force au niveau des déficits de contraction maximale volontaire (CMV) après un étirement passif (cumul de 30 min jusqu'au seuil de douleur tolérable). La CMV diminue de façon significative par rapport à la valeur initiale (PRE). Les valeurs post-étirements restent significativement inférieures aux valeurs initiales pendant AU MOINS une heure (D'après Fowles et coll., 2000).

L'activation des unités motrices et la force contractile diminuèrent pendant les 15 minutes qui suivirent cette session. Par contre, l'effet sur la force musculaire persista une heure après la session.

Ces données indiquent que l'étirement prolongé d'un muscle diminue la force volontaire jusqu'à UNE HEURE après l'étirement, confirmant les observations de Moller et coll. (1985) ⁽¹⁾ qui ont eux aussi noté une augmentation de compliance du complexe musculo-tendineux pendant une durée de 90 minutes après une séance d'étirements. Il semble néanmoins nécessaire de faire une distinction entre les effets qui s'opèrent sur les facteurs nerveux et ceux qui touchent les facteurs mécaniques vu que les délais de récupération sont différents pour chacun d'eux.

Ainsi, la tension passive du complexe musculo-tendineux diminue suite à une séance d'étirements ; cela correspond au fait qu'il faut moins de force externe pour provoquer l'allongement d'un muscle relâché lorsqu'on veut atteindre un angle donné. Les mêmes phénomènes ont été également observés au niveau de la force maximale concentrique

¹ Moller M, Ekstrand J, Oberg B, Gillquist J. Duration of stretching effect on range of motion in lower extremities. Arch. Phys. Med. Rehabil. 1985, 66: 171-173

mesurée après une séance d'étirements de type balistiques (Nelson et Kokkonen, 2001c) ⁽¹⁾. Par conséquent, quelle que soit la technique utilisée, les effets négatifs sur la performance sont présents.

McNeal et Sand (2001) ⁽²⁾ ont fait faire à des gymnastes féminines (de niveau national) une série de 3 étirements statiques (Figure 3) classiquement utilisés sur le terrain, durant 2 x 30 s (soit un total de 3' d'étirements), le tout avant de réaliser trois sauts en contre-bas (Figure 4) à partir d'une caisse, suivi d'une impulsion (également appelé "drop-jump").

Ce type de saut rend compte de la façon dont le cycle étirement-détente est utilisé lors d'un exercice sollicitant la puissance musculaire. Les auteurs ont noté une diminution de 8% de la hauteur du saut (respectivement 0.268 m vs. 0.246 m sans vs avec étirements préalables, soit 2,2 cm de différence !) selon que l'on plaçait cette série d'étirements ou non avant ce test de puissance. Le temps passé en l'air était diminué de 9,6 % (McNeal et Sand, 2003). ⁽³⁾

Ces résultats rejoignent ceux déjà cités de Kokkonen et coll. (1998) ⁽⁴⁾, mais aussi ceux de Cornwell et coll. (2002) ⁽⁵⁾, concernant la force maximale, mais montre un effet plus important (entre 4,3 et 4,4 % pour le saut en 1/2 squat et le saut avec un contre-mouvement).



Figure 3

Saut en contrebas

terrain,

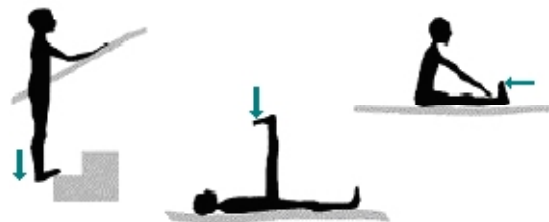


Figure 4

Série de 3 étirements statiques classiquement utilisés sur le terrain, durant 2 x 30 s (soit un total de 3' d'étirements) utilisés par McNeal et Sand (2001, 2003)

¹ Nelson AG, Kokkonen J. Acute ballistic stretching inhibits maximal strength performance. *Res. Q. Exerc.Sport.* 2001c, 72 : 415-419

² McNeal JR, Sand WA. Static stretching reduces power production. In *Gymnasts technique*, 2001, 21 : 5-6

³ McNeal JR, Sand WA, Acute static stretching reduces lower extremity power in trained children. *Pediatr. Exerc. Sci.* 2003, 15 : 139-145

⁴ 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

⁵ 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

4) Effets des étirements avant et après la performance ⁽¹⁾**4-1) Stretching et échauffement pour une performance sportive :**

Quel intérêt présente l'introduction des étirements au cours de la préparation à la compétition ? Les partisans des étirements affirment que le stretching (étirements précédés 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.

4-1-1) 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 Mastérovoï (1964)⁽²⁾ 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) ⁽³⁾ auteur d'un ouvrage remarquable «Science of flexibility », émontre 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 là encore choisir la contraction isométrique ne semble pas le meilleur moyen pour simuler une pompe. Il semble plus simple de proposer le protocole de Mastérovoï. Wiemann et Klee (2000)⁽⁴⁾ insistent sur l'inefficacité du stretching sur l'élévation de la température musculaire. En conclusion les étirements ne permettent pas un échauffement musculaire correct.

4-1-2) Stretching et performance :

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

¹ Cometti Gilles. « les limites du stretching pour la performance sportive ».partie 1 : intérêt des étirements avant et après la performance, 2004 .

² Masterovoï Liev, la mise en train : son action contre les accidents musculaires. Liegkaya Atletika (URSS), N° 9 septembre 1964. Document INS N°560, traducteur M. Spivak.

³ Alter M. J., Science of flexibility, Champaign, 1996

⁴ Wiemann K., Klee A., Die Bedeutung von Dehnen und Stretching in der Aufwärmphase vor Höchstleistungen. de Leistungssport, 4, 2000, 5-9,

a) 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).

b) Stretching et force :

Une étude de Fowles et coll. (2000)⁽¹⁾ portant sur les fléchisseurs plantaires montre que l'étirement prolongé d'un groupe musculaire diminue l'activation (EMG) et la force contractile du groupe étiré. 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) ⁽²⁾expérimente l'effet de l'introduction de 2 protocoles de stretching dans l'échauffement 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)⁽³⁾ 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.

c) Stretching et « endurance de force » : Kokkonen et coll.(2001) ⁽⁴⁾ montrent qu'un excès d'étirements peut réduire la capacité d'endurance de force. Des étirements placés avant un test de répétitions maximales des ischiojambiers réduisent significativement le nombre de mouvements enchaînés. Les auteurs en déduisent qu'il n'est pas conseillé d'introduire des étirements dans la préparation d'épreuves « d'endurance de force » (aviron, canoé-kayak...).

¹ 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

² 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

³ Nelson, A., & Kokkonen, J. 2001. Acute ballistic muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72, 415-19.

⁴ 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.

d) Stretching et qualité de saut (détente) : Henning et Podzielnny (1994) ⁽¹⁾ avaient déjà démontré une perte de performance en détente 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) ⁽²⁾ montrent une légère baisse de résultats dans des sauts verticaux à la suite d'un échauffement avec étirements.

Church et coll. (2001) ⁽³⁾ 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 déconseillent 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 enchaînées). Ils montrent une baisse significative de la performance en CMJ, sans toutefois démontrer une baisse de la raideur musculaire ou de l'activation (EMG).

4-1-3) 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 « étirement »). Aucune différence significative n'apparaît entre les 2 groupes sur 214 blessures constatées sur les aspects musculo-tendineux. La deuxième étude (2000) porte

¹ Henning E., Podzielnny S., Die Auswirkung von dehn – und Aufwärmübungen auf die Vertikalsprungleistung, Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 45, 1994, 253-260

² 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

³ Church et coll. (2001) 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

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)⁽¹⁾ 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) ⁽²⁾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 ?

a) 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⁽³⁾, Henricson et coll. 1984⁽⁴⁾) 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.

¹ Van Mechelen W, Holbil H, Kemper HC, Voorn W-J, De Jongh HR. Prevention of running injuries by warm-up, cool-down and stretching exercises. *Am. J. Sport Med.* 1993, 21 (5): 7-11

² Lally, D. A. (1994). Stretching and injury in distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(5), Supplement abstract 473.

³ 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

⁴ 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

b) les microtraumatismes dus aux étirements :

Wiemann et Klee (2000)⁽¹⁾ 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 2e partie, sont donc sollicitées et risquent de subir des microtraumatismes défavorables au bon déroulement de la performance qui va suivre. Wiemann et al. (1995) ⁽²⁾ 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⁽³⁾ ; Friden, Lieber 1992⁽⁴⁾).

c) 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 étirés ne seront pas prêts au blocage violent de la cuisse lors de la course. Certains auteurs évoquent un rôle « décoordinateur » des étirements.

d) 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)⁽⁵⁾ 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

¹ Wiemann K., Klee A., Die Bedeutung von Dehnen und Stretching in der Aufwärmphase vor Höchstleistungen. de Leistungssport, 4, 2000, 5-9,

² Wiemann K., Kamphövner M., Verhindert statisches Dehnen das Auftreten von Muskelkater nach exentrischem Training?, Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 46, 1995, 411-421

³ Evans W. J., Cannon J. G., The metabolic effect of exercise-induced muscle damage, Exercise and sport science reviews, 1987, 99-125

⁴ Friden J., Lieber R. L., Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury, Med. Sci. Sports. Exerc., 24, 1992, 5, 521-530

⁵ Wydra G., Stretching – ein Überblick über den aktuellen Stand der Forschung, Sportwissenschaft, 27, 1997, 4, 409-427

allongement, celui-ci s'accompagne toutefois (Ullrich, Gollhofer 1994¹), 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. Au vu 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-détente.

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.

4-1-4) 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.
- les techniques dites PNF (Contract –Relax, et Contract-Relax –Agonist-Contraction) sont particulièrement à éviter dans la phase d'échauffement.
- les exercices de vascularisation (contractions dynamiques (et non isométriques) contrerésistance) 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'a 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.

4-2) 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

¹ Ullrich K., Gollhofer A., Physiologische Aspekte und Effektivität unterschiedlicher Dehnmethode, Sportmedizin, 45, 1994, 336-345.

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

- une augmentation de la circulation sanguine dans les muscles étirés 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) ⁽¹⁾ les étirements 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) ⁽²⁾ testent l'efficacité des trois méthodes de stretching sur la récupération du quadriceps. Ils constatent que les étirements statiques longs et les étirements dans la technique après contraction isométrique ne favorisent pas la récupération (les étirements statiques ont même un effet négatif). Seuls les étirements 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 Masterovi 1964) de façon encore plus efficace. Les étirements 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 étirements après l'épreuve, enfin certains ont ajouté des étirements pendant la séance.

¹ Freiwald J. Engelhardt , M. Konrad ,P. Jäger ,M. Gnewuch, Dehnen, A. Volume 37, Issue 1, pp 3-10, 1999, Manuelle Medizin, Springer-verlag.

² 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.

- Stretching avant :

Johansson et coll. (1999) étudient l'effet de l'introduction de 4 étirements 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 étirée à l'échauffement et la jambe témoin. Wessel et Wan (1994)⁽¹⁾ dans une première expérience constate également l'inefficacité des étirements placés avant l'effort.

- Stretching après :

Buroker K.C., Schwane J.A.(1989)⁽²⁾ sur un exercice musculaire excentrique du quadriceps et du triceps de 30 mn, introduisent des étirements 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'étirements passifs sur une seule jambe. Le membre étiré était plus douloureux que l'autre. L'étirement passif ajoute des microtraumatismes à l'effort excentrique (Evens, Cannon 1987 ⁽³⁾; Friden, Lieber 1992⁽⁴⁾).

¹ 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.

² Buroker K.C., Schwane J.A., Does post exercise static stretching alleviate delayed muscle soreness ? Physician and sport Med. 1989, 17:6, 65-83

³ Evans W. J., Cannon J. G., The metabolic effect of exercise-induced muscle damage, Exercise and sport science reviews, 1987, 99-125

⁴) Friden J., Lieber R. L., Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury, Med. Sci. Sports. Exerc., 24, 1992, 5, 521-530

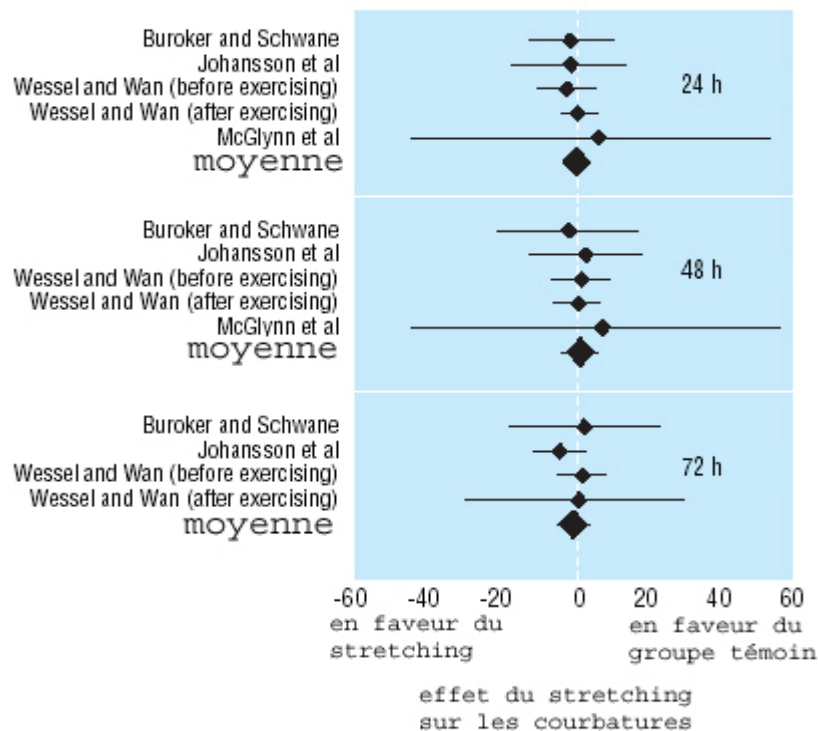


Figure 5 : tableau synthétique des études portant sur les effets des étirements sur les courbatures (d'après Herbert et Gabriel (2002)). Les auteurs ont rapportés les effets 24 heures, 48 heures, et 72 heures après la séance. L'axe vertical au niveau du zéro est la position de référence (aucun effet) 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.

Synthèse :

Herbert et Gabriel (2002)⁽¹⁾ 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 5.

c) Effets négatifs des étirements pour la récupération :

Comme le soulignent Wiemann et Klee (2000)⁽²⁾ 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

¹ Herbert RD, Gabriel M. Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: systematic review. *BMJ*. 2002 Aug 31;325:468-470

² **Wiemann K.**, Klee A., Die Bedeutung von Dehnen und Stretching in der Aufwärmphase vor Höchstleistungen. *de Leistungssport*, 4, 2000, 5-9,

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 microlésions, 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 possibilités 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.

d) 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)⁽¹⁾ 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)⁽²⁾ : 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)⁽³⁾ 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.

¹ Guissard N, Méthodes d'étirement musculaire : bases scientifiques et aspects pratiques, in « la planification de la préparation physique, (2000), éditions UFRSTAPS Dijon.

² Hagbarth KE, Hagglund JV, Nordin M, Wallim EU. Thixotropic behavior of human finger flexor muscles with accompanying changes in spindle and reflex responses to stretch. *J.physio.* 1985, 368: 323-342

³ Lakie M et Robson L (b). Thixotropy: The effects of stretch size in relaxed frog muscle. *Q. J. exp. physiol.* 1988, 73: 127-129

Magnusson (1998)⁽¹⁾ 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)⁽²⁾ 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).⁽³⁾

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)⁽⁴⁾ 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.

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

¹ 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

² Guissard N., Duchateau J., Hainaut K, Muscle stretching and motoneuron excitability, *Europ. J. of Applied Physiology*, 58, 1988,47-52.

³ Hutton R. S., Neuromuskuläre Grundlagen des Stretching, in:Komi P. V., *Kraft und Schnellkraft im Sport*,Colonia,1994,41-50.

⁴ 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.

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.

L'électrostimulation avec l'utilisation de programmes spécifiques de « récupération » peut constituer un moyen intéressant pour améliorer la vascularisation. Le footing lent est à déconseiller 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)⁽¹⁾ l'activité des ischios est pratiquement nulle. Masterovoï avait déjà 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-planté pour le triceps). On peut même envisager ce type d'exercices en restant sur place.

Conclusion :

Il semblerait que les habitudes "ancestrales" du monde sportif soient une nouvelle fois remises en cause par une analyse objective de certaines pratiques de terrain... sans tenir compte des a priori et des idées reçues sur le sujet.

Les étirements musculaires réalisés pendant l'échauffement avant une séance d'entraînement, ou pire, avant une compétition induisent des modifications immédiates de la fonction

¹ Masterovoï Liev, la mise en train : son action contre les accidents musculaires. *Liegkaya Atletika* (URSS), N° 9 septembre 1964. Document INS N°560, traducteur M. Spivak.

musculo-tendineuse qui peuvent nuire à la performance sportive. Ceux-ci ont apparemment un effet inverse à celui supposé ou désiré.

Il semblerait également qu'ils ne permettent pas non plus de diminuer les risques de blessure. Ils n'ont donc pas les effets soi-disant "bénéfiques" qu'on leur reconnaît sans l'avoir vérifié. Pour autant, il ne faut pas considérer ce résultat comme acquis car des études supplémentaires sont nécessaires pour valider les premiers résultats recueillis ces dernières années.

Par contre, leurs effets sont tels qu'il est plutôt conseillé de les utiliser comme technique de récupération post-exercice, si le risque d'apparition de courbatures à l'issue de la séance est faible. Dans le cas contraire, on exposerait l'athlète à un ralentissement des processus de récupération mis en oeuvre dès les premières heures qui suivent la séance à l'origine de ces traumatismes (Philips, 2000). ⁽¹⁾

C'est en ayant conscience de ces différents problèmes que les étirements pourront répondre parfaitement aux attentes des sportifs et de leurs entraîneur. Cette prise de conscience passe par la compréhension des mécanismes de réaction et d'adaptation du muscle à l'entraînement, ainsi que des différents types d'effets (immédiats et à long terme) que provoquent les étirements sur le système musculo-tendineux. Il reste, malgré tout, beaucoup de zones d'ombre concernant ces effets, notamment en ce qui concernent la compréhension des mécanismes qui entrent en jeu et qui permettraient d'expliquer pourquoi on observe une baisse de performance en force et en puissance suite à une session d'étirements. Des études supplémentaires sont donc nécessaires avant de proposer des lignes directrices pour l'entraînement et qui seraient issues d'un consensus général entre les physiologistes sur ce thème (Gleim et McHugh, 1997). ⁽²⁾ Pour l'heure, force est de constater que nous ne devons surtout pas considérer pour acquis les pratiques transmises par nos entraîneurs ou nos formateurs, ou transmises dans les manuels d'entraînement. L'entraîneur doit être à même de faire une remise en cause quasi permanente de ses connaissances pour s'assurer que son action sur le terrain est réellement bénéfique pour le sportif et surtout réalisée dans le respect de l'intégrité physique de celui-ci.

¹ Philips SM, Short-term training : When do repeated bouts of resistance training exercise become training ? Can. J. Physiol. 2000, (3) : 185-193

² Gleim GW, McHugh MP. Flexibility and its effects on sports injury and performance. Sports Med. 1997, 24 (5) : 289-299

CHAPITRE IV

Les études similaires

1-ETUDE D'ARNOLD G. NELSON

ARNOLD G. NELSON¹, NICOLE M. DRISCOLL¹, DENNIS K. LANDIN¹,
MICHAEL A. YOUNG¹, & IRVING C. SCHEXNAYDER²

¹Department of Kinesiology and ²Athletic Department, Louisiana State University, Baton Rouge, LA, USA

(Accepted 7 May 2004)

Les étirements pré-entraînement n'améliorent pas la performance au sprint

Mots-clés : Étirement, sprint, performance, échauffement, flexibilité,

Sports ciblés : Sprint de 20 mètres

Table I. The effect of stretch treatment on 20 m sprint time (mean \pm s)

	Treatment			
	NS	BS	FS	RS
Time (s)	3.17 \pm 0.04*	3.21 \pm 0.04	3.21 \pm 0.04	3.22 \pm 0.04

* Significantly different ($P < 0.05$) from the other protocols.

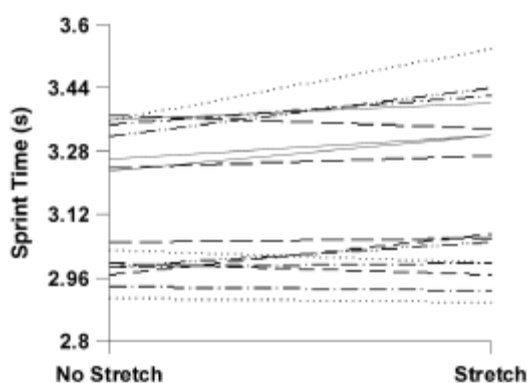


Figure 01 : Individual 20m times following the no-stretch and tow-leg stretch regiments. Each different line style represents a unique individual. Because the single-leg stretches were almost identical to the two-leg stretch, the single-leg stretches are not included.

L'objectif principal de cette recherche est de déterminer si les étirements passifs pré-entraînement nuisent à l'impulsion des blocs au départ de la course. De plus, comme la plupart des recherches antérieures ont toujours fait étirer les deux jambes, cette recherche veut déterminer si les étirements concernant seulement la jambe gauche, ou seulement la jambe droite aurait les mêmes effets négatifs.

Les sujets étaient sélectionnés parmi les membres de l'équipe de « course à relais » de l'Université de l'État de Louisiane : 11 hommes et 5 femmes. Ils faisaient de la compétition au sprint, en divers sauts ainsi qu'au décathlon, et pratiquaient leurs départs au sprint presque tous les jours depuis 2 ans.

Chaque sujet s'est étiré selon 4 différents protocoles, pour ensuite faire 3 courses de 20 m. Toutes les courses étaient effectuées sur une piste intérieure pour éliminer tous facteurs climatiques. Les courses étaient organisées avec des blocs de départ standards et les individus

étaient chronométrés par le relâchement des coussins à pression sous les mains, ainsi qu'un laser au point d'arrivée.

Les quatre protocoles d'étirement étaient comme suit : 1- aucun étirement, 2- étirement sur les deux jambes, 3- étirement de la jambe antérieure en position de départ, et 4- étirement de la jambe postérieure en position de départ. Une course était effectuée par semaine, à chaque lundi, avec seulement un des protocoles d'étirement.

Les étirements étaient composés d'un étirement d'ischio-jambier, suivi d'un étirement de gastrocnémiens et soléaires, et finalement d'un de fessiers. Chaque étirement était d'une durée de 30 secondes, avec 10 à 20 secondes de repos entre eux. Une fois les 3 étirements complétés, les sujets prirent un repos de 20 à 30 secondes puis recommencèrent les étirements pour un total de 4 fois. Tous les étirements étaient adaptés de Alter (1988). La course commençait 5 à 10 minutes après la fin des étirements. 3 sprints avec 1 minute de repos entre chaque furent testés.

Les résultats les plus marquants ont été remarqués entre le protocole de non étirement et les protocoles d'étirements variables (DE, AE, DE) *. En effet, il n'y avait aucune différence significative entre les trois conditions d'étirement lors de l'analyse post-exercice; DE : $3,21 \pm 0,04$ sec. , AE : $3,21 \pm 0,04$ sec. DE : $3,22 \pm 0,04$ sec. Par contre, ils ont remarqué que le temps du sprint est amélioré lorsque effectué sans un pré étirement : $3,17 \pm 0,04$ sec. De plus, ils ont obtenu des résultats similaires lors de l'analyse pour chaque essai.

2-Etude de Nelson et al, 2001

Nelson, A. G., Allen, J. D., Cornwell, A., & Kokkonen, J. (2001b). Inhibition of maximal voluntary isometric torque production by acute stretching is joint-angle specific. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72, 68 – 70.

Un article paru récemment (Nelson et al., 2001b) montre également qu'après une session de 15 min composée d'un étirement actif et de trois étirements passifs, les plus forts taux de diminution de force mesurée à vitesse constante étaient enregistrés pour les mouvements impliquant les vitesses les plus faibles, c'est-à-dire ceux impliquant un plus grand niveau de production de force (puisque correspondant aux longueurs de sarcomères où se forment un plus grand nombre de ponts d'actine-myosine). Ils n'ont noté aucune différence de force pour les vitesses angulaires de 2.62, 3.67 et 4.71 rads/s ; alors que la force était significativement plus petite pour les vitesses de mouvement exécutées à 1.57 (- 4,5 %) et 1.05 (- 7,2 %) rads/s. Par contre, ils n'ont noté aucune influence des étirements sur le pic de force en fonction de l'angle angulaire.

Ainsi, **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**, ou du moins non mesurables avec les moyens dont disposent les scientifiques actuellement. Mis ensemble, les résultats relatifs à la spécificité des effets des étirements mesurés, en fonction de l'angle et de la vitesse, montrent que les étirements réalisés avant une performance affectent la force que le muscle est capable de produire en fonction de l'angle (ou la longueur) à laquelle il se trouve au moment de la contraction. En augmentant la compliance (ou diminuant la raideur, ce qui veut dire la même chose) du muscle, les étirements induisent un allongement prématuré du sarcomère qui entraînerait une diminution du nombre de ponts d'actine-myosine pouvant se former et donc une diminution de la capacité à générer une force

importante, puisque l'on sait que l'intensité de la force contractile est proportionnelle à la quantité de pont d'actine-myosine qui peuvent se former.

3-Etude de Händel M, Horstmann T, Dickhuth HH, Gulch RW.

Effects of contract-relax stretching training on muscle performance in athletes. Eur. J. Appl. Physiol. 1997, 76: 400-408

Effets sur les paramètres maximaux de la performance

Face à ce tableau très négatif des effets immédiats des étirements sur le muscle, il serait injuste de ne pas aborder les adaptations à long terme sur la performance, suite à un entraînement incluant des étirements réguliers. A l'issue d'un entraînement de 8 semaines d'un programme d'étirements unilatéraux (contracter-relâcher), Handel et coll. (1997) ont observé chez leurs sujets une amélioration de la souplesse active et passive (jusqu'à 6,3° d'amplitude maximale de mouvement), de moment de force maximal (jusqu'à 21,6%) et une augmentation de la production de travail musculaire (jusqu'à 12,9%). Ces améliorations ont été principalement observées avec des conditions de **travail excentrique**.

4-Etude de Pope et all (1998, et 2000)

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

Effets présumés des étirements et prévention des blessures

L'un des arguments souvent avancés pour expliquer l'utilité de placer des étirements en début de séance, au cours ou à l'issue de l'échauffement, est qu'ils auraient un effet bénéfique sur les risques de blessure. Dans une étude publiée en 1998, Pope et coll. ont avancé l'hypothèse que les étirements réalisés avant l'exercice n'auraient en réalité que peu d'incidence sur les risques d'apparition des blessures au cours de la pratique sportive. Cette hypothèse a été confirmée par une étude réalisée par la même équipe deux ans plus tard (Pope et coll., 2000).

Regroupant 2631 jeunes recrues de l'armée âgées entre 17 et 35 ans Les résultats de cette étude montre L'effets des étirements préexercices sur les risques d'apparition de blessures en fonction du nombre de jours d'entraînement. Il n'y a pas de différences entre les groupes qui pratiquent les étirements et ceux qui n'en font pas, et qu'il n'y a effectivement pas de différences entre les deux groupes (contrôle vs expérimental) au niveau de la probabilité d'être blessé que l'on fasse ou non des étirements avant une séance d'entraînement. Dans les deux cas, plus on avance dans l'entraînement et plus les chances d'avoir une blessure augmentent tout en étant égales que l'on s'étire ou non

Des revues systématiques sur les effets de la pratique des étirements (Shrier, 1999 ; Shrier et Gossal, 2000 ; Herbert et Gabriel, 2002) sont arrivées à la même conclusion en se fondant sur les résultats de recherches publiées entre 1966 et 2000. Pour être sélectionnés, ces articles devaient répondre à des critères drastiques. Les auteurs n'ont ainsi retenu que ceux qui respectaient le cahier des charges établi au départ (répartition aléatoire des sujets dans un groupe témoin et un groupe expérimental afin de pouvoir réellement comparer l'effet de l'utilisation ou non des étirements, par exemple). La conclusion qui ressort de ces revues est que les étirements avant l'exercice ne semble pas constituer en une pratique utile pour réduire le risque de blessures, tout au moins lorsqu'ils précèdent les séances :

- où la charge d'entraînement a été fortement augmentée ;
- de reprise après une période de convalescence ou de vacances ;
- où le sujet apprend une nouvelle technique gestuelle ;

où le sujet utilise un nouveau matériel.
Ces séances provoquent généralement des courbatures.

5-Etude de : Antoine NORDEZ

– Laboratoire « Motricité, Interactions, Performance » (JE 2438)

UFR STAPS – UNIVERSITÉ DE NANTES, NANTES ATLANTIQUE UNIVERSITÉS

Caractérisation et modélisation du comportement mécanique du complexe musculoarticulaire en conditions passives. Influence de protocoles d'étirements cyclique et statique

RESUMÉ :

Ces travaux visent à modéliser le comportement mécanique passif du complexe musculoarticulaire (CMA). L'implémentation et la validation de méthodologies originales nous ont permis de caractériser les paramètres d'élasticité, de viscosité et de frottement du CMA. Puis les modifications de ces propriétés ont été déterminées à la suite d'étirements cycliques et statiques.

Les étirements statiques induisent principalement une augmentation transitoire de la longueur des muscles alors que les propriétés dissipatives et la raideur du CMA ne sont modifiées qu'après les étirements cycliques. Nos résultats permettent de discuter des mécanismes potentiellement impliqués dans ces réponses spécifiques. Enfin, un modèle rhéologique a été développé et validé afin de modéliser le comportement mécanique et les adaptations observées dans ce travail. Ce modèle pourrait par exemple permettre de simuler les effets de protocoles réalisés dans le cadre de pratiques sportives ou de rééducations fonctionnelles.

MOTS-CLÉS : muscle, tendon, articulation, modélisation, raideur, élasticité, viscosité, frottement, élastographie impulsionnelle, étirements statiques, étirements cycliques

6-Etude de Fletcher IM, Anness R.

The Acute Effects of Combined Static and Dynamic Stretch Protocols on Fifty-Meter Sprint Performance in Track-and-Field Athletes.

J Strength Cond Re. 2007;21(3):784-787

Traduction:

« Les étirements dynamiques pré-sprint ont plus d'effets que les étirements statiques pré-sprint sur la performance au sprint de 50 mètres. »

Mots clefs : Étirements statiques, étirements dynamiques, sprint, 50 mètres, préparation performance

Sports ciblés : La course, Sprint au 50 mètres

Les sprinters de haut niveau incluent toujours différentes séances d'échauffement et d'étirement dans leur préparation sportive. Que ce soit pour un entraînement ou pour une compétition, ils croient que ces routines ont pour effet d'améliorer leurs performances. Leurs séances de préparation varient surtout au niveau des étirements utilisés, certains utilisent des étirements statiques, dynamiques, ou même les deux. On sait déjà qu'il y a diminution de la performance suite à une séance d'étirements statiques (Tableau 1). Cela serait attribuable au fait qu'il y a diminution du niveau de force produite et inhibition au niveau du recrutement

des neurones du muscle. Ces éléments occasionneraient donc, une augmentation du délai d'activation des muscles étirés. On veut maintenant vérifier si cela pénalise vraiment les performances en course.

Observations : Le meilleur temps au 50m pour les hommes et les femmes est obtenu suite aux étirements actifs-dynamiques. Le 2^{ème} meilleur temps au 50m est obtenu suite aux étirements statiques-dynamiques + actifs-dynamiques. La moins bonne performance est associée aux étirements statiques-passifs + actifs-dynamiques

Ici, on s'intéresse plus précisément aux effets des différentes méthodes d'étirement sur une performance précise ; le sprint de 50 mètres. On cherche à déterminer la pertinence des étirements statiques employés seuls ou encore jumelés à d'autres types d'étirements pratiqués avant un sprint de 50m.

Pour cette étude ont recruté dix-huit sprinters, 10 hommes et 8 femmes, provenant de 2 clubs différents, ayant participé à des compétitions et ayant une certaine expérience en entraînement de résistance au cours des deux dernières années. Les participants devaient aussi répondre aux critères régionaux au 100 m, soit 10,69 secondes \pm 0,19 secondes pour les hommes et 12,05 secondes \pm 0,18 secondes pour les femmes. De plus, l'âge, le poids et la taille des sujets étaient pris en considération et devaient se situer dans une certaine étendue:

	Hommes	Femmes
Âge, an	19.2 \pm 1.14	20.2 \pm 2.86
Taille, cm	179.3 \pm 2.27	170.2 \pm 3.1
Poids, g	71.9 \pm 6.77	61.7 \pm 3.2

Chaque athlète fut observé deux fois lors de son entraînement personnel, dans le but d'analyser les méthodes d'échauffement et d'étirement de chacun. Après avoir recueilli les informations nécessaires, les chercheurs ont créé un programme d'entraînement rejoignant la majorité des principes utilisés par les athlètes. Celui-ci consistait d'abord en une séance d'échauffement : jogging de 800m sur une piste, suivi d'une méthode d'étirement qui leur était assigné. Il y avait 3 différentes méthodes d'étirement, et donc 3 groupes de sujets pour l'expérience.

Voici les 3 protocoles d'étirement exécutés suite à un jogging de 800m :

SADS : étirements statiques-passifs + actifs-dynamiques

Partie statique (7min 22s) : 3 répétitions de 22 s avec intervalles de repos de 10 s au niveau du gastrocnemius (talon au sol avec inclinaison du corps contre un mur), des ischio-jambiers (levée droite du membre inférieure en position couchée), du quadriceps et des fessiers (levée du genoux contre la poitrine et des fléchisseurs du membre inférieur (fente avant)

Partie dynamique (voir ADS).

ADS : étirements actifs-dynamiques: Exercices mimant la gestuelle du sprint sur 20 m deux fois avec retour en marchant incluant des sautilllements jambes droites, de la marche, des sautilllements et de la course avec genoux élevés, et des touchés de fesses avec les talons + 2 sprints de sprint relax à 80% de la vitesse maximale.

DADS : étirements statiques-dynamiques + actifs-dynamiques :

Partie statique-dynamique: Mouvements ADS fait sur place, 2x 8 répétitions sur chaque jambe avec 10 s repos.

Partie active-dynamique: voir ADS.

Finalement, suite à la séance d'échauffement et d'étirement, les coureurs faisaient un sprint de 50m deux fois et le meilleur temps était retenu.

Les étirements actifs-dynamiques (ADS) ont démontré une augmentation significative de la performance au 50m comparativement aux étirements statiques-passifs combinés avec des étirements actifs-dynamiques (SADS). L'amélioration moyenne de la performance des hommes est de 0,16 secondes alors que celle des femmes est de 0,10 secondes. On note aussi une amélioration au niveau du temps requis au 50 m pour les utilisateurs des étirements actifs-dynamiques jumelés avec les étirements statiques-dynamiques (DADS) par rapport à ceux qui pratiquaient les étirements statiques-passifs + actifs-dynamiques (SADS). L'amélioration est de 0.11 secondes pour les hommes et de 0.09 secondes pour les femmes. Finalement, il n'y a pas de différence significative entre l'intervention avec les étirements actifs-dynamiques seuls et les étirements actifs-dynamiques combinés avec les étirements statiques-dynamiques. Il a aussi été rapporté que tous les sujets, sans exception, ont améliorés leurs performances lorsque les étirements passifs-statiques ont été enlevés de leur routine d'échauffement.

En conclusion, la performance des sprinters au 50m est améliorée lorsque l'on utilise des étirements actifs-dynamiques durant la séance de préparation. En effet, ceux-ci améliorent la performance au 50m, puisqu'ils permettent des mouvements plus spécifiques à l'activité qui va suivre. De plus, ils favorisent la proprioception, permettent une préactivation et préparent les muscles en contractions concentriques et excentriques, ce qui s'avère nécessaire pour les courses à hautes vitesses. Les étirements passifs quant à eux, mêmes combinés avec des étirements dynamiques augmentent le temps de la performance au 50m. Cela est du entre autre au fait qu'ils inhibent les muscles agonistes et synergiques. Malgré l'amélioration qu'ils provoquent, les étirements statiques-dynamiques combinés à actifs-dynamiques ne sont pas aussi efficaces que les étirements actifs-dynamiques employés seuls.

Donc, le meilleur choix en terme d'étirements pour la préparation au sprint de 50 m s'avère être les étirements actifs-dynamiques. On peut tout de même combiner ceux-ci à des étirements statiques-dynamiques, mais l'effet ne sera pas aussi marqué. Puis, il est complètement déconseillé de prescrire des étirements de types statiques-passifs.

Finalement, les athlètes souhaitant améliorer leurs performances au sprint de 50m devraient faire des étirements actifs-dynamiques tout en y incluant des mouvements plus spécifiques au sprint.

Dans cette étude on ne fait pas mention des autres sports, mais on peut facilement en déduire que les recommandations s'y appliquent aussi. On doit avoir des séances d'étirements actives et spécifiques au sport pratiqué pour optimiser la performance de celui-ci. D'autre part, il convient de souligner qu'il s'agit d'effets immédiats; les effets à long terme n'ont pas été évalués dans cette étude. De plus, les effets étaient liés à la performance sur 50 m. Sur d'autres distances, il faudra d'autres études pour confirmer les conclusions de la présente étude enfin, au niveau de la prévention des blessures, cette étude est muette.

7-Etude de :YAMAGUCHI Y., ISHII K.

Effects of static stretching for 30 seconds and dynamic stretching on leg extension power. J. Strength Cond. Res. 2005; 19(3): 677-683.

Les étirements dynamiques améliorent les performances musculaires.

Mots clés : Performance musculaire, étirement passif, étirement dynamique.

Sports ciblés : Tous les sports

Abstract

Les étirements sont souvent pratiqués parce qu'ils font partie intégrale de la majorité des programmes d'entraînement et parce que nous avons longtemps pensé qu'ils diminuaient les risques de blessures. Cette étude démontre comment les étirements passifs de 30 secondes et les étirements statiques produisent un impact positif sur la force musculaire.

L'expérience fut menée sur onze étudiants masculins universitaires (âge : 22.8 ± 0.8 année, grandeur : 173.3 ± 1.1 cm, poids : 65.9 ± 3.0 kg). Des étirements passifs, dynamiques et aucun étirement étaient exécutés lors de différentes journées. Les muscles des membres inférieurs qui étaient sollicités lors de ces séances sont les fléchisseurs plantaires, les fléchisseurs de la hanche, les extenseurs de la hanche, le triceps sural et le quadriceps fémoral.

Pour effectuer les étirements passifs, les personnes maintenaient pendant 30 secondes la position, puis se reposaient pendant 20 secondes pour reprendre l'étirement du muscle de la jambe opposée. Lors des étirements dynamiques, les personnes contractaient le muscle pendant chaque 2 secondes. Les sujets contractaient lentement le muscle à cinq reprises et effectuaient ensuite dix contractions le plus rapidement possible. Pendant la séance sans étirement, les personnes restaient assises, les jambes allongées pendant 500 secondes. Les chercheurs ont utilisé un appareil (anaero press 3500) qui mesure la puissance des membres inférieurs lors de l'extension des jambes en calculant la vitesse et le temps du mouvement. Ils effectuaient ce test 30 secondes après l'arrêt des étirements.

D'après cette étude, la puissance des membres inférieurs augmenterait lorsque des étirements dynamiques auraient été effectués (puissance avant : 1837.6 ± 130.8 W, puissance après : 2022.3 ± 121.0 W). Par contre, les étirements passifs diminueraient la force des jambes puisque leur puissance a diminué (puissance avant : 1884.8 ± 107.3 W, puissance après : 1788.5 ± 85.7 W). De plus, l'absence d'étirements diminuerait légèrement la puissance des membres inférieurs (puissance avant : 1851.9 ± 127.0 W, puissance après : 1784.8 ± 108.4 W)

La diminution de puissance générée après l'exécution d'étirements passifs pourrait être expliquée par la réduction du niveau de l'activité neuromusculaire parce que le muscle demeure inactif. La propriété viscoélastique des muscles et des tendons pourrait également avoir un rôle à jouer dans la diminution de puissance des membres inférieurs puisque l'étirement passif durait 30 secondes.

Nous pouvons donc conclure qu'il est plus avantageux pour un athlète d'exécuter des étirements dynamiques avant son épreuve puisque la puissance de ses membres inférieurs serait ainsi augmentée. Il aurait été intéressant de mesurer la température corporelle ainsi que le niveau d'activité neuromusculaire pour comprendre les mécanismes physiologiques observés lors de cette étude.

Deuxième Partie

La réalisation de l'expérimentation et ses résultats

CHAPITRE I : Méthodologie de la recherche.

CHAPITRE II : Analyse et interprétation des résultats

CHAPITRE III : Discussion générale

CHAPITRE I :

Méthodologie de la recherche.

1-Etude d'exploration (pré-enquête)

2-But de la recherche

3-Objectif et taches

4-hypothèses

5-méthode

6-matériels et outils de recherche

7-Identification et contrôle des variables

8- traitement statistique

1-ETUDE D’EXPLORATION (pré enquête)

A travers les expériences qu’on a vécu pendant de longues années de pratique sportives, les observations faites sur la pratique quotidienne des athlètes de différentes disciplines (pendant les entraînements, et les compétitions), les rencontres avec les experts du domaine ; tout cela a été l’objet d’une réflexion : qu’attendent les athlètes des étirements ? Que ressentent-ils . Nous avons donc choisi de leur donner la parole sous forme d’une enquête réalisée du 15 mai au 25 juin 2010. Nous livrons ici les résultats avec les pourcentages correspondants. Questionnaire inspiré du modèle de Christian Saint-Blanquat ⁽¹⁾

1-Pour quel but vous étirez-vous ?

Réponses	Oui (%)	Non (%)
Gain de souplesse	41.6%	58.4%
préparation à l’effort	58%	42%
Prévention des blessures	66 %	34%
Pour gagner en amplitude	50%	50%
pour une meilleure récupération	41.6%	58.4%
Décontraction physique	16.6%	83.4%
Décontraction psychique	16.6%	83.4%
Amélioration de la performance	41.6%	58.4%

¹ Christian Saint-Blanquat, Marc Vernel. « Les étirements en pratique sportive » .Edition CHIRON, 1996 p5, 6

-Interprétation des résultats :

L'interprétation des résultats a permis à l'étudiant chercheur de constater que le souci majeur de nos athlètes est :

- la prévention des blessures et des accidents musculo-tendineux 66%, un échauffement (une préparation à l'effort 58%),
- Une recherche de la souplesse (un gain de souplesse 41.6%) mais qui peut définir la souplesse ? Cette dernière comme on l'a déjà défini est une action qui vise l'amplitude articulaire, par contre l'étirement vise l'allongement du muscle. L'étudiant chercheur peut conclure d'après cette brève analyse que l'utilisation des étirements dans le milieu sportif est mal géré que se soit par le cadre ou par le pratiquant. La décontraction physique et psychique (16.6%) est le but recherché pour accélérer le phénomène de récupération après une séance d'entraînement traumatisante .Mais quelles modalités préférer à ce moment de l'entraînement ? L'étude de la récupération mériterait de susciter de nouvelles recherches, tant les aspects en sont multiples et les déterminants variés (nutrition, repos, étirements, physiothérapie, programmation de l'entraînement...).

2-Quand vous étirez-vous ?

Réponses	Oui (%)	Non (%)
Pendant l'entraînement	66%	34%
Une séance spéciale d'étirement	25%	75%
Avant une compétition	66%	34%
Après une compétition	50%	50%
A la partie finale de l'échauffement	41%	59%
Au début de l'échauffement	58%	42%
A la fin d'une séance d'entraînement	83%	17%

-Interprétation des résultats :

83% utilise des étirements à la fin d'une séance d'entraînement, 66% les utilise avant la compétition et pendant l'entraînement tout cela coïncide avec la logique scientifique, sauf qu'une séance spéciale d'étirement (25% l'applique) est recommandée par les experts pour maintenir un certain niveau de flexibilité suivant les exigences de la spécialité, prétend l'étudiant chercheur.

En conséquence, au vu de ce qui précède, l'étudiant chercheur constate que l'introduction de technique faisant appel aux étirements n'est pas indiquée au cours de l'échauffement des sports de vitesse détente. Certaines disciplines qui exigent des positions avec des amplitudes des mouvements extrêmes (gymnastique patinage artistique...) échappent à cette règle, il faut préparer l'athlète pour lui permettre d'aller sans risque dans ses positions.

3-Quel type d'étirements utilisez-vous ?

Réponses	Oui (%)	Non (%)
Etirements statique	75%	25%
Etirement dynamique	50%	50%
Etirement actif	33%	67%
Etirement passif	41.6%	58.4%
Etirement balistique	8%	92%
Etirement en PNF (assouplissement neuro-musculaire proprioceptif)	8%	92%

-Interprétation des résultats :

La grande majorité choisisse les étirements statiques (75%) , 50% pour les étirements dynamiques, 41.6% pour les étirements passifs et 33% pour les étirements actifs de tel ou tel muscle selon leur discipline, ignorant souvent ceux qui ne servent rien à rien. En ce qui concerne l'utilisation des étirements balistiques et les PNF, les 8% enregistrées représentent un pourcentage quasiment nul qui se traduit par l'ignorance de ses deux méthodes difficiles à appliquer vu leurs complexités. Il semble préférable, en phase de récupération, d'utiliser des étirements statiques. Ils seraient plus efficaces que les allongements dynamiques et répétés (mouvements de ressort comme par exemple des battements de jambes successifs) pour diminuer la raideur musculaire et augmenter l'extensibilité du muscle. En faisant un étirement statique, c'est-à-dire avec le maintien d'une articulation à l'angle où apparaît le seuil de douleur tolérable pendant 90 s, le relâchement musculaire que l'on obtient est environ 18-20% de la valeur maximale du départ. En reproduisant cet étirement à l'identique (même intensité et même angle), le phénomène se reproduit mais on observe un nouveau gain de relâchement qui se traduit par une diminution

de la raideur (moins de résistance à l'allongement), de déformation (moins d'énergie absorbée lors de l'adaptation au stress imposé)

et de la viscoélasticité. Ces effets atteignent des valeurs maximales au bout du 10^e étirements et disparaissent en une heure (Magnusson et coll. 1996b). ⁽¹⁾.

Ces résultats ont été également démontrés chez l'animal (Taylor et coll. 1990) ⁽²⁾. La répétition d'un cycle de 10 étirements passifs statiques d'une même amplitude, alternés avec de courtes pauses, entraîne des changements significatifs au niveau de la longueur musculaire (jusqu'à dépasser de 3.5%) et de la force musculaire (autour de 80% de la force initiale de résistance passive à l'étirement). Les mêmes phénomènes peuvent s'observer chez l'homme avec une vitesse d'étirement rapide (20 deg/s) réalisée avec la même amplitude (angle articulaire) pour un nombre d'étirements similaire. À la différence près que l'énergie ne diminuait qu'au premier étirement et que la raideur était plus élevée au 10^e étirement (Magnusson et coll., 1998) ⁽³⁾. Ces résultats montrent qu'il est possible d'obtenir un allongement du muscle avec un étirement réitéré dans des conditions identiques à chaque répétition (même degré d'allongement ou angle articulaire), sans avoir à dépasser le seuil de douleur tolérable. Ceci est intéressant notamment pour les personnes ayant quelque peu des difficultés à supporter la douleur durant les étirements. Par contre, la vitesse d'allongement s'avère être un facteur important puisqu'elle entraîne à partir d'un certain nombre de répétitions des effets opposés à ceux recherchés.

- Ne jamais dépasser les seuils de douleurs musculaires : La douleur est un signal physiologique très important qu'il ne faut pas prendre à la légère. Son utilisation dans la pratique nécessite d'instaurer un climat de confiance entre l'intervenant et le sportif afin qu'elle puisse guider le travail des étirements. En signalant le moment où cette douleur n'est la plus tolérable, le (la) sportif (ve) indique à son entraîneur la position optimale à maintenir (l'entraîneur veillera évidemment à ne pas se laisser duper par le (la) sportif (ve) qui indiquerait cette position de façon trop précoce). Lorsque l'on atteint cette position extrême pour une personne et pour un groupe musculaire donné, il ne faut jamais dépasser le seuil de douleur tolérable. En effet, la stimulation des terminaisons sensibles libres, notamment sensibles à la douleur, entraîne l'activation du réflexe myotatique et provoque une

¹ Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Sorensen H, Kjaer M.(b). A mecanism for altered flexibility in human skeletal muscle. J. Physiol. 1996, 497: 291-298

² Taylor DC, Dalton JD, Jr Seaber AV, Garrett WEJ. Visco-elastic properties of muscle-tendon units. The biomechanical effects of stretching Am.J. Sport Med. 1990, 18 (3): 300-309

³ Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Bojsen-Moller F. A biomechanical evaluation of cyclic and static stretch in human skeletal muscle. Int.J.Sport Med.1988, 19 : 310-316

augmentation de tonus musculaire, voire une contraction musculaire de défense. Le résultat est une augmentation de la raideur du muscle allant à l'encontre de l'effet recherché. Si l'on augmente l'amplitude de l'étirement malgré ce signal, des lésions peuvent survenir au niveau des myofibrilles. Cette douleur semble être d'ailleurs l'un des premiers paramètres sur lesquels agit l'entraînement : la répétition d'un étirement permet de reculer le seuil minimal de tolérance de la personne de sorte qu'elle peut augmenter ainsi l'amplitude de l'angle articulaire sans pour autant qu'il y ait des changements mécaniques ou viscoélastiques permanents au niveau musculaire (Magnusson et coll., 1996b) ⁽¹⁾. Ce seuil varie en fonction des personnes et de leur raideur musculaire, qui elle-même dépend de la masse musculaire en partie de la masse musculaire (Magnusson et coll., 1997) ⁽²⁾.

- Faire une pause entre deux étirements passifs statiques : Faire une pause entre deux étirements passifs statiques, au maximum de 2-3 s Une fois l'effet de relâchement musculaire obtenu par le maintien d'un étirement passif statique, combien de temps faut-il laisser entre deux étirements pour maximiser ou optimiser l'effet global des répétitions au cours de la séance ?

Une réponse semble apportée par le travail réalisé notamment par Hufschmidt et Mauritz(1985) ⁽³⁾. Ces auteurs ont montré 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⁽⁴⁾ ; Lakie et Robson, 1988a⁽⁵⁾). On peut donc conseiller de ne pas dépasser 2-3 s de pause entre deux étirements au cours d'un cycle d'étirements statiques (figure 2). Cela permet d'optimiser la durée de la séance et la rapidité de l'effet que l'on souhaite obtenir.

- Les étirements sont plus efficaces lorsqu'ils sont précédés d'une contraction musculaire :

¹ Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Sorensen H, Kjaer M.(b). A mechanism for altered flexibility in human skeletal muscle. *J. Physiol.* 1996, 497: 291-298

² Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Boesen J, Johannsen F, Kjaer M. Determinants of musculo-skeletal flexibility: viscoelastic, cross-sectional area, EMG and stretch tolerance. *Scand. J. Med. Sci. Sport* 1997, 7 : 195-202

³ Hufschmidt A et Mauritz KH. Chronic transformations of muscle in spasticity : A peripheral contribution to increase tone. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.* 1985,46 : 676-685

⁴ Kilgore JB et Mobley BA, Additional force during stretch of single frog muscle fibres following tetanus *Exp. Physiol.* 1991, 76: 579-588

⁵ Lakie et Robson, 1988(a) Lakie M et Robson L. Thixotropic changes in human muscle stiffness and the effects of fatigue. *Q. J. Exp. Physiol.* 1988, 73 : 487-500

Les étirements statiques sont plus efficaces lorsqu'ils sont précédés par une contraction volontaire maximale (CVM) soit du muscle agoniste, suivie d'une brève période de relâchement (technique du contracter relâcher), soit du muscle antagoniste pendant l'étirement de l'agoniste (Enoka et coll., 1980⁽¹⁾ ; Guissard et coll., 1988⁽²⁾ ; Magnusson et coll., 1997 ; ⁽³⁾Moore and Kukulka, 1991⁽⁴⁾). Ces deux techniques permettent en effet d'obtenir une diminution plus importante de l'activité des motoneurones qu'avec un étirement statique seul et sont regroupées sous la terminologie de **PNF**.

Le choix de l'une ou l'autre de ces techniques se fera en fonction de l'amplitude articulaire atteinte par le sujet au cours de la séance. En effet, l'analyse de la relation force-longueur du muscle permet de montrer que, passée une certaine amplitude, il n'est plus possible de demander au sujet de réaliser une contraction maximale de l'agoniste car le taux de recouvrement des protéines contractiles est insuffisant pour permettre de développer une tension à l'intérieur du muscle, même de petite intensité.

Il faut donc utiliser la contraction de l'antagoniste pour obtenir la diminution supplémentaire de l'activité des motoneurones de l'agoniste (via le réflexe d'inhibition réciproque) lorsque les amplitudes articulaires sont importantes.

- Technique du contracter-relâcher : en faisant précéder l'étirement statique par une phase de contraction isométrique maximale du muscle agoniste, on augmente la tension exercée sur les tendons du muscle (ou groupe musculaire) ciblé et on mobilise ainsi le réflexe myotatique inverse dont l'effet est de diminuer la tonicité musculaire. Il est conseillé de réaliser cet exercice plusieurs fois à la suite, sans revenir à la position de repos. On obtient alors un gain d'amplitude de mouvement supérieur à celui que l'on aurait eu avec des étirements statiques, et on arrive à un angle beaucoup plus important qu'avec un seul contracter-relâcher (cette technique a un effet cumulatif).

- Technique de la contraction antagoniste : la sollicitation du réflexe d'inhibition réciproque pour augmenter le relâchement d'un muscle pendant son étirement passe par la contraction du muscle antagoniste. Ainsi, lors d'un étirement des ischio-jambiers par une fermeture jambe-tronc, il ne faut jamais obliger les sujets à relâcher leur quadriceps car la contraction de celui-

¹ Enoka RM, Hutton RS, Eldred E. Changes in excitability of tendon tap and Hoffmann reflexes following voluntary contractions. *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.* 1980, 48 : 664-673

² Guissard N, Duchateau J, Hainaut K. Muscle stretch and motoneuron excitability *Euro.J. Appl. Physiol* 1988, 58 : 47-52

³ Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Boesen J, Johannsen F, Kjaer M. Determinants of musculo-skeletal flexibility: viscoelastic, cross-sectional area, EMG and stretch tolerance. *Scand. J. Med. Sci. Sport* 1997, 7: 195-202

⁴ Moore MA, Kukulka CG, Depression of Hoffmann reflexes following voluntary contraction and implications for proprioceptive neuromuscular facilitation therapy. *Physical Therapy*, 1991, 71: 321-333

ci entraînera de façon réflexe une diminution de la tonicité des ischio-jambiers... ce qui facilitera leur étirement.

- Maintenir la contraction volontaire maximale 1 à 2 s : Contrairement à ce qui est rapporté dans beaucoup d'ouvrages consacrés aux techniques d'étirements ("stretching"), le temps de maintien de la contraction volontaire maximale a le même effet sur la durée d'inhibition des motoneurones quelle que soit sa durée, au moins des temps de maintien de 1 à 30 s (Guissard et coll., 1988) (1¹). Il est donc inutile de "traumatiser" le muscle avec une tension maximale (souvent douloureuse) trop longue puisqu'elle n'apporte rien de plus au niveau de la mise en jeu des réflexes visés. Un maintien de la CVM pendant 1 ou 2 s seulement suffira.

- Maintenir l'étirement tout au plus 10 s : Il est également conseillé de tenir la position d'étirement tout au plus 10 s (même si les effets durent un peu plus longtemps, cf. figure 6) quelle que soit la technique d'étirement utilisée (Guissard et coll. 1988). Audelà, l'efficacité de l'inhibition des motoneurones diminue (figure 6) et la raideur passive augmente légèrement par une élévation du tonus musculaire.

Ce délai est bien-sûr à mettre en regard des résultats qui montrent que la raideur diminue rapidement dès les premières secondes pour ensuite se stabiliser lors d'un étirement statique passif (Magnusson et coll., 1998) (2²). Puisque ce type d'étirements ne sollicite pas les réflexes, il est possible de le maintenir plus longtemps (45 s maxi) à condition de ne pas dépasser le seuil tolérable de douleur (Magnusson et coll., 2000).(3³)

- Etirements analytiques en chaîne : Les étirements analytiques sont de moins en moins pratiqués, tout au moins en pratique sportive. Forcé de constater qu'il est exceptionnel qu'un geste sportif ne fasse appel qu'à un muscle isolé. De plus, la répétition des postures de chaque muscle étiré isolément rend la séance trop longue et fastidieuse.

Il faut en préférer à juste titre les étirements en chaîne musculaire globale, particulièrement indiqués dans les sports complets, le triathlon par excellence. Ils respectent un certain équilibre et une synergie d'action des muscles les uns par rapport aux autres.

A titre d'exemple, votre entraînement de cyclisme ne fait pas travailler que vos jambes et votre bassin. D'autres contraintes mécaniques apparaissent principalement au niveau du rachis, lombaire mais aussi cervical (d'autant plus que vous utilisez un prolongateur). La

¹ Guissard N, Duchateau J, Hainaut K. Muscle stretch and motoneuron excitability Euro.J. Appl. Physiol 1988,58 :47-52

² Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Bojsen-Moller F. A biomechanical evaluation of cyclic and static stretch in human skeletal muscle. Int.J.Sport Med.1988, 19 : 310-316

³) Magnusson SP, Aagaard P, Nielson JJ. Passive energy return after repeated stretches of the hamstring muscle-tendon unit. Med. Sci. Sport Exerc. 2000, 32 : 1160-1164

séance d'étirements ne doit pas se limiter aux membres inférieurs, mais doit s'étendre sur toute la chaîne postérieure jusqu'au cou, selon des exercices spécifiques.

- Les étirements statique et dynamique : On entend parler quelquefois d'étirement "statique" et d'étirement "dynamique". La différence entre ces deux types d'étirement est lié à la présence ou non d'un mouvement d'élan pour amener le segment dans la position produisant l'étirement du muscle. Par exemple, l'étirement dynamique correspondrait à des étirements des ischio-jambiers que l'on ferait avec des lancers d'une jambe pendant que l'autre reste en appui sur le sol (mouvement très utilisé chez les gymnastes que l'on appelle "battement"). Si l'on fait le mouvement lentement, la jambe montera moins que si on le fait rapidement. Par contre, la tension appliquée sur le groupe musculaire sera plus élevée.

- Les étirements actif et passif : Ces appellations ne concernent que l'étirement statique. La distinction que l'on fait entre l'aspect actif ou passif de l'étirement vient de la présence ou non d'une contraction musculaire pendant l'exécution de l'exercice de l'étirement. Par exemple, si l'on fait intervenir les extenseurs du genou (quadriceps) pour maintenir la position permettant d'étirer les fléchisseurs du genou (ischio-jambiers), on a alors affaire à un exercice d'étirement actif puisque l'étirement est associé à une contraction du groupe musculaire antagoniste. Par contre, si une tiers personne maintient notre jambe pour étirer ces mêmes fléchisseurs, c'est un exercice est réalisé de façon passive par le sujet.

- Relation entre l'étirement actif et l'étirement passif : pour une articulation donnée, l'étirement passif est toujours supérieur à l'étirement actif. Par exemple, lorsqu'on se met en appui sur un pied et que l'on élève la jambe, comme dans un battement, en vue d'étirer les ischio-jambiers, on sera capable de monter notre pied beaucoup plus haut avec l'aide de quelqu'un (étirement statique passif, position 3) que tout seul (étirement statique actif, position 1).

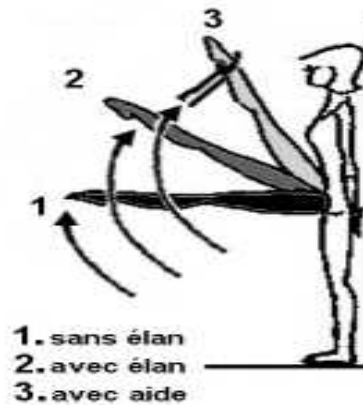


Figure 1 : Relation entre l'étirement actif et l'étirement passif d'après Frey(1977). ⁽¹⁾ D'autre part, l'étirement dynamique est toujours supérieure à l'étirement statique actif. Ainsi, on montera plus haut ce même pied si l'on fait un lancer de jambe (étirement actif dynamique, position 2) que pendant une montée progressive se terminant par un maintien à la seule force des muscles responsables de la fermeture jambe-tronc (étirement actif statique, position 1).

La différence entre l'étirement passif et l'étirement actif constitue ce que Frey (1977) a appelé la réserve de mobilité (reprenant à son compte le concept de la réserve cardiaque fonctionnelle de Karnoven, 1957). Celleci est très importante car elle donne une information sur la marge de progression que l'on est en droit d'attendre de quelqu'un quand il s'entraîne de façon systématique soit en cherchant un gain de force des muscles agonistes (par exemple le quadriceps dans notre exemple), soit un gain d'allongement des antagonistes (les ischio-jambiers toujours dans ce même exemple). Avec l'entraînement, l'étirement dynamique peut atteindre l'étirement statique passif. Mais cela implique l'utilisation d'étirements dynamiques qui ont pour rôle de diminuer la contraction réflexe des agonistes en même temps que l'on renforce le groupe antagoniste... contrairement à l'étirement statique passif où seul l'agoniste est ciblé.

¹)-Frey G (1977) Zur terminologie und struktur physischer leistungsfactoren und motorischer fahigkeiten. Leistungssport 1977, 339-362

4-Quels sont les effets souhaités de la pratique des étirements ?

Réponses	Oui (%)	Non (%)
Améliorer la performance	41.6%	58.4%
Prévenir les blessures	83%	17%
Favoriser une récupération rapide	58%	42%

-Interprétation des résultats :

L'effet souhaité de la pratique des étirements par nos athlètes et la prévention des blessures (83%), 58% qui sont pour la favorisation d'une récupération rapide et 41.6% pour l'amélioration de la performance.

D'après ses résultats, on peut déduire que la pratique des étirements par nos athlètes vise en premier lieu la prévention des blessures puis pour avoir une meilleure récupération, alors que le groupe qui dit pour l'amélioration des performances n'atteint même pas la moyenne.

Cela veut dire que les connaissances scientifiques de nos athlètes en matière de stretching sont très limitées pour ne pas dire fausses. Néanmoins, les techniques d'étirement sont tellement efficaces qu'elles induisent immédiatement des baisses de performance significatives. Ceci a été démontré de façon très claire par de nombreuses études. Par conséquent, on fera en sorte de les utiliser à bon escient, c'est-à-dire à un moment où l'on est sûr qu'elles ne nuiront pas à l'efficacité du geste. Ou alors de les inclure dans un échauffement à part entière. Dans le doute, comme l'objectif premier des étirements est bel et bien de relâcher les muscles, il est logique de les placer dans la phase de récupération, après la séance, pour essayer de retrouver un degré de tonus musculaire quasi similaire à celui précédent la séance !

D'après vous, est ce que les étirements pré-exercices nuisent à la performance ?

Réponses	Oui (%)	Non (%)
	14 %	86%

-Interprétation des résultats :

Ce questionnaire nous a permis de constater que les athlètes et les entraîneurs ont des vues injustes sur la finalité des étirements. La réalisation, est souvent radicalement opposée aux buts recherchés.

Concernant les effets des étirements, 86 % des nos experts (docteurs) ont confirmé les effets positifs des étirements pré-exercices sur les performances sportives. Les autres (14%) ont dit le contraire ; que ces derniers nuisent à la performance, suivant les exigences de la spécialité.

Comment comprendre ce paradoxe de l'effet des étirements. Je pense que le problème est le plus souvent mal posé. Dans un cas il s'agit d'un protocole scientifique où l'on essaie le plus souvent d'isoler l'effet d'une variable. Pour cela, la procédure est rigoureuse (même techniques d'étirement, même durée, même muscle...). Pour tenir compte de l'effet prédictif de la raideur, il faut au contraire quitter le champ de l'expérimentation pour proposer aux sujets un plan cohérent d'étirements tenant compte de son activité sportive, et surtout de son bilan articulaire. Pour les uns il s'agira d'insister sur les ischio-jambiers, pour d'autres cela peut-être le droit fémoral, pour certains (hyperlaxes) les étirements seront superflus.

La question de savoir si les étirements sont utiles ne peut amener de réponse univoque et définitive. Tout dépend des sujets. Les études présupposent que les sujets sont " sains ", sans limitation pathologique, pour nous hommes de terrain ce n'est pas le cas, nous avons affaire à des sportifs avec des points forts et des points faibles. Comme pour certains il faudra insister sur le développement de la force ou des qualités aérobies, pour d'autres il faudra aussi intégrer des étirements. De plus la survenue d'une blessure est rarement liée à un seul facteur ; la fatigue, les troubles statiques, le matériel, la technique ... entrent en ligne de compte.

Une autre raison avancée pour ne pas faire des étirements est leur effet néfaste sur la performance lorsqu'ils sont faits à l'échauffement. Des études montrent qu'après un programme d'étirements, les sujets sont globalement moins performants ensuite lors de la réalisation des tests retenus (Saut, pic de force sur machine...). Ces résultats semblent cohérents avec ce que l'on

constate intuitivement sur le terrain.

Néanmoins dans la réalité les athlètes ne se mettent pas dans leurs starting-blocks tout de suite après leurs étirements, ils refont des " éducatifs " et des répétitions de leurs gestes sportifs. Ils vont réactiver les programmes moteurs qui leur permettent de courir vite et bien. Ils vont notamment agir sur le réglage de la " raideur active " des différents muscles leur permettant ainsi de bénéficier de la restitution d'énergie liée à la notion de " renvoi ". Il serait intéressant de savoir si tous les types d'étirements ont ce rôle néfaste sur la performance, y aurait-il des différences entre certaines formes, leur effet est-il différent selon la population, coureur tout venant/ athlètes ayant appris à courir ?

La troisième raison est leur inefficacité sur la récupération. Le bien-être décrit par les athlètes après une séance d'étirements n'étant lié qu'à une élévation du seuil de perception de la douleur. Les études faites sur les étirements et la récupération se contentent d'aborder cette dernière sur l'aspect "ressenti" de courbatures ou de douleurs musculaires. Mais quels en sont les effets en terme de capacité à reproduire une performance, le lendemain d'une séance?

-INTERPRETATION DES RESULTATS ET DISCUSSION

L'interprétation des résultats nous a permis de constater que le souci majeur de nos athlètes est d'obtenir :

- un gain de souplesse ;
- une recherche de la souplesse mais qui peut définir la souplesse ?
- une prévention des accidents musculo-tendineux ;
- un échauffement.

De plus ils choisissent les étirements statiques (75%) de tel ou tel muscle selon leur discipline, ignorant souvent ceux qui ne servent rien à rien. Ce sont les ischio-jambiers qui posent le plus de problèmes par leurs « raideur ».

Ce questionnaire nous a permis de constater que les athlètes et les entraîneurs ont des vues injustes sur la finalité des étirements. la réalisation, est souvent radicalement opposée aux buts recherchés.

Concernant les effets des étirements, 86 % des nos experts (docteurs) ont confirmé les effets positifs des étirements pré-exercices sur les performances sportives. Les autres (14%) ont dit le contraire ; que ces derniers nuisent à la performance, suivant les exigences de la spécialité.

Comment comprendre ce paradoxe de l'effet des étirements. Je pense que le problème est le plus souvent mal posé. Dans un cas il s'agit d'un protocole scientifique où l'on essaie le plus souvent

d'isoler l'effet d'une variable. Pour cela, la procédure est rigoureuse (même techniques d'étirement, même durée, même muscle...). Pour tenir compte de l'effet prédictif de la raideur, il faut au contraire quitter le champ de l'expérimentation pour proposer aux sujets un plan cohérent d'étirements tenant compte de son activité sportive, et surtout de son bilan articulaire. Pour les uns il s'agira d'insister sur les ischio-jambiers, pour d'autres cela peut-être le droit fémoral, pour certains (hyperlaxes) les étirements seront superflus.

La question de savoir si les étirements sont utiles ne peut amener de réponse univoque et définitive. Tout dépend des sujets. Les études présupposent que les sujets sont " sains ", sans limitation pathologique, pour nous hommes de terrain ce n'est pas le cas, nous avons affaire à des sportifs avec des points forts et des points faibles. Comme pour certains il faudra insister sur le développement de la force ou des qualités aérobies, pour d'autres il faudra aussi intégrer des étirements. De plus la survenue d'une blessure est rarement liée à un seul facteur ; la fatigue, les troubles statiques, le matériel, la technique ... entrent en ligne de compte.

Une autre raison avancée pour ne pas faire des étirements est leur effet néfaste sur la performance lorsqu'ils sont faits à l'échauffement. Des études montrent qu'après un programme d'étirements, les sujets sont globalement moins performants ensuite lors de la réalisation des tests retenus (Saut, pic de force sur machine...). Ces résultats semblent cohérents avec ce que l'on constate intuitivement sur le terrain.

Néanmoins dans la réalité les athlètes ne se mettent pas dans leurs starting-blocks tout de suite après leurs étirements, ils refont des " éducatifs " et des répétitions de leurs gestes sportifs. Ils vont réactiver les programmes moteurs qui leur permettent de courir vite et bien. Ils vont notamment agir sur le réglage de la " raideur active " des différents muscles leur permettant ainsi de bénéficier de la restitution d'énergie liée à la notion de " renvoi ". Il serait intéressant de savoir si tous les types d'étirements ont ce rôle néfaste sur la performance, y aurait-il des différences entre certaines formes, leur effet est-il différent selon la population, coureur tout venant/ athlètes ayant appris à courir ?

La troisième raison est leur inefficacité sur la récupération. Le bien-être décrit par les athlètes après une séance d'étirements n'étant lié qu'à une élévation du seuil de perception de la douleur. Les études faites sur les étirements et la récupération se contentent d'aborder cette dernière sur l'aspect "ressenti" de courbatures ou de douleurs musculaires. Mais quels en sont les effets en terme de capacité à reproduire une performance, le lendemain d'une séance?

Quelles modalités préférer à ce moment de l'entraînement ? L'étude de la récupération mériterait de susciter de nouvelles recherches, tant les aspects en sont multiples et les déterminants variés (nutrition, repos, étirements, physiothérapie, programmation de l'entraînement...)

En conséquence, au vu de ce qui précède, on constate que l'introduction de technique faisant appel aux étirements n'est pas indiquée au cours de l'échauffement des sports de vitesse détente. Certaines disciplines qui exigent des positions avec des amplitudes des mouvements extrêmes (gymnastique patinage artistique...) échappent à cette règle, il faut préparer l'athlète pour lui permettre d'aller sans risque dans ses positions.

-Expérience préliminaire (d'exploration)

Après la première pré enquête, on a on entamer le deuxième stade de la recherche qui est l'expérience préliminaire. On s'est servit d'un groupe de la même société que le groupe expérimentale pour confirmer les indices scientifiques des tests qui sont la validité et la fidélité. Alors on a adopté la méthode du test-retest qui est l'une des meilleures méthodes de validation des tests. Il suffit de faire et refaire le test dans les mêmes conditions avec un intervalle de temps qui ne dépasse pas les 15 jours, puis on calcule cet indice de validité à partir du coefficient de corrélation. En ce qui concerne la fidélité du test, elle est calculée à partir de la valeur de la validité au carré.

Le 04 /01/2011 à 16h on a commencé la réalisation des tests de la pré enquête. L'échantillon d'exploration a été composé de dix sept (17) joueurs de football deuxième division professionnelle catégorie junior(b).

première phase(test) : échauffement générale : course légère de 10min, échauffement des articulations ,des ABCde course+des lignes droites

- premiers tests de 30m en prélevant les performances

deuxième phase (retest) : échauffement générale : course légère de 10min, échauffement des articulations ,des ABCde course+des lignes droites

-réalisation du re-tests de 30m en prélevant les performances.

-Troisième phase (test) : échauffement générale : course légère de 10min, échauffement des articulations ,des ABCde course+des lignes droites

- premiers tests de 40m en prélevant les performances

-Quatrième phase (retest) : échauffement générale : course légère de 10min, échauffement des articulations ,des ABCde course+des lignes droites

réalisation du re-tests de 40m en prélevant les performances.

Piste : terrain de football (tarton troisième génération)

Départ : accroupie d'un starting-block pour la mise en œuvre de la force explosive

Signal de départ : claquoir

Mesure du temps de course : chronomètre

-Tableau n°1 : Résultats des tests et des retests de l'expérience préliminaire

TEST 30m	RETEST 30m	TEST 40m	RETEST 40m
4.52	4.53	5.91	5.92
4.23	4.20	5.56	5.55
4.5	4.5	5.13	5.14
4.72	4.75	5.94	5.96
4.24	4.20	6	6
4.7	4.7	5.8	5.8
4.44	4.40	5.44	5.44
4.6	4.6	6	6.2
4.4	4.4	6.34	6.3
4.45	4.49	6.1	6.2
4.8	4.82	5.84	5.80
4.36	4.32	6.03	6
4.59	4.51	6.25	6.24
4.55	4.56	6	5.9
4.56	4.56	5.81	5.80
4.53	4.50	5.75	5.75
4.72	4.73	5.87	5.86

- Coefficient de corrélation (30m) = 0,98
- Coefficient de corrélation (40m) = 0,99

Qualité physique	Test	Nombre de l'échantillon	Indice de validité	Indice de fidélité	Signification
Vitesse	Sprint de 30m	17	0.96	0,98	Très Signifiant
Vitesse	Sprint de 40m	17	0.98	0.99	Très Signifiant

-Tableau n° 2 : indiquant la fidélité et la validité des tests de vitesse pour les joueurs de football de la catégorie junior(b) de l'échantillon du pré enquête (d'exploration.)

L'expérience que nous avons menée c'est déroulée sur le lieu suivant :

-OPOW de SIDI BEL ABBES.

Nous avons disposé de l'ensemble des athlètes de la catégorie junior (U20) du club suivant :

-USMBA : Ce club de football évolue au niveau du championnat de division 2 professionnelle
Notre échantillon total se compose de trente quatre (34) joueurs qui se répartissent comme suit :

-Echantillon expérimentale : 17 joueurs.

-Echantillon du pré enquête (d'exploration) : 17 joueurs.

La remise des questionnaires c'est faites durant la période allant du 15 Mai 2010 au 25 juin 2010, alors que L'expérimentation c'est faite durant la période allant du 1er décembre 2010 au 09 février 2011.

1-But de la recherche :

Le but de notre recherche est de connaître et d'évaluer les effets des étirements prolongés sur les performances sportives en sprint des footballeurs de la catégorie junior (U20), plus précisément sur les sprints courts de 30 et 40 m.

2-Objectif et taches :

Notre objectif vise à connaître les effets immédiats des étirements prolongés tous juste avant l'épreuve de sprint. Puisque les effets des étirements d'après COMETTI Gilles sont encore présent une heure après la fin de l'étirement.

« Stretching et échauffement pour une performance sportive: Les étirements ne permettent pas un échauffement musculaire correct .Les étirements passifs influencent négativement le niveau de prestations sur des successions d'actions de force rapide ,**l'étirement prolongé d'un groupe musculaire diminué l'activation et la force contractile du groupe étiré, cette perte de force est encore présente une heure après la fin de l'étirement**, les étirements avant l'exercice ne réduisent pas le risque de blessures. »⁽¹⁾

On a choisi des footballeurs comme échantillon vu le haut niveau dans lequel ils progressent , ainsi que la bonne préparation physique des joueurs durant leur plan de carrière.

Il s'agit dans un premier temps d'effectuer des sprints de 30 m sans étirement préalable on relevant les résultats du pré- test.

Après une semaine, on a refait le même test (sprint de 30 m) mais cette fois ci, en introduisant des étirements passifs prolongés dans l'échauffement avant l'épreuve.

¹ COMETTI Gilles, « les limites du stretching pour la performance sportive »,1^{ère} partie, UFRSTAPS Dijon. Intérêt des étirements avant et après la performance, 2004

Après une autre semaine, on a effectué le deuxième pré-test de 40m sprint sans étirement préalable on relevant les résultats. La quatrième et dernière semaine était consacrée pour la réalisation du test de 40m avec introduction d'un protocole d'étirement passif prolongé pendant l'échauffement.

3-hypothèses :

Dans la situation expérimentale que nous avons choisie, nous retenons les hypothèses suivantes :

- Les étirements prolongés avant l'épreuve de sprint n'auront pas d'effets sur la performance.
- Les étirements prolongés avant l'épreuve de sprint auront des effets (positifs ou négatifs) sur la performance.

4-méthode :

Pour arriver au bout de notre but, nous allons utiliser la méthode expérimentale.

Plan expérimentale utilisé dans l'étude (tableau n°1)

Pré-test (phase 1)	Traitement expérimental	Test (phase 2)
a)-sprint de 30m	Introduction d'un protocole d'étirements passifs prolongés pendant l'échauffement	b)-sprint de 30m
a)-sprint de 40m	Introduction d'un protocole d'étirements passifs prolongés pendant l'échauffement	b)-sprint de 40m

Tableau n°1 : Plan expérimentale utilisé dans l'étude

5-Matériels et outils de recherche :**5-1-Matériels :**

- Références bibliographiques
- Observation
- Questionnaires
- Rencontres

- Tests physiques objectifs
- Expérimentation

5-2-Outils :

- starting-block
- chronomètre
- claquoir
- décamètre
- plots, assiettes

6-Identification et contrôle des variables :

Ce champ d'expérience se déroulera sur un terrain de football (torton troisième génération), il met donc en jeu beaucoup de facteurs qu'il faudra identifier afin de les contrôler et de les neutraliser.

a)La variable indépendante :

C'est celle dont on cherche à analyser l'influence, nous l'avons identifiée dans notre hypothèse de travail, il s'agit :

- de l'étirement prolongé (passif)

b) la variable dépendante :

Elle est représentée par les temps réalisés après les sprints de 30m et de 40m ; ces derniers reflètent les performances de chaque joueur.

c) Les autres variables :

On peut les classer en deux rubriques :

c-1-variable concernant la tâche :

c-1-1-les bases scientifiques des tests : nous nous sommes servis des indices scientifiques concernant la validité, la fidélité et l'objectivité des tests réalisés dans des études similaires, là où ils ont été utilisés pour des échantillons presque similaires aux nôtres. Les tests ont réalisé des indices scientifiques très significatifs (tableau n°2). Cette signification est au seuil de confiance de 95% qu'on a fixé, et qui donne 5 chances d'erreur pour cent.

Qualité physique	Test	Nombre de l'échantillon	Indice de validité	Indice de fidélité	Signification
Vitesse	Sprint de 30m	17	0.81	0,90	Très Signifiant
Vitesse	Sprint de 40m	17	0.98	0.99	Très Signifiant

-Tab n° 2 indiquant la fidélité et la validité des tests de vitesse pour les joueurs de football de la catégorie junior(b) de l'échantillon du pré enquête (d'exploration.)

Concernant l'objectivité des tests, ces derniers ont été utilisés dans plusieurs travaux de recherches ; « L'analyse de la différence de résultats entre des joueurs amateurs et des joueurs professionnelles lors de tests sur une distance de 5m, 10m, 15m, 20m, 30m et 40m);Commetti et all (2001), Kollath et Quade (1993),Brewwer et Davis(1992) ont évoque cette différence de performance en sprints. » (1), extrait de : Alexandre Dellal, 2008, Ed de Boeck université, « de l'entraînement à la performance en football » p, 61-62.les résultats de ses travaux de recherches confirment l'objectivité des tests de 30m et de 40m que nous avons utilisés dans notre travail de recherche.

C1-2 -le test proprement dit.

Nous avons conçu un test dont la réalisation n'excède pas une minute pour l'ensemble des joueurs. N'ont pas participé à cette pré enquête Les sujets qui allaient faire ultérieurement partie de l'expérience. Cette pré enquête nous a servit à ajuster les points de repère au niveau des joueurs, à matérialiser les espaces de travail mais surtout à contrôler la faisabilité du test.

Première phase :

a)Échauffement générale : course légère de 10min, échauffement des articulations, des ABCde course+des lignes droites, puis on a passé aux premiers pré-tests de 30m en prélevant les performances.

Première phase :

b)échauffement générale : course légère de 10min, échauffement des articulations ,stretching de type passif, cinq exercices pour une durée totale de 15minutes chaque exercice est composé d'une phase d'étirement de 30 sec et d'une phase de repos de10 a 20sec on répétant quatre fois le même exercice(voir figure1) puis en abordent le test de 30 en prélevant les résultats.

Deuxième phase :

a)Échauffement générale : course légère de 10min, échauffement des articulations, des ABCde course+des lignes droites puis en a passer au pré-test de 40m en prélevant les performances.

Deuxième phase :

b)échauffement générale : course légère de 10min, échauffement des articulations ,stretching de type passif, quatre exercices pour une durée totale de 15minutes,chaque exercice est composé d'une phase d'étirement de 30 sec et d'une phase de repos de10 a 20 sec on répétant quatre fois le même exercice (voir figure1) puis en abordent le test de 40 en prélevant les résultats.

1. Mollet

Mettez-vous en position de marche, les pieds bien à plat sur le sol, la jambe tendue; étirez en rapprochant les hanches de la paroi.



2. Muscles de la cuisse (face postérieure)

Tirez la cuisse en position verticale, puis tendez la jambe lentement (jusqu'à éprouver une légère tension), le bassin restant collé au sol.



3. Muscles de la cuisse (face antérieure)

Saisissez la cheville avec les mains, puis tirez la jambe en direction du tronc en veillant à ce que le genou et la tête restent plaqués au sol.

Attention: cet exercice peut provoquer une crampe si les muscles sont trop fatigués.



4. Muscles fléchisseurs de la hanche

Posez les mains sur le genou, puis abaissez le bassin vers l'avant sans que le genou de devant ne dépasse la pointe du pied.



- **Figure 1** : les quatre exercices d'étirement utilisés pendant l'expérience

c-1-3 -Structure, gestion, nombre de répétition et horaire de réalisation des tests:

Les sujets étaient sélectionnés parmi les membres de l'équipe de « football » du club USMBA de SIDI-BEL-ABBES : 17 hommes et 0 femmes car il n'existe pas dans ce club d'équipes filles. Ils faisaient de la compétition au football, et pratiquaient leur spécialité presque durant tout leur plan de carrière depuis plus de 8 ans.

Chaque sujet s'est étiré selon le protocole démontré par l'expérimentateur, pour ensuite faire 3 courses de 30m ou de 40m, suivant la phase de l'expérience. Toutes les courses étaient effectuées sur un terrain de football pour éliminer tous facteurs parasites. Les courses auraient du être organisées avec des blocs de départ standards et les individus auraient du être chronométrés par le relâchement des coussins à pression sous les mains, ainsi qu'un laser au point d'arrivée, mais par manque de moyens on a utilisé des starting-blocks et un chronomètre de type local disponible.

Les quatre protocoles d'étirement étaient comme suit : 1- aucun étirement, 2- étirement sur les deux jambes, 3- aucun étirement, et 4- étirement sur les deux jambes Une course était effectuée par semaine, à chaque lundi à 16h, avec seulement un des protocoles d'étirement.

Les étirements étaient composés d'un étirement des gastrocnémiens et soléaires, suivit d'un étirement des ischio-jambiers, d'un des quadriceps, et finalement d'un des fléchisseurs de la hanche. Chaque étirement était d'une durée de 30 secondes, avec 10 à 20 secondes de repos entre eux. Une fois les 4 étirements complétés, les sujets prirent un repos de 20 à 30 secondes puis recommencèrent les étirements pour un total de 4 fois. Tous les étirements étaient adaptés d'un groupe de spécialistes (doctorat en staps). La course commençait 5 à 10 minutes après la fin des étirements. 3 sprints avec 1 minute de repos entre chaque furent testés, pour prendre le meilleur.

c-1-4 -Condition climatique :

Les tests ont été réalisés dans les mêmes conditions climatiques

c-2-variable concernant les athlètes : (tab n°3)**c-2-1-homogénéité de l'échantillon**

Les sujets étaient sélectionnés parmi les membres de l'équipe de « football » du club ESMBA de SIDI-BEL-ABBES : 17 hommes et 0 femmes car il n'existe pas dans ce club d'équipes filles. Ils faisaient de la compétition au football, et pratiquaient leur spécialité presque durant tout leur plan de carrière depuis plus de 8 ans. La moyenne, l'écart type, la médiane et l'indice de convergence de l'âge la taille et le poids sont démontrés sur le tableau n° 3

N°	âge	poids	taille
Moyenne	18,41	65,41	174,76
Ecart-type	0,50	6,36	5,72
Médiane	18	65	172
Indice de convergence	2.46	0.19	1.4

- Tableau n°3 indiquant l'homogénéité de l'échantillon

Pour connaître et démontrer la bonne distribution de l'échantillon on doit calculer l'indice de convergence.

En se servant de la formule suivante : $I=3(M-m)/E$ qui doit varier entre (-3, +3) là où : M est la moyenne, m est la médiane et E c'est l'écart type

Puisque les valeurs (2.46 ; 0.19 ; 1.4) sont situées entre (-3 ; +3) en conclue à l'homogénéité et à la bonne distribution de l'échantillon.

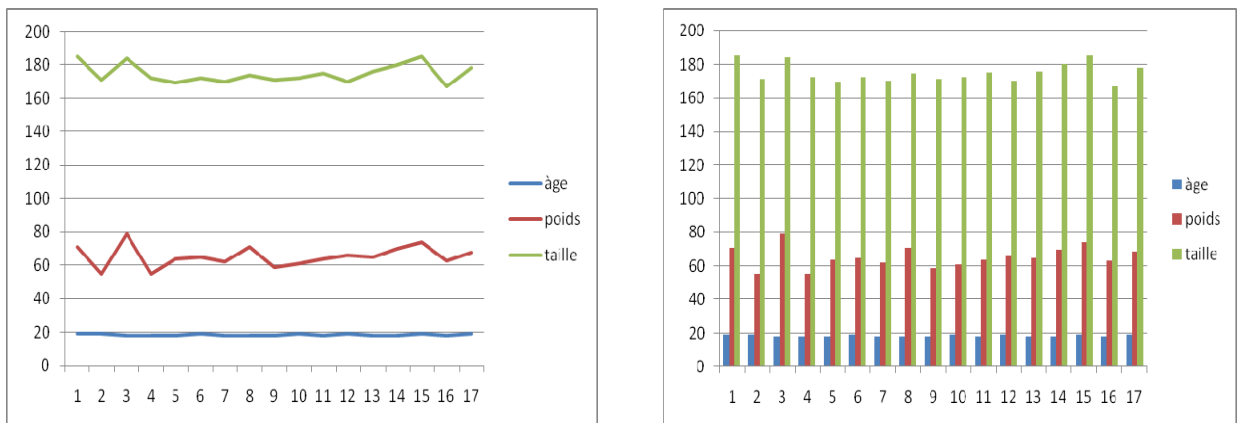


Figure 2 : courbe et histogramme représentant l'homogénéité de l'échantillon.

c-2-2-niveau de départ :

La valeur motrice a été établie en fonction de l'équivalence des joueurs sélectionnés au départ par leur entraîneur sur la base des tests réalisés au sein de leur club.

Un seul facteur a été retenu pour l'appréciation de ce niveau :

-la valeur physique

Cette appréciation a été relevée à l'issue des entretiens tenus avec les entraîneurs du club concerné.

7- traitement statistique :

Nous pouvons comparer les moyennes observées dans chaque épreuve (course de 30m et de 40m) avant et après stretching à l'aide du test t de STUDENT-FISHER.⁽¹⁾ , puisque toutes les précautions sont prise avant cette application.

1) les échantillons étant petits, le test de F de SNEDECOR apparaît inutile

2) il convient de préciser quelle hypothèse relative aux moyennes est soumise au test t :

-Est-ce l'hypothèse simple $d = 0$ pas de différence entre les deux échantillons

-Ou est-ce l'hypothèse composite $d > 0$ il existe une différence significative

3) lorsque l'on veut effectuer un test de comparaison comme dans la présente analyse, il est préférable d'utiliser les valeurs de base – ici, les valeurs observées pour les courses, exprimées en seconde – plutôt que des données transformées par un barème.

Les différentes phases de l'expérience nous permettent d'opérer les comparaisons suivantes :

a) comparaison des résultats de la phase 1 (phase 1a et phase 1b)

b) comparaison des résultats de la phase 2 (phase 2a et phase 2b)

c) comparaison des résultats de la phase 1 et 2

d) autres vérifications :

Contrôle de la variable étirement passif prolongé et de la variable performance en sprint entre test 1 et test 2 par la méthode de BRAVAIS-PEARSON ; ces corrélations ont pour objectif de vérifier si les tests permettent de vérifier par ailleurs l'efficacité de la performance sportive.

¹ **PIERRE PARLEBAT** et **BERNARD CYFFERS**. : Statistique appliquées aux activités physiques et sportives, éd Insep-publications, France 1992, p330.

CHAPITRE II

Analyse et interprétation des résultats

1-Résultats obtenus à l'issue de la phase 1 et 2

2-Comparaison et Corrélation des résultats lors de la phase 1

3-Comparaison et Corrélation des résultats lors de la phase 2

4-interprétation des résultats

5-comparaison et analyse des résultats des joueurs selon les postes

1-Résultats obtenus à l'issue de la phase 1et 2**a) A l'issue du test 1 de la phase 1a et 1b**

	phase 1a	phase 1b
N°	Sprint de 30m (Avant stretching)	Sprint de 30m (Après stretching)
1	4,52	4,59
2	4,23	4,87
3	4,5	4,84
4	4,72	4,78
5	4,24	4,43
6	4,7	4,73
7	4,44	5,02
8	4,67	4,84
9	4,4	4,64
10	4,45	4,49
11	4,8	5,12
12	4,36	4,58
13	4,59	4,64
14	4,55	4,78
15	4,56	4,68
16	4,53	4,87
17	4,72	4,74

Tableau n°1 : performances en sprint de 30m du groupe expérimentale à l'issue du test 1de la phase 1a et 1b

b) A l'issue du test 2 de la phase 2a et 2b

	phase 2a	phase 2b
N°	SPRINT*DE40m (Avant stretching)	Sprint de 40m (Après stretching)
1	5,61	6,05
2	5,74	5,84
3	6,08	6,08
4	5,96	6,08
5	5,67	5,96
6	6,05	6,14
7	5,45	5,58
8	5,77	5,8
9	5,84	5,87
10	5,58	5,9
11	6,12	6,18
12	5,8	5,93
13	5,67	5,7
14	5,66	5,67
15	5,68	5,71
16	5,93	5,99
17	5,66	5,77

Tableau n°2 : performances en sprint de 40m du groupe expérimentale à l'issue du test 1 de la phase 2a et 2b

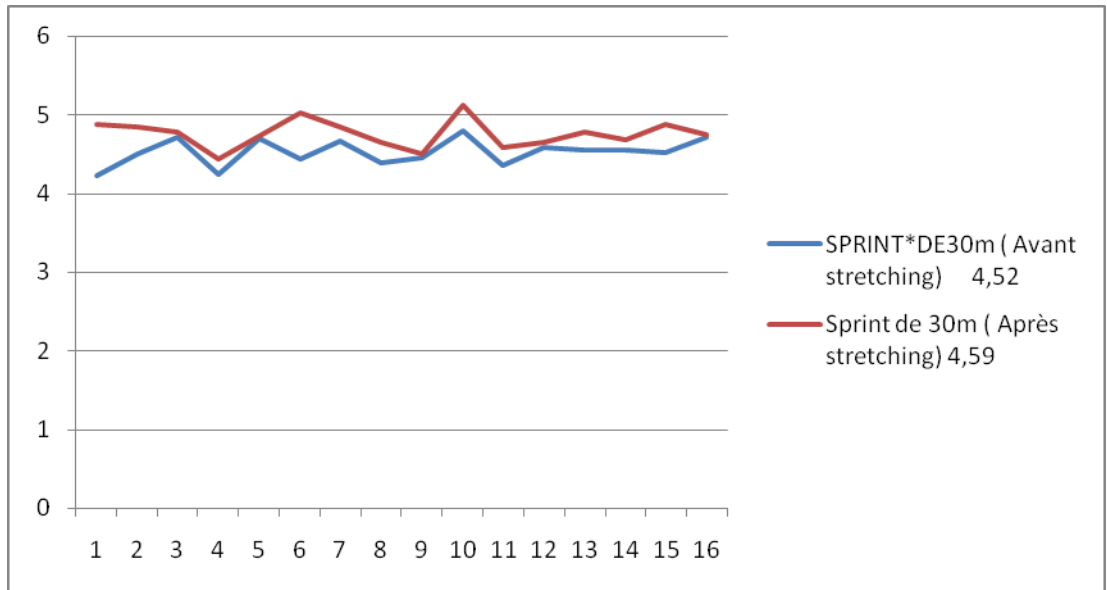


Figure n°1 : performances en sprint de 30m du groupe expérimentale à l'issue du test 1 de la phase 1a et 1b

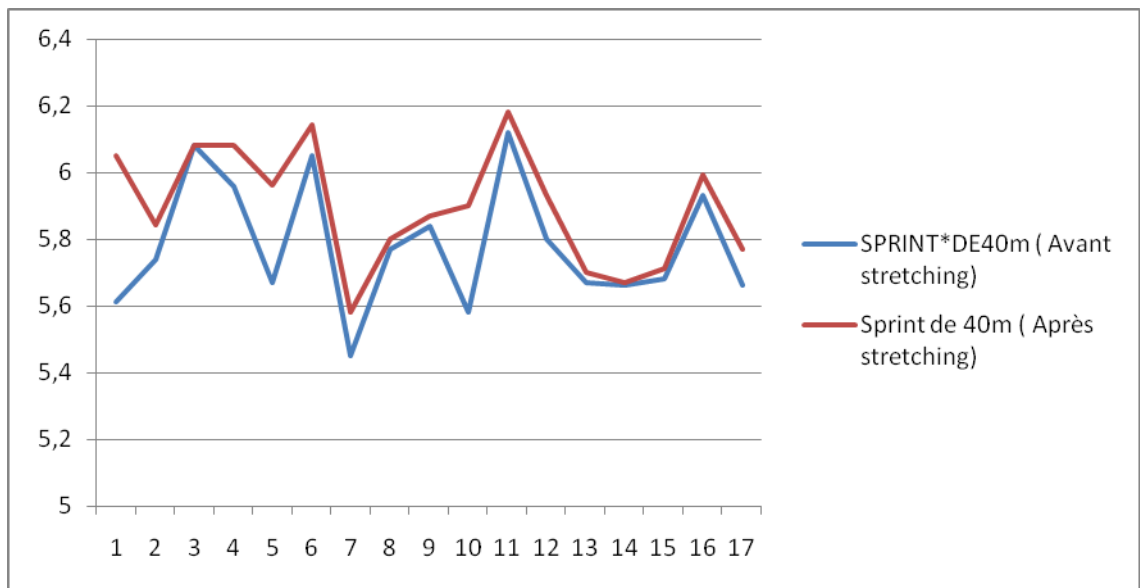


Figure n°2 : performances en sprint de 40m du groupe expérimentale à l'issue du test 1 de la phase 2a et 2b

2-Comparaison et Corrélation des résultats lors de la phase1

Phase 1		Moyenne	N	Ecart-type	Erreur standard moyenne
a	avant30m	4,5282	17	,16467	,03994
b	apres30m	4,7435	17	,17853	,04330

Tableau n° 3 : profil des résultats globaux obtenus à l'issue de la phase 1

D'après les résultats retenus de la première analyse, l'étudiant chercheur peut conclure à la régression des performances. Cette régression est confirmée par les moyennes enregistrées pour ce groupe expérimental.

Phase 1	test	N	Corrélation	Sig.
a b	avant30m & apres30m	17	,425	,089

Tableau n° 4 : Corrélation entre le test et le retest de la phase 1

Le tableau n°4 nous montre la faible corrélation ($r = 0,42$) entre le test et le retest, avec absence de signification ($0,089 > 0,05$), puisque p est fixée à $0,05$.

	Différences appariées					t	ddl	Sig. (bilatérale)
	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne	Intervalle de confiance 95% de la différence				
				Inférieure	Supérieure			
a)avant30m - b)apres30m	-,21529	,18436	,04471	-,31008	-,12050	- 4,815	16	,000

Tableau n° 5 : Comparaison des résultats obtenues au niveau de la phase 1a et la phase 1b par le groupe expérimentale à l'aide du test de STUDENT.

Nous avons affaire à des groupes appariés. L'étudiant chercheur observe une différence très significative dans la comparaison des moyennes à l'aide du t de student. Ce qui nous intéresse maintenant est de savoir si le stretching a fait progresser nos athlètes. la variable aléatoire à considérer est donc la différence d entre les performances « après » et « avant ».

La différence *d* observée, soit 0,21secondes, est très différente de 0 de façon hautement significative (seuil $p = 0,05$) et l'étudiant chercheur conclue à l'existence d'une détérioration des performances. Rappelons nos deux hypothèses :

- l'hypothèse $d \leq 0$ les étirements passifs prolongés n'ont pas d'effet sur le sprint.
- l'hypothèse $d > 0$ les étirements passifs prolongés ont un effet sur le sprint.

Donc l'hypothèse $d \leq 0$ doit être rejetée et l'on accepte l'hypothèse $d > 0$, qui traduit l'existence d'un effet négatif des étirements passifs prolongés sur les performances en sprint. L'étudiant chercheur estime cette détérioration par la valeur moyenne observée, soit 0,21secondes, mais il est préférable de donner un intervalle de confiance à 95 pourcent de la différence, comme il est démontré sur le tableau n°5. Puisque la signification est bilatérale, les valeurs négatives sont négligées.

$$0,31 < d(0,21) < 0,12$$

3-Comparaison et Corrélation des résultats lors de la phase2

Phase 2	Test	Moyenne	N	Ecart-type	Erreur standard moyenne
a	Avant40m	5,7806	17	,19038	,04617
b	Apres40m	5,8971	17	,17652	,04281

Tableau n° 6 : profil des résultats globaux obtenus à l'issue de la phase 2

Il y a tout lieu de penser que les performances ont régressé à travers les moyennes enregistrées dans cette deuxième phase.

Phase 2	test	N	Corrélation	Sig.
a b	avant40m & apres40m	17	,781	,000

Tableau n° 7 : Corrélation entre le test et le retest de la phase 2

Le tableau n°7 nous montre une forte corrélation ($r = 0,78$) entre le test et le retest, avec une grande signification ($0,05 > 0,00$), puisque p est fixée à 0,05.

	Différences appariées					t	ddl	Sig. (bilatérale)
	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne	Intervalle de confiance 95% de la différence				
				Inférieure	Supérieure			
a)avant40m – b) apres40m	-,11647	,12216	,02963	-,17928	-,05366	- 3,931	16	,001

Tableau n° 8 : Comparaison des résultats obtenues au niveau de la phase 2a et la phase 2b par le groupe expérimentale à l'aide du test de STUDENT.

Nous avons ici affaire à un groupe apparié. L'étudiant chercheur observe une différence très significative dans la comparaison des moyennes à l'aide du **t** de student.

Ce qui nous intéresse maintenant est de savoir si le stretching a fait progresser nos athlètes. la variable aléatoire à considérer est donc la différence **d** entre les performances « après » et « avant ». La différence **d** observée, soit 0,11secondes, est très différente de 0 de façon hautement significative (seuil $p = 0,05$) et l'étudiant chercheur conclue à l'existence d'une détérioration des performances. Rappelons nos deux hypothèses :

- l'hypothèse simple $d \leq 0$ les étirements passifs prolongés n'ont pas d'effet sur le sprint.
- l'hypothèse composite $d > 0$ les étirements passifs prolongés ont un effet sur le sprint.

Donc l'hypothèse $d \leq 0$ doit être rejetée et l'on accepte l'hypothèse $d > 0$, qui traduit l'existence d'un effet négatif des étirements passifs prolongés sur les performances en sprint. L'étudiant chercheur estime cette détérioration par la valeur moyenne observée, soit 0,11secondes, mais il est préférable de donner un intervalle de confiance à 95 pourcent de la différence, comme il est démontré sur le tableau n°8. Puisque la signification est bilatérale, les valeurs négatives sont négligées.

$$0,17 < d (0,11) < 0,05$$

Concernant la corrélation, l'étudiant chercheur peut dire que celle du 40 mètre et plus forte(0,78) que celle du 30 mètre(0,42), cette différence s'explique par sa signification. Autrement dit, la variable indépendante (étirement passif prolongé) manifeste plus d'effet sur la variable dépendante (sprint de 40 mètre) que sur celle du 30 mètre.

-Tableau n° 9 : indiquant la détérioration de la vitesse sur 30 et 40 mètres par l'effet du stretching

N	Vitesse m/s (30m Avant stretching)	Vitesse m/s (30m Après stretching)	Vitesse m/s (40m Avant stretching)	Vitesse m/s (40m Après stretching)
1	6.63	6.53	7,13	6,61
2	7.09	6.16	6,96	6,84
3	6.66	6.19	6,57	6,57
4	6.35	6.27	6,71	6,57
5	7.07	6.77	7,05	6,71
6	6.38	6.34	6,61	6,51
7	6.75	5.97	7,33	7,16
8	6.42	6.19	6,93	6,89
9	6.81	6.46	6,84	6,81
10	6.74	6.68	7,16	6,77
11	6.25	5.85	6,53	6,47
12	6.88	6.55	6,89	6,74
13	6.53	6.46	7,05	7,01
14	6.59	6.27	7,06	7,05
15	6.57	6.41	7,04	7
16	6.62	6.16	6,74	6,67
17	6.35	6.32	7,06	6,93

-Diminution de la moyenne de la vitesse de course sur 30m de 6,62 m/s à 6,32 m/s et sur 40m de 6,92 m/s à 6,78 m/s suite à l'effet du stretching préexercice.

4-Interprétation des résultats :

Ces résultats s'expliquent par un mécanisme mécanique et neural. Le système musculaire et tendineux deviennent moins rigides suite à un étirement et nuisent aux propriétés contractiles et élastiques du muscle. En effet, une rigidité accrue du système contribuerait à un plus grand allongement de la composante élastique (tendons, ligaments, os) et à une meilleure vitesse de raccourcissement de la composante contractile (muscle) à l'effort.

De plus, il est possible que la performance soit détériorée par une capacité moindre d'emmagasiner l'énergie élastique par le système musculo-tendineux suite à un pré étirement. En effet, la quantité d'énergie élastique pouvant être emmagasinée dans le système musculo-tendineux dépend de la rigidité de ce dernier et du degré d'extension produit par une force imposée. Une rigidité optimale du système musculo-tendineux, maximiserait la quantité d'énergie élastique emmagasinée et réutilisable.

Finalement, le mécanisme neural impliqué lors d'un étirement peut avoir des effets néfastes sur la performance. Un de ces effets est l'inhibition de l'activité réflexe d'étirement due à un potentiel myoélectrique induit lors de la phase excentrique de l'étirement. Ce potentiel réduirait la force du réflexe d'étirement. Enfin, le pré étirement passif du muscle nuit à la réponse neuro-musculaire proprioceptive, notamment dans l'appareil de Golgi. Ce dernier inhibe le réflexe d'étirement dans le muscle étiré, synergique et collatéral lorsque une tension externe est générée.



Figure n° 3 : diminution de la vitesse de course par l'effet aigu du stretching

En entraînement sportif de haut niveau, concrètement, cela signifie qu'un étirement passif peut avoir des impacts négatifs lors d'une épreuve nécessitant une grande puissance et force musculaires, particulièrement en sprint! Par exemple, dans tel cas, l'entraîneur pourrait éviter une période de pré étirement passif des muscles du genou et de la hanche afin de maximiser la vitesse lors du sprint. Cela pourrait sans doute contredire la perception générale qu'un étirement passif avant un exercice vigoureux est une pratique prudente.

Le test (avant stretching) et le test (après stretching), pendant les deux phases de l'expérimentation ont évalué de façon différente les transformations opérées dans les comportements des joueurs en qualité de vitesse. Autrement dit, les conclusions que l'étudiant chercheur peut tirer à la suite de la phase 1 et la phase 2 permette de déduire que le stretching a donné une valeur différente aux résultats obtenues par les joueurs. Deux outils ont donc servi à apprécier :

Les effets des deux variables « stretching passif prolongé » et « performance motrice » dans la détérioration des résultats.

Le recoupement des résultats est la manifestation concrète des effets négatifs du stretching passif prolongé sur la performance motrice en sprint.

« Une étude récente démontre que l'étirement prolongé d'un groupe musculaire diminue l'activation et la force contractile et réduit la force maximale isométrique du groupe musculaire jusqu'à une heure après l'étirement (moins de 28 % immédiatement après l'étirement, moins neuf pour 101 heure après). Cette réduction de force est également observée lors d'exercices de force maximaux concentriques précédés d'étirements. »

« Si l'étudiant chercheur en juge par les études récentes il est possible de conclure que les étirements réalisés pendant l'échauffement diminuent la production de force musculaire, réduisent l'activité réflexe et diminuent la performance lors d'activités de puissance (sauts verticaux, sprints etc.)»⁽¹⁾

Pour s'y retrouver, l'important est de bien différencier les effets immédiats (dits aigus) des effets à long terme (dits chroniques) de la pratique régulière des étirements. C'est ce que nous allons faire dans cet article.

Il a été observé par De Vries, dès 1961-1963, que les étirements entraînent une baisse de performance lorsqu'ils sont intégrés aux séances d'entraînement au sprint. Depuis, aucune étude sérieuse n'avait été entreprise pour analyser objectivement les effets réels (et non supposés) des étirements sur le comportement de nos muscles.

Il a fallu attendre les années 90 pour voir apparaître des publications où de telles analyses étaient réalisées.

¹ Miller Christian (directeur du laboratoire de biomécanique de l'INSEP) 2003 lettres des entraîneurs numéro 39

Résultats : à la fin d'une séance d'étirements, on observe effectivement une diminution systématique de la force, de la puissance et de la vitesse de mouvement et donc de nos performances. Il semble que cet effet soit d'autant plus marqué que la séance d'étirements a été longue. Mais, il suffit de répéter 3 étirement de 15 secondes après un échauffement « standard » sur les mollets pour voir se manifester une diminution facilement mesurable (environ de 7 à 8 %) de la performance de détente verticale lors d'un saut en contre bas (test de puissance) chez des gymnastes de niveau national. Tout se passe comme si les muscles devenaient tout mous et incapables de produire le meilleur d'eux-mêmes.

Implications pratiques : réaliser des étirements au cours d'un échauffement n'est pas la meilleure façon de préparer nos muscles à l'exercice qui va suivre, surtout si celui-ci comporte une grande proportion de force ou de puissance. Mieux vaut exécuter des mouvements de plus en plus dynamiques et proches de ceux que l'on utilisera au cours de la séance.

Or, si l'on y réfléchit bien, l'effet premier que l'on recherche en pratiquant les étirements est effectivement le relâchement ou la décontraction de nos muscles ! Alors il ne faut pas s'étonner d'un tel résultat... Il est même tout à fait logique. Par contre, il va à l'opposé des pratiques observées sur le terrain. C'est indéniable. D'où le problème rencontré par certains à changer des habitudes « ancestrales ». Par ailleurs, les étirements statiques (passifs ou actifs) provoquent une diminution de la température corporelle incompatible avec un bon niveau de préparation lors d'un échauffement.

Mais, en gardant en tête que les étirements sont en premier un outil de relaxation musculaire, on ne fera aucune erreur de jugement à les placer en fin de séance d'entraînement, là où l'on souhaite par exemple diminuer les tensions résiduelles liées à une séance difficile en cours de saison mais dont la sévérité ne dépasse pas trop les capacités maximales de l'organisme. Nous y reviendrons.⁽¹⁾

¹ Pascal Prévost ScienSport© - Techniques d'amélioration de la souplesse. 2005, p : 7-17.

5-Comparaison et analyse des résultats des joueurs selon les postes :

	Sprint de 30m	moyenne	Sprint de 40m	moyenne
défenseurs	4.45	4.64	5.67	5.92
	4.50		5.67	
	4.67		5.96	
	4.7		6.05	
	4.72		6.08	
	4.8		6.12	
	Sprint de 30m	moyenne	Sprint de 40m	moyenne
Milieux	4.52	4.57	5.68	5.79
	4.53		5.74	
	4.55		5.77	
	4.56		5.8	
	4.59		5.84	
	4.72		5.93	
	Sprint de 30m	moyenne	Sprint de 40m	moyenne
attaquants	4.23	4.33	5.45	5.59
	4.24		5.58	
	4.36		5.61	
	4.4		5.66	
	4.44		5.66	

-Tableau n° 10 : Performances en sprint selon les postes

6-Interprétation des résultats :

Un premier regard sur le tableau n°10 nous révèle que le groupe des attaquants et des milieux de terrain ont des performances élevées par rapport au groupe des défenseurs, sauf les deux premiers qui sont des arrières latéraux (4.45 ; 4.50) et (5.67 ; 5.67) respectivement au 30m et 40m.

Cette différence de moyenne entre les trois axes (**D** :4.64 ; **M** :4.57 ; **A** :4.33) au 30m et (**D** :5.92 ; **M** :5.79 ; **A** :5.59) au 40m s'explique par la spécificité de chaque poste. Pour être plus précis, ces résultats orienteront directement l'entraînement spécifique d'un joueur évoluant à un poste donné selon les types de sprint qu'il effectue durant un match (nombre, distance, temps de récupération entre, action préalable au sprint...).

Après cette petite analyse, l'étudiant chercheur peut conclure à ce que l'entraînement sportif moderne qui est conçue sur l'individualisation et la spécialisation exige à chaque fois la remise en question de certaines techniques et méthodes d'entraînement. C'est avec les moyens et les outils scientifiques disponibles, ainsi que les laboratoires de recherches mis à la disposition des cadres sportifs que les études expérimentales peuvent avoir lieu et offriront

des explications convaincantes à toutes controverses, on évitons les connaissances transmises de nul parts attribuées de vertus sans se demander pourquoi ? Comme ceux qui disent qu'il suffit d'un simple stretching pour mieux préparer l'organisme à l'effort ou bien pour une meilleure récupération sans savoir ce qui se passe vraiment au cour de cette pratique imprudente.

CHAPITRE III

Discussion générale.

Discussion générale

A la recherche des effets aigus des étirements prolongés sur les performances en sprint, l'étudiant chercheur a étudié le comportement des joueurs de football de la division 2 de Sidi-Bel-Abbès catégorie junior pendant les courses de vitesse après les avoir soumis à des situations d'échauffement différentes sous l'effet des étirements passifs prolongés. Cependant, les résultats en laboratoire ne peuvent pas toujours directement prédire les effets sur les performances sportives en milieux pratiques. , l'étudiant chercheur a donc voulu déterminer si les impacts négatifs ou positifs des étirements pré-entraînement étaient applicables aux sports impliquant de l'impulsion. J'ai mis en jeu principalement deux variables :

- le stretching passif prolongé
- la performance en sprint

C'est en comparant les temps réalisés de chaque joueur après la course de 30 mètres entre la phase (a) et (b), ainsi que pour la course de 40 mètres ,c'est-à-dire en appréciant la différence de distance, principalement cel de 30 mètres, que nous arrivons à déterminer si les impacts négatifs ou positifs des étirements pré exercices étaient applicables aux sports impliquant de l'impulsion, de la force vitesse et de la force explosive.

1)Vérification de l'hypothèse 1 :

- Les étirements prolongés avant l'épreuve de sprint n'auront pas d'effets sur la performance : Les résultats recueillis à la fin du plan expérimental (30m après : $4.74 \pm 0,17$ sec. , 40m après: $5.89 \pm 0,17$ sec.) font ressortir que les athlètes ont réalisé des performances moins bonnes que celles du début du plan expérimental (30m avant $4.52 \pm 0,16$ sec ,40m avant 5.78 ± 0.19).

Vus les résultats obtenus à l'issue de l'analyse précédente notre hypothèse 1 doit être rejetée, à savoir que Les étirements prolongés avant l'épreuve de sprint n'auront pas d'effets sur la performance.

L'étudiant chercheur a mis cette première hypothèse (1) on ce référant a une ancienne étude qui est celle de De Vries (1963).

C'était La première étude à avoir tenté de répondre à cette question. Il a étudié l'effet des étirements préexercices sur le temps de course d'une épreuve de vitesse sur 100 m. Les résultats recueillies sur quatre sujets ont montré que les étirements n'avaient pas un impact négatif sur le temps au 100 m, exercice dans lequel la puissance musculaire joue un très grand rôle. Pourtant une autre étude publiée l'année suivante rapporta que les performances de

vitesse étaient améliorées lorsqu'une séance d'étirements était incluse dans le programme d'entraînement (Dintiman, 1964) ; des résultats confirmés beaucoup plus tard par d'autres études impliquant la force (Worrel et coll., 1994 ; Kokkonen et Lauritzen, 1995).

Depuis cette étude pilote, de nombreux chercheurs se sont penchés sur la pertinence de faire des étirements préexercices, en mesurant les niveaux de production de force et/ou de puissance dans différentes conditions (isométrique, isocinétique, dynamique), mais aussi les variations de la performance elle-même.

Dans un article publié en 1998, Kokkonen et coll. ont demandé à leurs sujets, après avoir fait un test de souplesse, de suivre une série de 5 étirements statiques passifs des muscles de la hanche, de la cuisse et du mollet. Cette série était répétée 3 fois de suite par le sujet seul, puis 3 fois de suite avec l'assistance des expérimentateurs. Les étirements étaient maintenus durant 15 s (3 fois) avec des pauses de 15 s entre chaque. Une phase de récupération de 10 min était alors imposée avant de refaire un test de souplesse puis de réaliser un test de force (1RM) au niveau des muscles du genou. Ils notèrent une amélioration de la souplesse de 16% alors que la 1RM diminua de 7,3% en flexion et de 8,1% en extension.

2) Vérification de l'hypothèse 2 :

- Les étirements prolongés avant l'épreuve de sprint auront des effets (positifs ou négatifs) sur la performance.

Les résultats recueillis à la fin du plan expérimental (30m après : $4.74 \pm 0,17$ sec. , 40m après: $5.89 \pm 0,17$ sec.) font ressortir que les athlètes ont subi les effets négatifs de la variable « étirement prolongé » et se sont montrés plus négatifs (compliants). En effet la comparaison de ses résultats avec ceux du début du plan expérimental (30m avant $4.52 \pm 0,16$ sec ,40m avant 5.78 ± 0.19) permette de dégager une différence significative. Ceci dénote que les étirements passifs prolongés ont tendance à détériorer les résultats lorsqu'ils sont placés en phase d'échauffement.

Ces résultats constituent donc une réponse à notre hypothèse 2, à savoir que Les étirements prolongés avant l'épreuve de sprint auront des effets négatifs sur la performance.

L'étudiant chercheur rejoint à cet effet les résultats de Fowles et coll. (2000) qui sont arrivés à la même conclusion. Dans leur étude, ils ont demandé à des sujets de réaliser, pendant 30 min, des étirements passifs très longs (135 s), jusqu'au seuil maximal de douleur tolérable par le sujet, entrecoupés de pause (19 s). La contraction volontaire maximale a diminué de plus de 25 %.

L'activation des unités motrices et la force contractile diminuèrent pendant les 15 minutes qui suivirent cette session. Par contre, l'effet sur la force musculaire persista une heure après la session. Ces données indiquent que l'étirement prolongé d'un muscle diminue la force volontaire jusqu'à UNE HEURE après l'étirement, confirmant les observations 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.

Il semble néanmoins nécessaire de faire une distinction entre les effets qui s'opèrent sur les facteurs nerveux et ceux qui touchent les facteurs mécaniques vu que les délais de récupération sont différents pour chacun d'eux. Ainsi, la tension passive du complexe musculo-tendineux diminue suite à une séance d'étirements ; cela correspond au fait qu'il faut moins de force externe pour provoquer l'allongement d'un muscle relâché lorsqu'on veut atteindre un angle donné. 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). Par conséquent, quelle que soit la technique utilisée, les effets négatifs sur la performance sont présents.

McNeal et Sand (2001) ont fait faire à des gymnastes féminines (de niveau national) une série de 3 étirements statiques classiquement utilisés sur le terrain, durant 2 x 30 s (soit un total de 3' d'étirements), le tout avant de réaliser trois sauts en contre-bas à partir d'une caisse, suivi d'une impulsion (également appelé "drop-jump"). Ce type de saut rend compte de la façon dont le cycle étirement-détente est utilisé lors d'un exercice sollicitant la puissance musculaire. Les auteurs ont noté une diminution de 8% de la hauteur du saut (respectivement 0.268 m vs. 0.246 m sans vs avec étirements préalables, soit 2,2 cm de différence !) selon que l'on plaçait cette série d'étirements ou non avant ce test de puissance. Le temps passé en l'air était diminué de 9,6 % (McNeal et Sand, 2003). Ces résultats rejoignent ceux déjà cités de Kokkonen et coll. (1998), mais aussi ceux de Cornwell et coll. (2002) concernant la force maximale, mais montre un effet plus important (entre 4,3 et 4,4 % pour le saut en 1/2 squat et le saut avec un contre-mouvement).

De nombreux travaux ont aussi montré que les étirements passifs induisent une diminution aiguë de la capacité de production de force (Shrier, 2004) lors de contractions isométriques (Fowles *et al.*, 2000; Kokkonen *et al.*, 1998; Nelson et Kokkonen, 2001; Weir *et al.*, 2005) et dynamiques (Cornwell *et al.*, 2002; Cramer *et al.*, 2004, 2005; Evetovich *et al.*, 2003; Marek *et al.*, 2005; Nelson *et al.*, 2001; Nordez et Cornu, 2005).

Deux principales hypothèses ont été formulées pour expliquer la diminution de la production de force après les étirements (Cornwell *et al.*, 2002; Cramer *et al.*, 2004, 2005; Weir *et al.*,

2005). *i*) une diminution des niveaux d'activité électrique musculaire lors de contractions réalisées après étirements (Avela *et al.*, 1999; Cramer *et al.*, 2005; Fowles *et al.*, 2000; Marek *et al.*, 2005).

Par exemple, Cramer *et al.* (2005) ont montré que le pic de couple et les niveaux d'activité électromyographiques de muscles étirés sont diminués lors de contractions réalisées à différentes vitesses. *ii*) Une modification des propriétés mécaniques des muscles, qui se traduirait par une diminution de la raideur des tissus conjonctifs (*e.g.* Cornwell *et al.*, 2002; Cramer *et al.*, 2005; Gajdosik, 2001). Ces tissus contribuent à la transmission de la force produite par les tissus contractiles (*e.g.* Huijing, 1999). Une diminution de leur raideur pourrait réduire l'efficacité de la transmission et donc induire une diminution de la production de force par l'ensemble musculo-tendineux (*e.g.* Wilson *et al.*, 1994).

Les résultats d'Antoine NORDEZ, « Caractérisation et modélisation du comportement mécanique du complexe musculoarticulaire en conditions passives. Influence de protocoles d'étirements cyclique et statique », p139-142 ont montré que les étirements cycliques induisent une augmentation de la *RMA* en fin d'amplitude de mouvement et une tendance à la diminution au début de cette amplitude. Il ne semble donc pas que les modifications de propriétés mécaniques passives du CMA puissent expliquer la diminution de production de force à la suite d'étirements cycliques. Par ailleurs, ses résultats montrent que la diminution de *RMA* à la suite d'étirements statiques serait principalement expliquée par une augmentation de la longueur des muscles et que la raideur intrinsèque du système n'est pas modifiée. Ces résultats ne permettent donc pas d'affirmer que la qualité de la transmission de la force musculaire est réduite après les étirements statiques. Néanmoins, cette augmentation de la longueur des muscles peut avoir une incidence sur la production de force du système puisque :

i) La force musculaire totale est la somme d'une force produite par les tissus contractiles et d'une force produite par l'étirement des structures passives placées en parallèle des tissus contractiles (Goubel et Linsel-Corbeil, 2003). Les étirements induisent une diminution de la force produite par les structures parallèles, qui pourrait au moins partiellement expliquer la diminution de production de force maximale lors de contractions réalisées avec un niveau de pré-étirement important des muscles. *ii*) L'augmentation de la longueur des muscles pourrait induire un décalage vers la droite de la relation couple-angle obtenue en contraction. En effet, dans la littérature, les effets des étirements sur la production de force ont généralement été déterminés à un angle donné, ce qui n'a pas permis de déterminer les possibles implications d'un décalage de la relation couple-angle (Cramer *et al.*, 2005). Ces deux hypothèses n'ont, à notre connaissance, pas été testées dans la littérature. Elles pourraient donc faire l'objet de

futures études afin d'apprécier l'incidence de l'augmentation de la longueur des muscles étirés sur les capacités de production de force du système. Ses résultats permettent de mieux appréhender certains mécanismes qui sont mis en jeu lors d'un protocole d'étirements passifs cycliques ou statiques. Néanmoins, les effets de ses deux protocoles d'étirement ont été caractérisés immédiatement à la fin de ceux-ci.

Le temps pendant lequel les modifications induites par les étirements s'expriment n'a donc pas été étudié dans ses travaux. Certains auteurs ont montré que les modifications de propriétés mécaniques passives à la suite d'étirements sont annulées après un temps de repos inférieur à 10 minutes (Magnusson *et al.*, 1998). Il est donc possible que les modifications ne soient effectives qu'après une courte période suivant les étirements. Afin de mieux comprendre les effets des étirements passifs ainsi que leurs incidences pratiques, de futures études pourraient s'intéresser à caractériser la cinétique des différentes propriétés mécaniques passives du CMA à la suite d'étirements.

Il me semble donc important, après avoir évalué de façon réaliste les capacités des sujets en matière de vitesse précédée d'étirement, de dire que quelque soit la méthode d'étirement utilisé elle est à déconseiller aux athlètes avant une épreuve exigeant de l'explosivité (vitesse, force, détente) « Par conséquent, quelle que soit la technique utilisée, les effets négatifs sur la performance sont présents ». (Nelson et Kokkonen, 2001c). , sauf les disciplines qui demande une grande amplitude et un grand degré de liberté de mouvement comme la gymnastique, le patinage artistique...etc. qui échappent à cette règle.

Nos résultats coïncident avec l'Etude de Fletcher IM, Anness R.(1) **The Acute Effects of Combined Static and Dynamic Stretch Protocols on Fifty-Meter Sprint Performance in Track-and-Field Athletes.** J Strength Cond Re. 2007;21(3):784-787 ; ils ont conclue que : « les étirements passifs, mêmes combinés avec des étirements dynamiques augmentent le temps de la performance au 50m. Cela est du entre autre au fait qu'ils inhibent les muscles agonistes et synergiques. Alors il est complètement déconseillé de prescrire des étirements de types statiques-passifs. »

Conclusion générale

Conclusion générale et recommandations :

Pendant longtemps, une croyance populaire établissait que les étirements passifs pré-entraînement pouvaient augmenter les performances et même prévenir les blessures lors d'activités sportives quelconque. Cependant, de nouvelles recherches expérimentales démontrent que ceci n'est pas le cas, et que les étirements passifs peuvent même devenir un handicap durant les performances sportives nécessitant une force ou une puissance musculaire maximales comme les sports collectifs qui sont devenus des épreuves exigeant une grande capacité de force et de vitesse. De nombreuses recherches démontrent que les étirements passifs créent une diminution de force en phase concentrique, et une diminution de puissance musculaire des membres inférieurs.

Cependant, les résultats en laboratoire ne peuvent pas toujours directement prédire les effets sur les performances sportives en milieux pratiques. Nous avons donc voulu déterminer si les impacts négatifs ou positifs des étirements pré-entraînement étaient applicables aux sports impliquant de l'impulsion.

Lors du sprint, une force explosive est requise au commencement de la course, ainsi que durant chaque pas. La performance, lors de cette activité, peut donc être négativement ou positivement influencée tout au long de la course. De ce fait, l'objectif principal de cette recherche était de déterminer si les étirements passifs pré-entraînement nuisent à l'impulsion des blocs au départ de la course.

Les résultats les plus marquants ont été remarqués entre le protocole de non étirement et le protocole d'étirement. En effet, il y avait une différence significative entre les conditions d'étirement lors de l'analyse post-exercice; 30m après : $4.74 \pm 0,17$ sec. , 40m après: $5.89 \pm 0,17$ sec.. Par contre, on a remarqué que le temps du sprint est amélioré lorsque effectué sans un pré étirement : 30m avant $4.52 \pm 0,16$ sec ,40m avant 5.78 ± 0.19 .De plus, on a obtenu des résultats similaires lors de l'analyse pour chaque essai

Les résultats s'expliquent par un mécanisme mécanique et neural. Le système musculaire et tendineux deviennent moins rigides suite à un étirement et nuisent aux propriétés contractiles et élastiques du muscle. En effet, une rigidité accrue du système contribuerait à un plus grand allongement de la composante élastique (tendons, ligaments, os) et à une meilleure vitesse de raccourcissement de la composante contractile (muscle) à l'effort.

De plus, il est possible que la performance soit détériorée par une capacité moindre d'emmagasiner l'énergie élastique par le système musculo-tendineux suite à un pré étirement. En effet, la quantité d'énergie élastique pouvant être emmagasinée dans le système musculo-

tendineux dépend de la rigidité de ce dernier et du degré d'extension produit par une force imposée. Une rigidité optimale du système musculo-tendineux, maximiserait la quantité d'énergie élastique emmagasinée et réutilisable.

Finalement, le mécanisme neural impliqué lors d'un étirement peut avoir des effets néfastes sur la performance. Un de ces effets est l'inhibition de l'activité réflexe d'étirement due à un potentiel myoélectrique induit lors de la phase excentrique de l'étirement. Ce potentiel réduirait la force du réflexe d'étirement. Enfin, le pré étirement passif du muscle nuit à la réponse neuro-musculaire proprioceptive, notamment dans l'appareil de Golgi. Ce dernier inhibe le réflexe d'étirement dans le muscle étiré, synergique et collatéral lorsque une tension externe est générée.

En entraînement sportif de haut niveau, concrètement, cela signifie qu'un étirement passif peut avoir des impacts négatifs lors d'une épreuve nécessitant une grande puissance et force musculaires, particulièrement en sprint! Par exemple, dans tel cas, l'entraîneur pourrait éviter une période de pré étirement passif des muscles du genou et de la hanche afin de maximiser la vitesse lors du sprint. Cela pourrait sans doute contredire la perception générale qu'un étirement passif avant un exercice vigoureux est une pratique prudente.

Il faut cependant souligner que les participants ont fait l'épreuve dix minutes après le dernier étirement. Il n'est pas certain que les effets seront similaires après 30 min ou une heure comme la indique Cometti.gilles,⁽¹⁾ dans ses articles, « les limites du stretching pour la performance sportive ». De plus, le sprint de 30m et 40m en football était grandement plus court que les sprints de compétitions standards en athlétisme: 100 m et 200 m. Ces faits relatés nous indiquent qu'il manque possiblement des données pour confirmer les applications pratiques.

L'une des vocations de la recherche est de questionner les croyances de longue durée, les mythes et les traditions. A l'heure actuelle, certaines pratiques de terrain n'ont toujours pas été validées par des études scientifiques où l'on compare de façon objective deux groupes d'individus dont l'un sert de groupe contrôle pour vérifier les effets réels de telle ou telle technique. Les étirements n'échappent à cet état de fait. D'aucun les considère comme efficaces en ne s'appuyant que sur des connaissances *a priori* et sur des idées reçues ou transmises dans ou hors des circuits de formation soit par les formateurs, soit par les entraîneurs, soit par les sportifs eux-mêmes (résultat d'une mauvaise formation ou information ou de l'absence de remise en cause de nos propres compétences et

¹ COMETTI Gilles, « les limites du stretching pour la performance sportive », 1^{ère} édition, UFRSTAPS Dijon : intérêt des étirements avant et après la performance, 2004 .

connaissances). Ces croyances ne font que freiner la diffusion ou l'utilisation de techniques d'entraînement qui vont à l'opposé de ce qui est actuellement fait sur le terrain et dont l'efficacité a pourtant été démontrée objectivement. Aujourd'hui encore, la spéculation triomphe sur les données. L'analyse de publications plus ou moins récentes, traitant des effets des étirements sur la performance et sur la prévention des risques de blessures, n'échappe pas à cette règle. Plusieurs faits intéressants en émergent et la plupart vont à l'encontre de ces pratiques de terrain considérées comme « efficaces ».

Les étirements réalisés pendant l'échauffement, avant une séance d'entraînement, ou pire, avant une compétition, induisent des modifications immédiates de la fonction musculotendineuse qui peuvent nuire à la performance sportive. Ceux-ci ont apparemment un effet inverse à celui supposé ou désiré. Ceci est valable uniquement pour l'entraînement qui suit et non pour l'entraînement à long terme. En effet, un programme d'étirements durant 3 à 12 semaines améliore la force des extenseurs des genoux tout autant que leur souplesse (Dintiman 1964⁽¹⁾, Kokkonen et al. 1995⁽²⁾, Worrel et al. 1994⁽³⁾).

Par contre, il semblerait également qu'ils ne permettent pas de diminuer les risques de blessure surtout dans les phases initiales d'un nouvel apprentissage, d'une augmentation d'intensité d'entraînement ou durant un programme de renforcement musculaire à dominante excentrique. Ils n'ont donc pas les effets soi-disant "bénéfiques" qu'on leur reconnaît en particulier dans ces phases d'entraînement. Par exemple, dans la phase initiale d'un apprentissage, que l'on fasse ou non des étirements n'empêchera pas l'apparition des courbatures compte tenu des nouvelles contraintes imposées l'organisme au niveau moteur et/ou énergétique qui sont pour le moins inhabituelles. Mais cela ne remet en rien en cause leur efficacité une fois cette période terminée.

Par contre, leurs effets sont tels qu'il est plutôt conseillé de les utiliser comme technique de récupération post-exercice, sauf si le risque d'apparition de courbatures à l'issue de la séance est faible. Dans le cas contraire, on exposerait l'athlète à un ralentissement des processus de régénération musculaire mis en oeuvre dès les premières heures qui suivent la

¹ Dintiman GB. Effects of various training programs on running speed. Res. Quarterly 1964, 35 : 456-463

² Kokkonen J, Lauritzen S, Isotonic strength and endurance gains through PNF stretching. Med. Sci. Sports Exerc. 1995, 27, S 22

³ Worrell TW, Smith TL, Winegardner J. Effect of hamstring stretching on hamstring muscle performance. J. Orthop. Phys. Ther. 1994, 20 : 154-159.

séance à l'origine de ces traumatismes (Philips, 2000)⁽¹⁾. La fonction musculaire ne sera pas alors dans la possibilité de retrouver aussi rapidement que prévu ses capacités maximales.

C'est en ayant conscience de ces différents problèmes que les étirements pourront répondre parfaitement aux attentes des sportifs et de leurs entraîneurs.

Cette prise de conscience passe par la compréhension :

1°) des phénomènes de réaction et d'adaptation du muscle à l'entraînement et

2°) des différents types d'effets (immédiats et à long terme) que provoquent les étirements sur le système musculo-tendineux.

Dans les deux cas, nous ne sommes pas encore au bout de nos surprises à en croire les résultats rapportés par certains concernant le recul du seuil de douleur pendant l'entraînement de la souplesse. Il reste, malgré tout, beaucoup de zones d'ombre concernant ces effets, notamment en ce qui concerne la compréhension des mécanismes qui entrent en jeu et qui permettraient d'expliquer pourquoi on observe une baisse de performance en force/puissance/vitesse suite à une session d'étirements. Des études supplémentaires sont donc nécessaires avant de proposer des lignes directrices pour l'entraînement et qui seraient issues d'un consensus général entre les physiologistes sur ce thème (Gleim et McHugh, 1997)⁽²⁾.

Pour l'heure, force est de constater que nous ne devons surtout pas considérer pour acquis les pratiques transmises par nos entraîneurs ou nos formateurs, ou transmises dans les manuels d'entraînement. L'entraîneur doit être à même de faire une remise en cause quasi permanente de ses connaissances pour s'assurer que son action sur le terrain est réellement bénéfique à plus ou moins long terme pour la performance, et surtout réalisée dans le respect de l'intégrité physique du sportif.

¹ Philips SM, Short-term training : When do repeated bouts of resistance training exercise become training ? Can. J. Physiol. 2000, (3) : 185-193

² Gleim GW, McHugh MP. Flexibility and its effects on sports injury and performance. Sports Med. 1997, 24 (5) : 289-299

Les recommandations :

Nous apportons ici quelques recommandations qui nous paraissent intéressantes : - nous pouvons affirmer, suite aux différentes études et recherches pour connaître les effets des étirements sur l'effort physique que :

Des séances de stretching peuvent s'inscrire dans un programme de lutte contre les rétractions et de rééquilibrage musculaire. Seulement, elles doivent se tenir à distance des autres entraînements, d'un match ou d'une compétition

Les étirements ne doivent pas être bannis du processus d'entraînement mais doivent se fonder au sein de celui-ci comme une véritable séquence de travail qui permettra d'augmenter l'amplitude articulaire tout en améliorant la compliance tendineuse donc l'absorption d'une quantité d'énergie supérieure. Le sportif et/ou l'entraîneur devra donc veiller à limiter les effets négatifs que peuvent engendrer la pratique des étirements tout en maximisant ses effets positifs.

- Eviter les étirements avant une séance d'entraînement car ils entraînent une baisse de force
- Si vous pratiquez des étirements avant le corps de votre séance (la partie intense de l'entraînement) faites les précéder d'une phase d'échauffement dynamique (ligne droite).
- Ne pas pratiquer d'étirements après une séance intense dont on sait qu'elle va engendrer des courbatures.
- Ne pas étirer un muscle courbaturé au risque d'augmenter les lésions.
- Les étirements pourront être pratiqués après des séances non traumatisantes comme la natation, le vélo ou le footing lent sur terrain plat et souple.
- Insérer des séances d'assouplissement au sein de votre programme d'entraînement afin d'augmenter votre amplitude articulaire.

IL existe nombre de controverses sur l'utilisation et les effets des étirements dans le domaine sportif. La distinction et l'appropriation des différents exercices (assouplissements et étirements), ainsi que la connaissance des méthodes (actives & passives) utilisées et des effets qu'elles provoquent démontrent les bienfaits de pratiquer les étirements dans différentes approches.

« De nombreuses vertus ont été attribuées au stretching et en particulier dans le domaine sportif, les croyances ont été à la base de l'Intégration systématique des étirements dans la préparation physique des sportifs. Il s'agit de reconsidérer non pas les techniques mais les conditions d'application dans lesquelles les exercices peuvent être réalisés ».

Bibliographie

Bibliographie

- Abrahams V C, Lynn B, Richmond FJ. Organization and sensory properties of small myelinated fibres in the dorsal cervical rami of the cat. *J. Physiol.* 1984, 347: 177-178
- Alexandre Dellal, 2008, Ed de Boeck université, « de l'entraînement à la performance en football ».
- Alter M. J., *Science of flexibility*, Champaign, 1996
- Anderson B., *Stretching*, Waldeck-Dehringhausen, 1988
- Alter Steven. "Basic Ideas for Understanding Information Systems" in *Information Systems: a Management Perspective*, 2nd Edition, Benjamin Cummings, 1-9, 1996.
- BILLAT V., *Physiologie & méthodologie de l'entraînement*, page 46, collection Sciences et pratiques du sport, Ed. De Boeck Université, 1998
- Buroker K.C., Schwane J.A., Does post exercise static stretching alleviate delayed muscle soreness ? *Physician and sport Med.* 1989, 17:6, 65-83
- CAZORLA Georges « contribution à l'étude de la performance en natation, apport des sciences biologiques » Mémoire pour le diplôme de l'I.N.S.E.P. , Paris, 1978
- Cheung K, Hume PA, Maxwell L. Delayed Onset Muscle Soreness : Treatment strategies and performance factors. *Sporte Med.* 2003, 33.2 : 145-164
- 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
- Cometti Gilles Les limites du stretching pour la performance sportive : les effets physiologiques des étirements », - *Sport Med* n°150 mars 2003
- Cometti Gilles. « les limites du stretching pour la performance sportive ».partie 1 : intérêt des étirements avant et après la performance, 2004 .
- Connelly DAJ , Sayers SP , McHugh M. Treatment and prevention of delayed-onset muscle soreness. *J. Strength Cond. Res.* 2003, 17 : 197-208
- 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
- CORNU Ch. (laboratoire motricité, interaction, performance – UFR STAPS Nantes), in *Le tendon : un organe transmetteur proprioceptif*, S.S.P.P n°5, page 6, Mars 2003.
- DAUVEN, T. : **Encyclopédie des sports**, librairie Larousse, Paris, 1961, p.23
- De Vries HA. The “looseness” factor in speed and O₂ consumption of an anaerobic 100-yards dash. *Res Quaterly* 1963, 34 (3): 305-313
- Dintiman GB, Effects of various training programs on running speed. *Res. Quaterly* 1964, 35 : 456-463

- Enoka RM, Hutton RS, Eldred E. Changes in excitability of tendon tap and Hoffmann reflexes following voluntary contractions. *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.* 1980, 48 : 664-673
- Evans W. J., Cannon J. G., The metabolic effect of exercise-induced muscle damage, *Exercise and sport science reviews*, 1987, 99-125
- FAMOSE – 1988 (Aptitude et performance motrice - Revue EPS).
- Fourré Mathieu, Le karaté, préparation physique & performance, collection entraînement, INSEP Publications, 2003
- 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. Engelhardt , M. Konrad ,P. Jäger ,M. Gnewuch, Dehnen, A. Volume 37, Issue 1, pp 3-10, 1999, *Manuelle Medizin*, Springer-verlag.
- Frey G (1977) Zur terminologie und struktur physischer leistungsfactoren und motorischer fahigkeiten. *Leistungssport* 1977, 339-362
- Friden J., Lieber R. L., Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 24, 1992, 5, 521-530
- Gleim GW, McHugh MP. Flexibility and its effects on sports injury and performance. *Sports Med.* 1997, 24 (5) : 289-299
- Guissard N, Duchateau J, Hainaut K. Muscle stretch and motoneuron excitability *Euro.J. Appl. Physiol* 1988, 58 : 47-52
- Guissard N, Méthodes d'étirement musculaire : bases scientifiques et aspects pratiques, in « la planification de la préparation physique, (2000), éditions UFRSTAPS Dijon.
- 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.
- Hagbarth KE, Hagglund JV, Nordin M, Wallim EU. Thixotropic behavior of human finger flexor muscles with accompanying changes in spindle and reflex responses to stretch. *J. physio.* 1985, 368: 323-342
- Händel M, Horstmann T, Dickhuth HH, Gulch RW. Effects of contract-relax stretching training on muscle performance in athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1997, 76: 400-408
- Hufschmidt A et Mauritz KH. Chronic transformations of muscle in spasticity : A peripheral contribution to increase tone. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.* 1985, 46 : 676-685
- Henning E., Podzielny S., Die Auswirkung von dehn – und Aufwärmübungen auf die Vertikalsprungleistung, *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, , 1994 , 45:253-260
- Herbert RD, Gabriel M. Effect of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: systematic review. *Brit. Med. J.* 2002 , 325 : 468-470

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

Ichinose Y, Kanehisa H, Ito M, Kawakami Y, Fukunaga T. Morphological and functional differences in the elbow extensor muscle between highly trained male and female athletes. Eur. J. Appl. Physiol. 1998, 78: 109-114

Johns et Wright in FOX et MATHEWS (1981) bases physiologiques de l'activité physique. Traduit et adapté par François Péronnet. Paris : Vigot et Montréal : Décarie, 1981

Kilgore JB et Mobley BA, Additional force during stretch of single frog muscle fibres following tetanus Exp. Physiol. 1991, 76: 579-588

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, Lauritzen S, Isotonic strength and endurance gains through PNF stretching. Med. Sci. Sports Exerc. 1995, 27, S 22

Kokkonen, J., Nelson, A. G., & Cornwell, A. (1998). Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. Research Quarterly for Exercise and Sport, 69, 411 – 415.

Kokkonen, J., Nelsson, A.G. et al (2001) Acute stretching inhibits strength endurance performance. Medicine and sciences in sports and exercises, 33(5), supplement abstract 53.

Kubo K, Hiroshi K, Fukunaga T. Gender differences in the viscoelastic properties of tendon strictures. Eur. J. Appl. Physiol. 2003, 88: 520-526

Lakie M et Robson L (a). Thixotropic changes in human muscle stiffness and the effects of fatigue. Q. J. Exp. Physiol. 1988, 73 : 487-500

Lakie M et Robson L (b). Thixotropy: The effects of stretch size in relaxed frog muscle. Q. J. exp. physiol. 1988, 73: 127-129

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

Lieber RL, Friden J. Morphologic and mechanisms bases of delayed-onset muscle soreness. J. Am. Acad. Orthop. Surg. 2002, 10: 67-73

Lund H, Vestergaard-Poulsen P, Kanstrup IL, Sejrsen P. Isokinetic eccentric exercise as a model to induce and reproduce pathophysiological alterations related to delayed onset muscle soreness. Scand J Med Sci Sports. 1998, 8(4):208-215.

Le Petit Larousse, Dictionnaire: Ed Larousse n°9693, Paris avril 1978, p.970 Magnusson SP,

Simonsen EB, Aagaard P, Sorensen H, Kjaer M.(b). A mechanism for altered flexibility in human skeletal muscle. J. Physiol. 1996, 497: 291-298

Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Boesen J, Johennsen F, Kjaer M. Determinants of musculo-skeletal flexibility: viscoelastic, cross-sectional area, EMG and stretch tolerance. *Scand. J. Med. Sci. Sport* 1997, 7 : 195-202

Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Bojsen-Moller F. A biomechanical evaluation of cyclic and static stretch in human skeletal muscle. *Int.J.Sport Med.* 1998, 19 : 310-316

Magnusson SP, Aagaard P, Nielson JJ. Passive energy return after repeated stretches of the hamstring muscle-tendon unit. *Med. Sci. Sport Exerc.* 2000, 32 : 1160-1164

MAQUAIRE Ph.. Une approche de l'amélioration de la Mobilité, la souplesse par les étirements. *Master 2 recherche STAPS Laboratoire Recherche Littoral en Activités Corporelles & Sportives, (RELACS), ULCO*

Mastérovoï Liev , la mise en train : son action contre les accidents musculaires.

Liegkaya. *Atlitika(URSS)*, N°9 septembre 1964. Document INS N°560, traducteur M.Sprivak.

MATVEIEV (Aspects fondamentaux de l'entraînement – VIGOT, Paris, 1983)

Mc Hugh MP, Connolly DA, Eston RG, Kremenich IJ, Nicholas SJ, Gleim GW. The role of passive muscle stiffness in symptoms of exercise-induced muscle damage. *Am. J. Sport Med.* 1999, 27 (5) : 594-599

McNeal JR, Sand WA. Static stretching reduces power production. In *Gymnasts technique*, 2001, 21 : 5-6

McNeal JR, Sand WA, Acute static stretching reduces lower extremity power in trained children. *Pediatr. Exerc. Sci.* 2003, 15 : 139-145

Moller M, Ekstrand J, Oberg B, Gillquist J. Duration of stretching effect on range of motion in lower extremities. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 1985, 66: 171-173

MONOD H. & FLANDROIS R., in *Physiologie du Sport*, page 68, 5ème édition, MASSON, 2003

Moore MA, Kukulka CG, Depression of Hoffmann reflexes following voluntary contraction and implications for proprioceptive neuromuscular facilitation therapy. *Physical Therapy*, 1991, 71: 321-333

Nelson, A. G., Guillory, I. K., Cornwell, A., & Kokkonen, J.(2001a). Inhibition of maximal voluntary isokinetic torque production following stretching is velocity specific. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15, 241 – 246.

Nelson, A. G., Allen, J. D., Cornwell, A., & Kokkonen, J. (2001b). Inhibition of maximal voluntary isometric torque production by acute stretching is joint-angle specific. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72, 68 – 70.

Nelson, A. G., & Kokkonen, J. (2001c). Acute ballistic muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72, 415 – 419.

Nelson AG, Kokkonen J, Eldredj C, Cornwell A, Glickman-Weiss E. Chronic stretching and running economy. *Scand. J. Med. Sport* 2001(d), 11 : 260-265

Newton PO, Woo SL, Mackenna DA, Akeson WH. Immobilisation of the knee joint alters the mechanical and ultrastructural properties of the rabbit anterior cruciate ligament. *L. Orthop. Res.* 1995, 13 : 191-200

Norbert Grau. Dans Cf ouvrage de: *Le Stretching Global Actif* 2002.

PARLEBAS Pierre (*Le sport fait social*) 1981

Pascal Prévost Sciensport© - *Techniques d'amélioration de la souplesse.* 2005, p : 7-17. (Pascal Prévost Docteur en physiologie et biomécanique de la performance motrice).

Pasquer Dr G. & coll, *échauffement du sportif*, éditions Amphora, juin 2004.

Philips SM, Short-term training : When do repeated bouts of resistance training exercise become training ? *Can. J. Physiol.* 2000, (3) : 185-193

PLATONOV « *la préparation physique spécifique des nageurs de haut niveau* 1979

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):165-17

Pope et coll., 2000 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

Proske V, Morgan DL, Gregory JE. Thixotropy in skeletal muscle spindles: A review. *Prog. Neurobiol.* 1983, 41: 705-721

PRINCIPES D'ANATOMIE ET DE PHYSIOLOGIE TORTORA ET GRABOWSKI –
De Boeck Université (pp. 399, 400).

Schober, H., W. Kraif, G. Wittekop, H. Schmidt, Beitrag zum Einfluß verschiedener Dehnungsformen auf das muskuläre Spannungsverhalten 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, 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

Taylor DC, Dalton JD, Jr Seaber AV, Garrett WEJ. Visco-elastic properties of muscle-tendon units. The biomechanical effects of stretching *Am.J. Sport 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

- Ullrich K., Gollhofer A., Physiologische Aspekte und Effektivität unterschiedlicher Dehnmethoden, *Sportmedizin*, 45, 1994, 336-345.
- Van Mechelen W, Holbil H, Kemper HC, Voorn W-J, De Jongh HR. Prevention of running injuries by warm-up, cool-down and stretching exercises. *Am.J. Sport Med.* 1993, 21(5): 7-11
VIEL & ESNAULT Eric VIEL & Michèle ESNAULT, page 35
- Wiemann K., Kamphövner 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 ... vor Höchstleistungen. *de Leistungssport*, 4, 2000, 5-9,
- WEINECK Jürgen, *Manuel d'entraînement*, 4ème édition, Editions VIGOT, Novembre 2003.
- 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.
- Wiegner AW. Mechanisms of thixotropic behavior at related joints in the rat. *J.Appl.Physiol.* 1987, 62: 1615-1621
- Wiemann K., Klee A., Die Bedeutung von Dehnen und Stretching in der Aufwärmphase vor Höchstleistungen. *de Leistungssport*, 4, 2000, 5-9,
- Wiktorson-Möller M and al. Effect of warming up, massage and stretching on range of motion and muscle strength in the lower extremity. *Am. J. Sports. Med.* 1983, 11 :249-252
- Wilson GJ, WOOD GA, Elliot BC. Optimal stiffness of the series elastic component in a stretch-shorten cycle activity. *J. Apply. Physiol.* 1991, 70: 825-833
- Wilson GJ, Murphy AJ, Pryor JF. Musculo-tendinous stiffness: its relationship to eccentric, isometric, and concentric performance. *J. Apply. Physiol.*, 1994, 76: 2714-2719
- Worrel TW, Smith TL, Winegardner J. Effect of hamstring stretching on hamstring muscle performance. *J. Orthop. Phys. Ther.* 1994, 20 : 154-159
- Wydra G., *Stretching – ein Überblick über den aktuellen Stand der Forschung*, *Sportwissenschaft*, 27, 1997, 4, 409-427
- Xhardez, Y. VADE-MECUM de KINESITHERAPIE, Ed. Maloine Cours de neurologie et de pédiatrie de l'Ecole de Physiotherapeutes de Genève
- Ziltener J.L., Allet L., Monnin D. Cf .Le stretching, un mythe... et des constats. *J Traumat.sport*, vol 22, n°2, 2005.

Annexe

ANNEXE 1

NOM

DATE

PRENOM

AGE

DISCIPLINE

HEURE

QUESTIONNAIRE DESTINE AUX ENSEIGNANTS, ENTRAINEURS ET ATHLETES

(ENQUETE SUR LES ETIREMENTS)

Nous vous serons gré de nous prêter main forte en répondant à ce questionnaire.

Cette collaboration va nous aider à préparer un mémoire de MAGISTER intitulé :

« L'effet des étirements pré-exercices sur la performance. »

Nous remercions tous les gens de terrain qui vont contribuer à la réalisation pratique de cette recherche.

Pouvez-vous me donner votre définition de l'étirement ?

- Geste lié à la souplesse.
- Allongement maximum d'un muscle.
- Geste accompli pour augmenter l'élasticité d'un muscle.
- Retrouver une longueur et un volume de repos des muscles.

Pour quel but vous étirez-vous ?

- Gain de souplesse.
- préparation à l'effort.
- Prévention des blessures.
- Pour gagner en amplitude.
- pour une meilleure récupération.
- Décontraction physique.

- Décontraction psychique.
- Amélioration de la performance.

Quels groupes musculaires étirez-vous ?

- Ischio-jambiers.
- Quadriceps.
- Adducteurs.
- Triceps sural.
- Chaîne postérieur.
- Autres :.....
.....

Quand vous étirez-vous ?

- Pendant l'entraînement.
- Une séance spéciale d'étirement.
- Avant une compétition.
- Après une compétition.
- A la partie finale de l'échauffement.
- Au début de l'échauffement.
- A la fin d'une séance d'entraînement.

Utilisez-vous des étirements court ou prolongés ?

Si courts :

Si prolongés :

Combien de répétitions ?

Combien de répétitions ?

1 à 5 rep

10 à 15 rep

5 à 10 rep

15 à 20 rep

La durée de chaque rep

- 0 à 6 sec
- 6 à 12 sec

La durée de chaque rep

- 0 à 15 sec
- 15 à 30 sec
- 30 secs à 1 min

Quel type d'étirements utilisez-vous ?

- Etirements statique.
- Etirement dynamique.
- Etirement actif.
- Etirement passif.
- Etirement balistique.
- Etirement en PNF (assouplissement neuro-musculaire proprioceptif).

Quels sont les effets souhaités de la pratique des étirements ?

- Améliorer la performance.
- Prévenir les blessures.
- Favoriser une récupération rapide.

D'après vous, est ce que les étirements pré-exercices nuisent à la performance ?

Oui Non

Pourquoi ?

.....

.....

.....

.....

ANNEXE 3

-Tableau n°1 : Résultats des tests et des retests de l'expérience préliminaire

TEST	RETEST	TEST	RETEST
30m	30m	40m	40m
4.52	4.53	5.91	5.92
4.23	4.20	5.56	5.55
4.5	4.5	5.13	5.14
4.72	4.75	5.94	5.96
4.24	4.20	6	6
4.7	4.7	5.8	5.8
4.44	4.40	5.44	5.44
4.6	4.6	6	6.2
4.4	4.4	6.34	6.3
4.45	4.49	6.1	6.2
4.8	4.82	5.84	5.80
4.36	4.32	6.03	6
4.59	4.51	6.25	6.24
4.55	4.56	6	5.9
4.56	4.56	5.81	5.80
4.53	4.50	5.75	5.75
4.72	4.73	5.87	5.86

ANNEXE 4

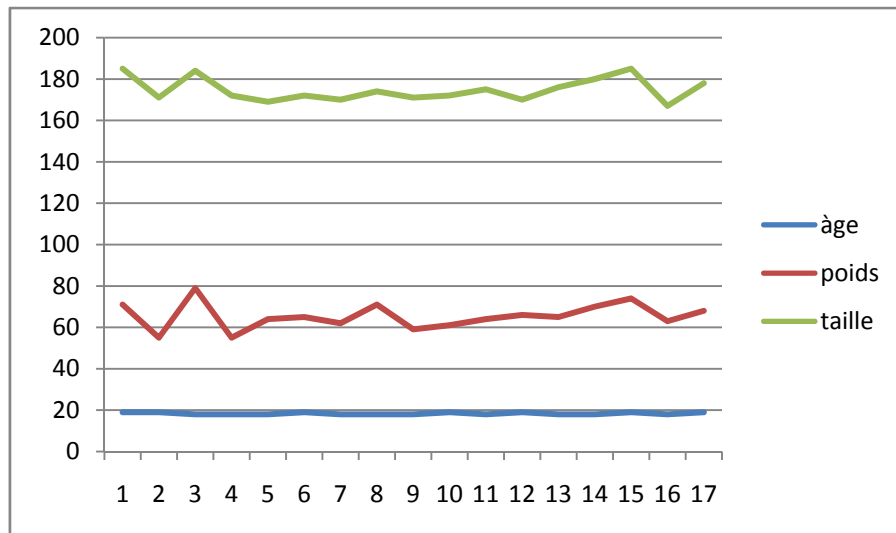
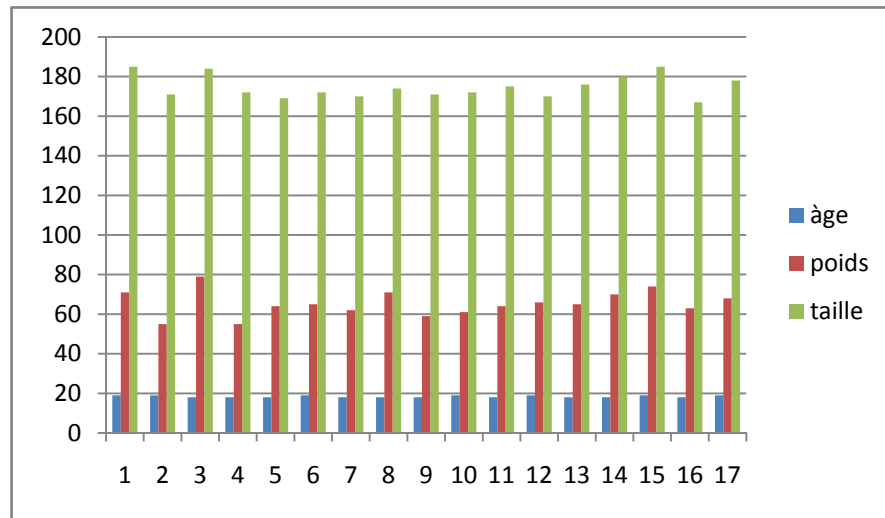


Figure 2 : courbe et histogramme représentant l'homogénéité de l'échantillon.

ANNEXE 5

TABLEAU N°2 Résultats relevés de la première phase du plan expérimentale

N	Sprint DE30m (Avant stretching)	Sprint de 30m (Après stretching)	Vitesse m/s (Avant stretching) M=6.62	Vitesse m/s (Après stretching) M=6.32
1	4,52	4,59	6.63	6.53
2	4,23	4,87	7.09	6.16
3	4,5	4,84	6.66	6.19
4	4,72	4,78	6.35	6.27
5	4,24	4,43	7.07	6.77
6	4,7	4,73	6.38	6.34
7	4,44	5,02	6.75	5.97
8	4,67	4,84	6.42	6.19
9	4,4	4,64	6.81	6.46
10	4,45	4,49	6.74	6.68
11	4,8	5,12	6.25	5.85
12	4,36	4,58	6.88	6.55
13	4,59	4,64	6.53	6.46
14	4,55	4,78	6.59	6.27
15	4,56	4,68	6.57	6.41
16	4,53	4,87	6.62	6.16
17	4,72	4,74	6.35	6.32

ANNEXE 6

TABLEAU N° 3 Résultats relevés de la deuxième phase du plan expérimentale

N	Sprint de 40m (Avant stretching)	Sprint de 40m (Après stretching)	Vitesse m/s (Avant stretching) M=6,92	Vitesse m/s (Après stretching) M=6,78
1	5,61	6,05	7.13	6.61
2	5,74	5,84	6.96	6.84
3	6,08	6,08	6.57	6.57
4	5,96	6,08	6.71	6.57
5	5,67	5,96	7.05	6.71
6	6,05	6,14	6.61	6.51
7	5,45	5,58	7.33	7.16
8	5,77	5,8	6.93	6.89
9	5,84	5,87	6.84	6.81
10	5,58	5,9	7.16	6.77
11	6,12	6,18	6.53	6.47
12	5,8	5,93	6.89	6.74
13	5,67	5,7	7.05	7.01
14	5,66	5,67	7.06	7.05
15	5,68	5,71	7.04	7.00
16	5,93	5,99	6.74	6.67
17	5,66	5,77	7.06	6.93

ANNEXE 7

-Analyse statistique des résultats retenus des différentes phases du plan expérimentale

Statistiques pour échantillons appariés

		Moyenne	N	Ecart-type	Erreur standard moyenne
Paire 1	avant30m	4,5282	17	,16467	,03994
	apres30m	4,7435	17	,17853	,04330
Paire 2	avant40m	5,7806	17	,19038	,04617
	apres40m	5,8971	17	,17652	,04281

Corrélations pour échantillons appariés

		N	Corrélation	Sig.
Paire 1	avant30m & apres30m	17	,425	,089
Paire 2	avant40m & apres40m	17	,781	,000

Test échantillons appariés

	Différences appariées					t	ddl	Sig. (bilatérale)	
	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne	Intervalle de confiance 95% de la différence					
				Inférieure	Supérieure				
Pair e 1	avant30m - apres30m	-,21529	,18436	,04471	-,31008	-,12050	-4,815	16	,000
Pair e 2	avant40m - apres40m	-,11647	,12216	,02963	-,17928	-,05366	-3,931	16	,001

ANNEXE 8

1. Mollet

Mettez-vous en position de marche, les pieds bien à plat sur le sol, la jambe tendue; étirez en rapprochant les hanches de la paroi.



2. Muscles de la cuisse (face postérieure)

Tirez la cuisse en position verticale, puis tendez la jambe lentement (jusqu'à éprouver une légère tension), le bassin restant collé au sol.



3. Muscles de la cuisse (face antérieure)

Saisissez la cheville avec les mains, puis tirez la jambe en direction du tronc en veillant à ce que le genou et la tête restent plaqués au sol.

Attention: cet exercice peut provoquer une crampe si les muscles sont trop fatigués.



4. Muscles fléchisseurs de la hanche

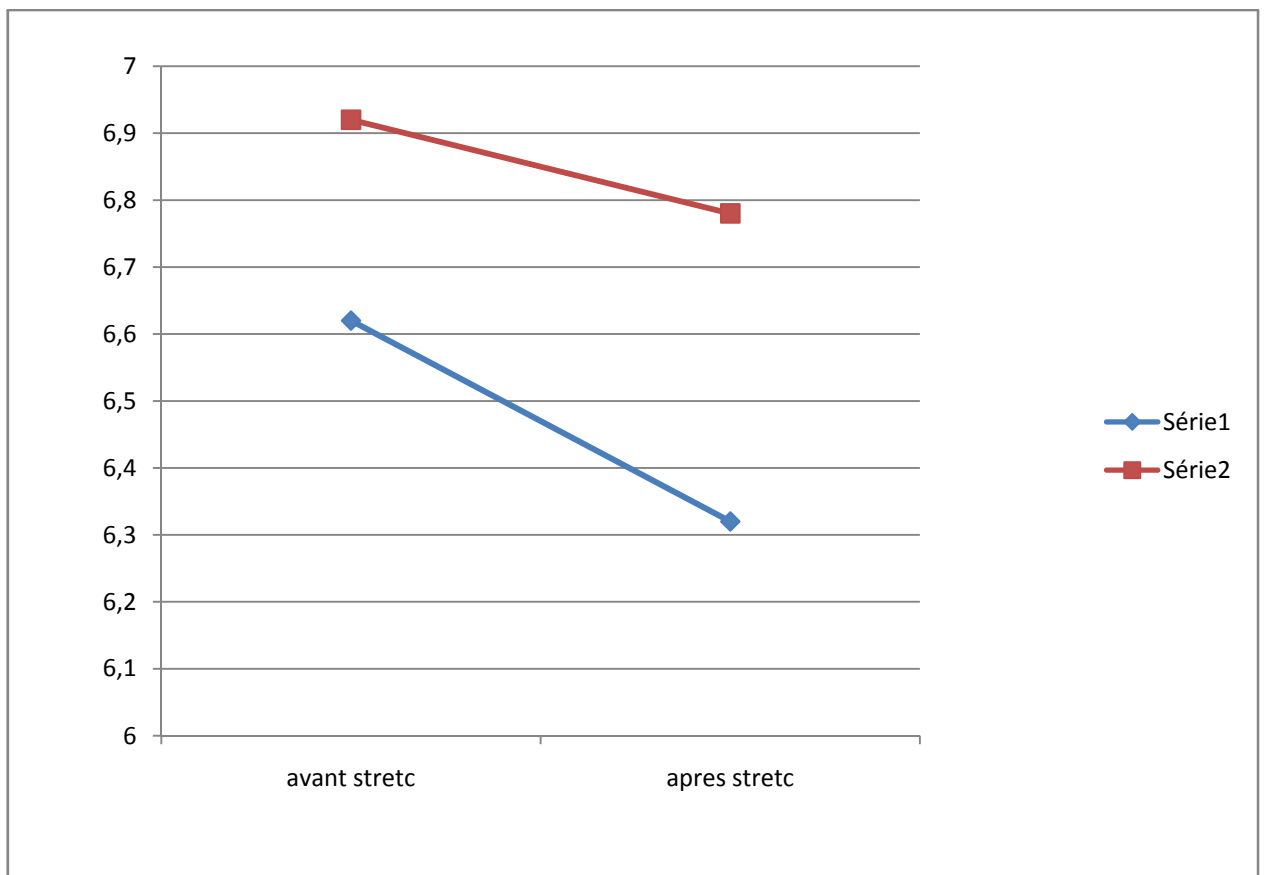
Posez les mains sur le genou, puis abaissez le bassin vers l'avant sans que le genou de devant ne dépasse la pointe du pied.



- Figure 2 : les quatre exercices d'étirement utilisés pendant l'expérience

ANNEXE 9

FIGURE N° 3 : Diminution de la vitesse par l'effet du stretching



ANNEXE 10

	Sprint de 30m	moyenne	Sprint de 40m	moyenne
défenseurs	4.45	4.64	5.67	5.92
	4.50		5.67	
	4.67		5.96	
	4.7		6.05	
	4.72		6.08	
	4.8		6.12	
	Sprint de 30m	moyenne	Sprint de 40m	moyenne
Milieux	4.52	4.57	5.68	5.79
	4.53		5.74	
	4.55		5.77	
	4.56		5.8	
	4.59		5.84	
	4.72		5.93	
	Sprint de 30m	moyenne	Sprint de 40m	moyenne
attaquants	4.23	4.33	5.45	5.59
	4.24		5.58	
	4.36		5.61	
	4.4		5.66	
	4.44		5.66	

-Tableau n° 10 : Performances en sprint selon les postes

RESUME EN FRANÇAIS

Pendant longtemps, une croyance populaire établissait que les étirements passifs pré-entraînement pouvaient augmenter les performances et même prévenir les blessures lors d'activités sportives quelconque. Cependant, de nouvelles recherches expérimentales démontrent que ceci n'est pas le cas, et que les étirements passifs peuvent même devenir un handicap durant les performances sportives nécessitant une force ou une puissance musculaire maximales. De nombreuses recherches démontrent qu'ils créent une diminution de force en phase concentrique, et une diminution de puissance musculaire des membres inférieurs.

Cependant, les résultats en laboratoire ne peuvent pas toujours directement prédire les effets sur les performances sportives en milieux pratiques. A travers cette recherche, on a donc voulu déterminer si les impacts négatifs des étirements pré-entraînement étaient applicables aux sports impliquant de l'impulsion.

Lors du sprint, une force explosive est requise au commencement de la course, ainsi que durant chaque pas. La performance, lors de cette activité, peut donc être négativement influencée tout au long de la course. De ce fait, l'objectif principal de cette recherche est de déterminer si les étirements passifs pré-entraînement nuisent à l'impulsion des blocs au départ de la course. De plus, comme la plupart des recherches antérieures ont toujours fait étirer les deux jambes par des exercices d'étirement actifs, balistiques, des CRE (contracter-relacher-étirer) ou en PNF (facilitation neuro-musculaire proprioceptive), cette recherche veut déterminer si les étirements passifs prolongés auraient les mêmes effets négatifs.

Les sujets étaient sélectionnés parmi les membres de l'équipe de « football » de la wilaya de Sidi-Bel-Abbes : 17 hommes de la catégorie junior. Ils faisaient de la compétition au football, et pratiquaient leurs spécialité depuis environs 7 ans.

Chaque sujet s'est étiré selon 4 différents protocoles, pour ensuite faire 3 courses de 30 m et 40m. Toutes les courses étaient effectuées sur un terrain de football pour éliminer tous facteurs parasites. Les courses étaient organisées avec des blocs de départ standards et les individus étaient chronométrés par un chronomètre électronique à la ligne d'arrivée.

Les quatre protocoles d'étirement étaient comme suit : 1- aucun étirement, 2- étirement sur les deux jambes, 3- aucun étirement, et 4- étirement sur les deux jambes. Une course était effectuée par semaine, à chaque mardi, avec seulement un des protocoles d'étirement.

Les étirements étaient composés d'un étirement d'ischio-jambier, suivi d'un étirement des gastrocnémiens et soléaires, d'un des quadriceps et finalement d'un des flexisseurs de la hanche. Chaque étirement était d'une durée de 30 secondes, avec 10 à 20 secondes de repos entre eux. Une fois les 4 étirements complétés, les sujets prirent un repos de 20 à 30 secondes puis recommencèrent les étirements pour un total de 4 fois. La course commençait 5 à 10 minutes après la fin des étirements. 3 sprints avec 1 minute de repos entre chaque furent testés.

Le traitement statistique

Nous pouvons comparer les moyennes observées dans chaque épreuve (course de 30m et de 40m) avant et après stretching à l'aide du test T de STUDENT-FISHER, puisque toutes les précautions sont prises avant cette application.

- 1) les échantillons étant petits, le test de F de SNEDECOR apparaît inutile
- 2) il convient de préciser quelle hypothèse relative aux moyennes est soumise au test t :

-Est-ce l'hypothèse simple $d = 0$ pas de différence entre les deux échantillons

-Ou est-ce l'hypothèse composite $d > 0$ il existe une différence significative

3) lorsque l'on veut effectuer un test de comparaison comme dans la présente analyse, il est préférable d'utiliser les valeurs de base – ici, les valeurs observées pour les courses, exprimées en seconde – plutôt que des données transformées par un barème.

Les différentes phases de l'expérience nous permettent d'opérer les comparaisons suivantes :

a) comparaison des résultats de la phase 1 (phase 1a et phase 1b)

b) comparaison des résultats de la phase 2 (phase 2a et phase 2b)

c) autres vérifications :

Contrôle de la variable étirement passif prolongé et de la variable performance en sprint entre test 1 et test 2 par la méthode de BRAVAIS-PEARSON ; ces corrélations ont pour objectif de vérifier si les tests permettent de vérifier par ailleurs l'efficacité de la performance sportive.

RESULTATS

Les résultats les plus marquants ont été remarqués entre le protocole de non étirement et les protocoles d'étirements pour les 30m et 40m. En effet, il y avait une différence significative entre les deux conditions d'étirement lors des courses de 30 mètres et de 40 mètres.

Les résultats recueillis à la fin du plan expérimental (30m après : $4.74 \pm 0,17$ sec. , 40m après: $5.89 \pm 0,17$ sec.) font ressortir que les athlètes ont subi les effets négatifs de la variable « étirement passif prolongé » et se sont montrés plus négatifs (compliants). En effet la comparaison de ses résultats avec ceux du début du plan expérimental (30m avant $4.52 \pm 0,16$ sec ,40m avant 5.78 ± 0.19) permette de dégager une différence significative. Ceci dénote que les étirements passifs prolongés ont tendance à détériorer les résultats lorsqu'ils sont placés en phase d'échauffement.

Tab 1. Effet du stretching sur la vitesse de course en sprint (30m et 40m)

	(30m Avant stretching)	(30m Après stretching)	(40m Avant stretching)	(40m Après stretching)
Moyenne de la Vitesse m/s	6,62	6,32	6,92	6,78

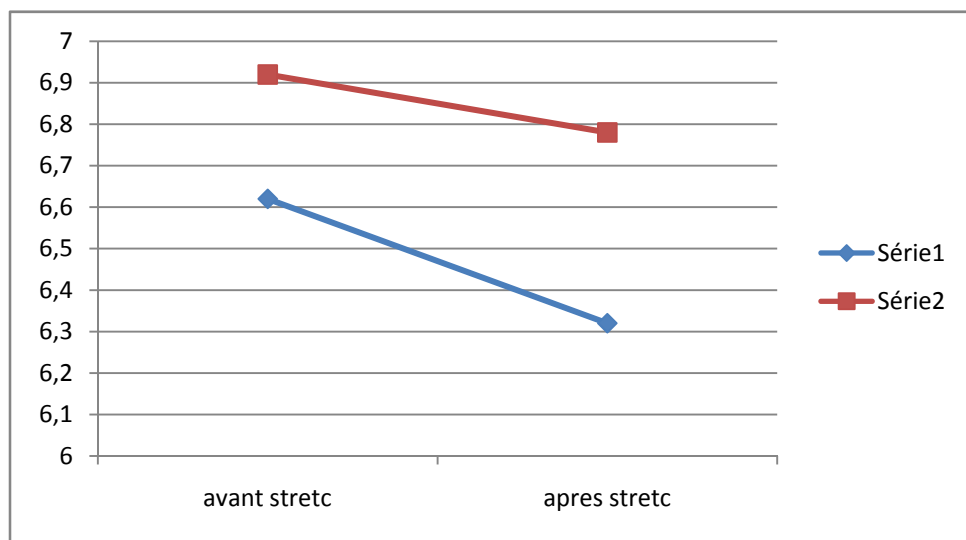


Figure 1. Diminution de la moyenne de la vitesse de course sur 30m de 6,62 m/s à 6,32 m/s et sur 40m de 6,92 m/s à 6,78 m/s suite à l'effet du stretching préexercice.

Ces résultats s'expliquent par un mécanisme mécanique et neural. Le système musculaire et tendineux deviennent moins rigides suite à un étirement passif prolongé et nuisent aux propriétés contractiles et élastiques du muscle. En effet, une rigidité accrue du système contribuerait à un plus grand allongement de la composante élastique (tendons, ligaments, os) et à une meilleure vitesse de raccourcissement de la composante contractile (muscle) à l'effort.

De plus, il est possible que la performance soit détériorée par une capacité moindre d'emmagasiner l'énergie élastique par le système musculo-tendineux suite à un pré étirement. En effet, la quantité d'énergie élastique pouvant être emmagasinée dans le système musculo-tendineux dépend de la rigidité de ce dernier et du degré d'extension produit par une force imposée. Une rigidité optimale du système musculo-tendineux, maximiserait la quantité d'énergie élastique emmagasinée et réutilisable.

Finalement, le mécanisme neural impliqué lors d'un étirement peut avoir des effets néfastes sur la performance. Un de ces effets est l'inhibition de l'activité réflexe d'étirement due à un potentiel myoélectrique induit lors de la phase excentrique de l'étirement. Ce potentiel réduirait la force du réflexe d'étirement. Enfin, le pré étirement passif du muscle nuit à la réponse neuro-musculaire proprioceptive, notamment dans l'appareil de Golgi. Ce dernier inhibe le réflexe d'étirement dans le muscle étiré, synergique et collatéral lorsqu'une tension externe est générée.

En entraînement sportif de haut niveau, concrètement, cela signifie qu'un étirement passif prolongé peut avoir des impacts négatifs lors d'une épreuve nécessitant une grande puissance et force musculaires, particulièrement en sprint chez les footballeurs! Par exemple, dans tel cas, l'entraîneur pourrait éviter une période de pré étirement passif des muscles du genou et de la hanche afin de maximiser la vitesse lors des sprints. Cela pourrait sans doute contredire la perception générale qu'un étirement passif avant un exercice vigoureux est une pratique prudente.

Il faut cependant souligner que les participants ont fait l'épreuve dix minutes après le dernier étirement. Il n'est pas certain que les effets seront similaires après 30 min. De plus, le sprint de 30m et 40m était grandement plus court que les sprints de compétitions standards: 100 m et 200 m. Ces faits relatés nous indiquent qu'il manque possiblement des données pour confirmer les applications pratiques.

()

phase concentrique

(l'impulsion)

PNF (CRE)

(balistique)

()

17 :

" "

, . 7

40 30

4

- 3

- 2

- 1 :

- 4

:

20-10

30

30-20

1 3 . 10 5 . 4

:

(40 30)

.T de STUDENT-FISHER.

F de SNEDECOR (1

:T (2

0 =

0 < "

(3

:

(1 1) 1 (

(2 2) 2 (

: (

2 1

(BRAVAIS-PEARSON)

. 40 30

40

30

40 0,17 ± 4,74 : 30)

"

(0,17 ± 5,89:

"

"

"

5,78 : 40 , 0,16 ± 4,52 : 30)

(0,19 ±

(rigide)

()

()

myoelectric

(exentrique)

. هذا يحول دون منعكس الأظالة في العضلات المطالة المتأزرة أو الخارجية الجانبية
عندما يتم إنشاء الجهد.

!

30

30

200 100 :

40

Summary in English:

Acute effects of passive muscle stretching on sprint performance (in soccer)

Abstract: The results of previous research have shown that passive muscle stretching can diminish the peak force output of subsequent maximal isometric, concentric and stretch-shortening contractions. The aim of this study was to establish whether the deleterious effects of passive stretching seen in laboratory settings would be manifest in a performance setting. Seventeen members (males), of a Division I ESMBA track football team performed electronically timed 30 m and 40m sprints with and without prior stretching of the legs. The experiment was done as part of each athlete's Thursday work-out programme. Four different stretch protocols were used, with each protocol completed on a different day. Hence, the test period lasted 4 weeks. The four stretching protocols were no-stretch of either leg (NS,a), both legs stretched (BS,a), no-stretch of either leg (NS,b) and both legs stretched (BS,b). Four stretching exercises (hamstring stretch, quadriceps stretch, calf stretch) were used for the BS(a) and BS(b) protocols. Each stretching exercise was performed four times, and each time the stretch was maintained for 30 s. The BS(a) and BS(b) protocols induced a significant ($P < 0.05$) increase (0.16 s) in the 30m and(0.17 s) in the 40m time. Thus, it appears that pre-event stretching might negatively impact the performance of high-power short-term exercise.

Keywords: extend stretching, sport performance, sprint

Tab 1. stretch treatment effect in 30m and 40m sprint speed

	(30m Afterstretching)	(30m befor stretching)	(40mAfterstretching)	(40m befor stretching)
Intermediateof speed m/s	6,62	6,32	6,92	6,78

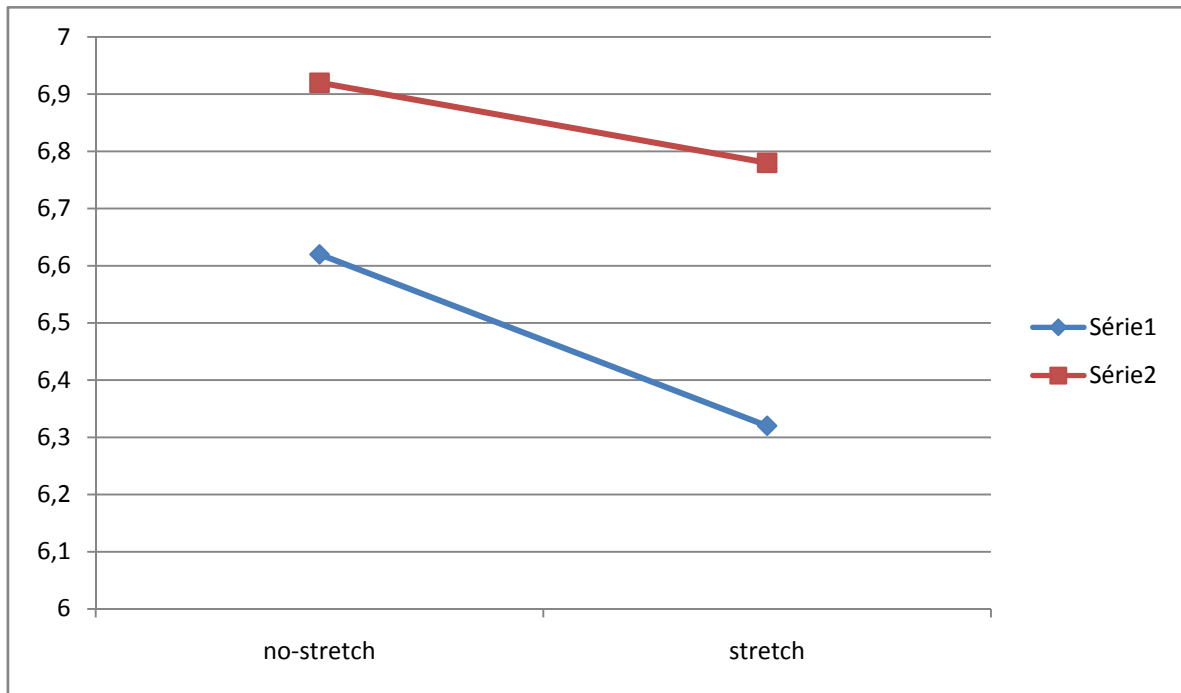


Figure1 .Intermediate 30m and 40m sprint following the no-stretch and the stretch regiments.

Introduction

Passive muscle stretching just before engaging in physical activity is a common practice among athletes because stretching is thought to promote better performances and reduce the risk of injury (for reviews, see Shellock & Prentice, 1985; Smith, 1994). Convincing experimental evidence, however, does not support these beliefs. Moreover, there is evidence that acute muscle stretching might be detrimental to performances for which success is related to maximal force or torque output (Avela, Kyrolainen, & Komi, 1999; Cornwell, Nelson, Heise, & Sudaway, 2001; Fowles, Sale, MacDougall, 2000; Kokkonen, Nelson, & Cornwell, 1998; Nelson & Kokkonen, 2001; Nelson, Allen, Cornwell, & Kokkonen, 2001a; Nelson, Guillory, Cornwell, & Kokkonen, 2001b; Young & Behm, 2003). Stretching has been shown to elicit a strength deficit in concentric muscle actions. Kokkonen et al. (1998) found that maximal performance of both knee flexion and knee extension one-repetition maximum (1-RM) lifts declined (by 7.3% and 8.1%, respectively) significantly when executed 10 min after static stretching of the quadriceps and hamstring muscle groups. Nelson and Kokkonen (2001) reported similar results when ballistic stretching was substituted for static stretching. Furthermore, Nelson et al. (2001b) reported a loss in isokinetic torque at slower speeds of movement, and both Avela et al. (1999) and Fowles et al. (2000) found a reduction (23.2% and 28%, respectively) in maximal isometric plantar flexion torque about the ankle joint after the plantar flexors were passively stretched. Nelson et al. (2001a) reported that the loss in isometric torque was jointangle specific.

Finally, prior stretching has been shown to reduce the height of a vertical jump; Cornwell et al. (2001) found that pre-event stretching induced a significant decrease in jump height for both the standing jump (4.4%) and counter-movement jump (4.3%). Young and Behm (2003) also compared various warm-up protocols, and found that static stretching had a negative influence on vertical jump performance.

Given the deleterious effect of passive muscle stretching in a laboratory setting on skills relying on the rate of force production and peak force generation, one could assume that pre-performance stretching would negatively influence the performance of explosive sports. What is found in the laboratory, however, does not always directly transfer to sport performance. Since pre-performance stretching is universally practised, we wished to determine whether the negative influence would be manifest in athletic performance. Given the explosive nature of the sprint start, sprinting performance could be negatively influenced by static stretching. Moreover, since each step during the sprint requires an explosive take-off, any negative impact seen at the start could be carried through the whole race. The aim of this study was to ascertain whether prevent stretching would slow a person's start out of the blocks and thus result in a poor race performance.

Methods

The participants were recruited from members of Sidi-bel-abbes professional football team, who were all currently competing since seven years. seventeen males (mean±s: age 21±2 years; height 1.83±0.08 m; mass 77.0±6.8 kg) completed the study. All of the athletes competed in one event (football) and had practised this speciality almost daily for at least 7 years. Informed written and verbal consent was obtained from each participant before taking part in the experiment. The participants were not informed of the results until the study was completed.

Task and apparatus

Following each of four stretching protocols, each participant performed three timed 30 m and 40m sprints. To minimize variation in climatic conditions, all sprints were performed on a football stadium in the same climatic conditions. The sprints were initiated from standard starting blocks set to individual preferences, and were timed with a simple chronometer which is disposable in our country.

Procedures: The sprint tests were performed as part of each athlete's Thursday work-out programme. Four different stretch protocols were used, with each protocol being performed on a different day. Hence, the tests were performed over 4 weeks. The four stretching protocols were: no-stretch of either leg (NS a), both legs stretched (BS a), no-stretch of either leg (NS b), both legs stretched (BS b). Prior to being stretched, each athlete did the following warm-up: jog 800 m, forward skips 4 (30 m), side shuffles 4 (30 m), backwards skips 4 (30 m). Except for the stretching protocol, no other activity was allowed.

The stretching protocols included four passive (partner-assisted) activities designed to stretch the calf and thigh muscles. The stretching activities were ones that the athletes normally used in their daily warm-up rituals, pictorial representations of which can be found in Alter (1988). The first activity was a hamstring stretch. The athletes adopted a supine position on the ground with one leg extended. The other leg was flexed at the knee and hip, and the sole of the foot was planted firmly on the ground. From this position, the extended leg was raised (hip flexion) to the vertical position or beyond. During the stretch, the buttocks remained in complete contact with the ground, and the knee of the stretched leg was fully extended. The second activity was performed while the athlete's leg was in the vertical position. While the leg was vertical, the ankle was dorsi-flexed by pushing down on the ball of the foot. The third and final activity was adapted from Alter's (1988) stretch number 196. Again, the stretch started with the person lying supine with one leg flexed and one extended. The extended leg was then flexed at both the knee and hip, simultaneously pushing the heel into the buttocks and the knee towards the chest. For each activity, the range of motion was increased until the person acknowledged a stretch-induced discomfort similar to that normally felt during their daily stretching activities. At this point, the stretch was maintained for 30 s. The four activities were performed in the order listed above, with a 10 – 20 s rest period separating each activity.

Once one cycle of stretches was completed, the leg was rested for an additional 20 – 30 s and then the cycle was repeated until each of the four activities had been performed four times. When both legs were being stretched, the four cycles were completed on one leg before the other leg was stretched. After the stretching regime was completed, the athletes relaxed (i.e. sat, stood quietly or meandered around the starting line) for 5 – 10 min before beginning the sprint starts.

Following the relaxation period, each athlete performed three 30 m and 40m sprints. A minimum of 1 min recovery separated each trial. All sprints were initiated from standard starting blocks that each athlete set to their personal preference. The athletes were allowed to perform their usual pre-start ritual, with the exception of any muscle stretching or shaking of the limbs. Once the athletes were set, they started at their own volition.

Results:

Phase 1	test	N	Corrélation	Sig.
a	After 30m & before 30m	17	,425	,089
b				

Tableau n° 1 : Corrélation between the test and the retest of the phase 1

The table n°1 show a faible corrélation ($r = 0,42$) between the test and theretest, with no signification ($0,089 > 0,05$), as soon asp wasfixedat 0,05

The reliability of the run time for each condition was very high. In each case, the intraclass correlationcoefficient was 0.089. There were no significant differences between any of the tow days for the 30m. The average 30 m sprint times for each stretch condition are presented in Table I, and the individual responses to the no-stretch (NS) and both legs stretched (BS) protocols are shown in Figure 1.

Phase 2	test	N	Corrélation	Sig.
a	After 40m &befor 40m	17	,781	,000
b				

Tableau n° 2 : Corrélation between the test and the retestof the phase 2

The table n°7 show a great corrélation ($r = 0,78$) between the test and theretest, with a great signification ($0,05 > 0,00$), as soon asp wasfixedat 0,05.

The main effect for treatments was significant. The post-hoc analysis revealed that there was no difference between the three stretch conditions (BSa, NSa, BSb,NSb), but the times for the two stretch conditions were all significantly slower than in the two no-stretch conditions. In addition to the above analysis on the average 30 m and 40m sprint times, a post-hoc analysis was done on the best time for each trial. The same statistical method was used, and nearly identical results to those reportede above were obtained.

Discussion:It has previously been shown that an acute bout of passive muscle stretching can impede maximal force production in both isometric and concentric contractions (Avelaet al., 1999; Fowleset al., 2000;Kokkonenet al., 1998). In addition, prior stretching can also compromise the performance of a skill forwhich success is dependent on the rate of force production or power, rather than just the ability tomaximize force output (Cornwell et al., 2001, Young &Behm, 2003). Our results show that the time of a 30 m and 40m sprints was significantly increased when sprints were performed after stretching whether the stretch included both legs or just one leg. Thus, it appears that pre-performance stretching exercises might negatively impact skills that require multiple repetitive high power outputs in addition to those that depend mainly on maximizing a single output of peak force or power. Moreover, it is interesting tonote that this decrement in speed occurred without stretching one of the prime movers – the quadriceps – utilized in sprinting. Since both Cornwell et al. (2001) and Young

and Behm (2003) reported decreases in jump height after stretching mainly the quadriceps, it is reasonable to assume that sprint performance could only become worse if quadriceps stretching had been added to the other three stretches. Finally, it would appear that for activities that utilize both legs, stretching just one leg is insufficient to adversely affect performance. Wilson, Murphy and Pryor (1994) suggested that for concentric muscle actions, a stiffer system would improve contractile component force production by allowing more favourable length and velocity conditions. Specifically, they proposed that at a given state of contraction, a stiffer musculotendinous unit should give rise to a greater length and a decreased shortening velocity of the contractile component, thereby placing the contractile component at a more optimal point on both the force – velocity and force – length curve in terms of force production. This is because there is not as much “slack” in a stiffer system that has to be taken up during the initial part of the contraction. Extrapolating to the present study, stretching might have altered sprinting by preventing the knee and hip extensors from operating over the most favourable parts of their force – length and force – velocity curves. An alternative possibility is that performance may have been hindered during the running portion of the sprint by a decreased ability of the musculotendinous unit to store elastic energy following a stretch-induced increase in musculotendinous compliance.

Both muscular and tendinous tissues have the ability to store elastic strain energy after being stretched by an external force. Although disputed by some (Bobbert, Gerritsen, Litgens, & van Soest, 1996; van IngenSchenau, 1984; van IngenSchenau, Bobbert, & de Haan, 1997), many authors report that the stretch – shortening phenomenon might be partly explained by the release of elastic energy that is stored in the musculotendinous structures during the eccentric phase of stretch – shortening cycle exercises such as running, a mechanism referred to as elastic potentiation (e.g. Asmussen & Bonde-Petersen, 1974; Aura & Komi, 1986; Bosco & Komi, 1979; Cavagna, Komarek, Citterio, & Margaria, 1971; Hof, 1998; Hof, Geelen, & van den Berg, 1983; Komi & Bosco, 1978; Svantesson, Ernstoff, Bergh, & Grimby, 1991). The amount of elastic energy that can be stored in the musculotendinous unit is a function of the unit’s stiffness and the extension produced by an imposed force (Shorten, 1987; van IngenSchenau, 1984). Belli and Bosco (1992) suggested that an optimum stiffness might exist that maximizes the magnitude of elastic energy return.

Furthermore, they demonstrated that the active stiffness of the triceps surae, measured using a vertical oscillation technique with motion restricted to the ankle joint only, was in fact lower than the theoretical optimal stiffness calculated for their participants. Consequently, an acute bout of passive muscle stretching might compromise the effect of a stretch – shortening cycle by decreasing active musculotendinous stiffness, thereby reducing the amount of elastic energy that can be stored and re-utilized. A stretch-induced decrease in musculotendinous stiffness has been demonstrated in some studies (Magnusson, Simonsen, Aagaard, & Kjaer, 1996; Rosenbaum & Hennig, 1995), but not in others (Halbertsma, van Bolhuis, & Goeken, 1996). In addition, McNair and Stanley (1996) found

passive stretching to have no effect upon the stiffness of the lower limb muscles during an isometric contraction at 30% maximal effort. However, none of these studies measured stiffness under dynamic conditions of repeated stretch – shortening cycles, and so the impact of passive stretching under actual sprinting remains to be determined. Interestingly, Nelson et al. (2001b) showed that static stretching did not hinder maximal voluntary isokinetic knee extension torque production at faster speeds of movement. Since the movement speeds examined by Nelson et al. (2001b) were slower than the limb movement speeds in sprinting, one could have speculated that stretching would have little impact on sprinting. Maximal voluntary isokinetic knee extension torque production, however, does not employ the stretch – shortening cycle, whereas sprinting does. There are also neurological mechanisms that could account for a stretch-induced decline in performance.

One of these involves the disruption of stretch reflex activity. Bosco, Tarkka and Komi (1982a) and Bosco, Viitasalo, Komi and Luhtanen (1982b) have proposed that the eccentric phase of a stretch – shortening movement initiates a myoelectric potentiation (i.e. a stretch reflex that increases muscle activation during the period of concentric work). Rosenbaum and Hennig (1995) demonstrated that muscle stretching could diminish the strength of the stretch reflex, elicited by an Achilles tendon tap. Thus, pre-exercise stretching might negatively impact the performance of skills that involve a stretch – shortening cycle by impeding myoelectric potentiation. Another potential neural mechanism is related to the acute response of muscle and/or joint proprioceptors (e.g. Golgi tendon organs) to sustained stretch. Golgi tendon organs respond to tension by initiating a reflex inhibition (autogenic inhibition) of the muscle being stretched and its synergists in both the ipsilateral and contralateral legs (Moore, 1984). It is interesting to note that both the mechanical and neurological mechanisms acting alone or in combination can also explain why a single leg stretch was as deleterious as a double leg stretch. It is easy to see how the reduced performance of a single leg would increase running time, whether it reduced the “explosion” out of the blocks or simply was less powerful than the other leg along the whole 20 m distance. In fact, the researchers noted that many of the athletes had an altered running form after a single leg stretch. The style was reminiscent of a person running with a limp. In addition, a stretch-induced autogenic inhibition could negatively influence both legs.

Notwithstanding the statistical significance of this study’s findings, their universal applicability could be questioned in terms of both magnitude and duration of the stretch-induced inhibition. Because the participants performed the sprints within 10 min of the last stretch, we cannot be certain if a similar effect would have been evident 30 min later. Moreover, the 20 m sprint was much shorter than the standard competition sprints (100 m and 200 m). Hence, it is not known whether the 0.04 s difference seen between the stretched and no-stretched conditions would accumulate, remain static or decrease over a longer distance. However, Fowles et al. (2000) found that a 9% decrement in maximum isometric plantar flexion torque was present 60 min following an aggressive 30 min stretching of the plantar flexors.

Thus, it appears that the capacity of pre-event stretching to have a negative impact could endure for a time much longer than that of even the longest sprints. The durations of the stretches used in this study, however, were shorter than those of Fowles et al. (2000). Hence, one would presume that the magnitude of any decrease and its duration would be less than reported by Fowles et al. (2000). Clearly, further research is required to establish both the magnitude of pre-stretching necessary to cause a deleterious effect, and the time-course between the maintenance of the increased range of motion and the resumption of the capacity to generate maximal power.

Although the mechanisms responsible for the performance decrements cannot be unequivocally established, the results of this study nevertheless have important ramifications. This study shows that passive muscle stretching can negatively impact the performance of a skill that demands repetitive high power outputs. This effect may influence movements performed with either a purely concentric contraction (i.e. explosive take-off out of the starting blocks), a concentric phase followed by repetitive stretch – shortening cycle actions, or both. The performance of other skills, therefore, might be affected if an acute bout of stretching is undertaken immediately before engaging in activity (e.g. long jumping, high jumping, pole vaulting). Thus, in addition to establishing the underlying mechanisms, further research should be conducted to determine if this study's findings could be generalized across a variety of skills. Presently, it can only be recommended that the knee and hip muscles should not be passively stretched just prior to performing sprints if the intent is to maximize speed. This recommendation opposes the general perception that passive stretching before vigorous exercise is always a prudent practice. In fact, the athletes in this study were very uneasy at the start of each of the no-stretch sprints. Thus, the negative impact of physiological/mechanical impacts of stretching must be greater than any negative psychological feelings in the no-stretch condition.

RESUME

Les vérités d'hier ne sont souvent pas celles d'aujourd'hui et encore moins celles de demain. Telle va la science. Elle avance, qu'on le veuille ou non. Mais pour bénéficier aux mieux de ses avancées, il est nécessaire de confronter les résultats aux données et observations de terrain. Cette démarche doit rester la clé de voûte de tout processus de validation de méthodes d'entraînement sous peine de tomber dans le travers inverse qui consiste à mettre une confiance aveugle dans les résultats que proposent les revues scientifiques et que certains considèrent pour acquis en négligeant les autres travaux déjà publiés ou en cours de publication, ou généralisables à toutes les conditions d'entraînement alors qu'il ne s'agit que d'une analyse spécifique et précise d'un phénomène isolé. L'étirement est fréquemment présenté par les entraîneurs comme un facteur d'amélioration de la performance sportive lorsqu'il est utilisé pendant l'échauffement pour une compétition, pour favoriser et accélérer la récupération après une séance d'entraînement intense et pour la prévention des blessures.

Vu notre double statut (étudiant chercheur et entraîneur), nous nous efforçons de rendre accessible de nombreuses informations relatives à l'optimisation de l'entraînement, d'où l'intérêt de la recherche qui porte précisément sur la relation entre les étirements prolongés et la performance sportive. La procédure vise à inclure des étirements prolongés pendant la phase d'échauffement qui précède l'épreuve de sprint de 30 mètre et de 40 mètre chez les footballeurs professionnelles et à étudier l'effet de ces étirements sur les performances. Pour ce faire les athlètes sont mis en deux situations la première consiste à courir suite à une session d'étirement prolongés tandis que la seconde ne contient plus d'étirement préalable. Cette évaluation indépendante de la valeur réelle de la performance des athlètes va nous permettre de déterminer l'effet immédiat d'un étirement prolongé qui précède une épreuve de sprint. Les résultats montrent que la pratique des étirements pendant l'échauffement a détérioré les performances. De là espérons que toutes ces explications et expérimentations vont contribuer à la résolution d'un des problèmes majeurs de la complexité de l'entraînement de la souplesse et apporter un plus aux résultats scientifiques les plus récentes pour optimiser les effets des étirements.

Mots clés : Etirement prolongé, performance sportive, sprint.