

titre de la conférence  
[COMPLIANCE TENDINEUSE ET  
EFFETS SUR LA LONGUEUR DU  
MUSCLE ET LA VITESSE DANS LA  
COURSE ET LE SAUT HUMAIN]

le conférencier  
ADAMANTIOS ARAMPATZIS,  
professeur (PhD) en sciences du  
mouvement à l'Université Hum-  
boldt de Berlin

[5<sup>th</sup> FASCIA RESEARCH CONGRESS]  
BERLIN - 14 & 15 novembre 2018

[auteur] Christian Courraud,  
masseur kinésithérapeute, docteur en  
sciences sociales, directeur du CERAP,  
directeur pédagogique de TMG concept.

## MUSCLES ET TENDONS DES INTER-RELATIONS SPÉCIFIQUES POUR CHAQUE MOUVEMENT

Lors de cette 5<sup>e</sup> édition du Fascia Congress Research, Adamantios Aramptazis a présenté plusieurs études qu'il a réalisées avec son équipe. Son intervention s'est focalisée sur l'étude des modalités d'action spécifique des muscles proximaux et distaux du membre inférieur pendant la course à pied. Effort au cours duquel l'objectif de l'organisme est de minimaliser le cout métabolique des muscles.

Les chercheurs se sont également intéressés aux muscles lors des sauts verticaux où, à l'inverse, les muscles doivent produire un maximum d'énergie et de travail mécanique pour maximiser la hauteur atteinte. La proposition principale des expériences présentées était d'étudier le comportement et les effets des tendons et des éléments contractiles du muscle lors de la phase d'appui de la course et lors de sauts verticaux, en observant notamment les longueurs et vitesses de contraction fasciculaire des muscles vaste latéral et soléaire en regard de la force et de la puissance générée.

**Données  
de biomécanique musculaire**

Adamantios Aramptazis a rappelé qu'il était convenu que la force musculaire dépendait de trois mécanismes :

- 1- L'activation musculaire
- 2- La relation force-longueur : un muscle est capable de générer un maximum de force à une longueur spécifique dite longueur optimale  $L_0$
- 3- La relation force-vitesse : la force maximale que le muscle peut produire à une vitesse donnée de raccourcissement (concentrique) ou d'allongement (excentrique) du muscle. Si le muscle présente une haute vitesse de raccourcissement de ses fascicules, il a moins de potentiel à générer de la force.

Il est également admis que la compliance tendineuse et la rotation des fibres au sein des muscles pennés jouent sur la vitesse de

*« Le système humain  
semble utiliser les muscles  
distaux du membre  
inférieur pour la locomotion  
et le running car ils ont  
moins coûteux en énergie  
(ce qui compense leur  
moindre potentiel de force).  
Le muscle soléaire  
ajoute de l'énergie  
au système »*

« Cette étude remet en cause le gain de force par la capacité de stockage-restitution d'énergie élastique du complexe muscle-tendon lors d'un CMJ. Pendant longtemps, ce saut était un test régulièrement utilisé par les préparateurs physiques pour évaluer la qualité d'élasticité musculaire du sportif »

raccourcissement et la longueur des fibres, et donc sur le potentiel du muscle à générer de la force, selon les relations force-vitesse et force-longueur (voir l'encadré *Modèle musculaire* page 38).

#### Études et conclusions sur la course à pied

Voici quelques données sur le mode opératoire de cette étude. Tout d'abord, les chercheurs ont déterminé expérimentalement la relation force-longueur au sein du muscle soléaire et du vaste latéral, grâce à plusieurs contractions isométriques réalisées à différentes angulations articulaires. Ainsi que la force maximale et la longueur optimale  $L_0$ . Puis, en s'appuyant sur les données de la littérature, ils ont calculé la vitesse de raccourcissement maximale

de ces muscles et la relation force-vitesse. L'expérience permet d'observer :

- La longueur des UMT (unités myotendineuses)
- La longueur fasciculaire
- L'activité musculaire par EMG

Si l'on considère les organisations fonctionnelles dans le membre inférieur, on observe une contribution maximale des muscles distaux pour la phase de propulsion et une prédominance de l'intervention des muscles proximaux lors de la phase d'amorti du poids (début de phase d'appui). Or, les données de la littérature, issues des modèles musculo-squelettiques pour les vastes, prédisent des cycles d'étirements-raccourcissements (stretch-shortening cycles) ne correspondant pas à leur activation dans des fonctions d'acceptation du poids du corps.

#### Résultats pour les muscles soléaire et vaste latéral

Résultats pour le soléaire lors de la phase d'appui (stance phase) : à vitesse sub-maximale, il existe un allongement de 10 à 12 mm du tendon lors de la phase de contact au sol. Alors que l'UMT montre un cycle d'étirement-raccourcissement (SSC), les fascicules musculaires enchainent une phase de contraction quasi isométrique puis un net raccourcissement. Ils opèrent à des longueurs proches de  $L_0$ , avec une vitesse moyenne de raccourcissement très lente (environ 7 % de  $V_{max}$ ). Conclusion : le potentiel de force-longueur est supérieur au potentiel force-vitesse pour le soléaire (dû au raccourcissement qui ajoute de l'énergie au système)

Résultats pour le muscle vaste latéral (VL) lors de la phase d'appui : les fascicules du VL travaillent également au plus proche de  $L_0$ . Ils se contractent quasi isométriquement lors de la phase d'appui, alors que le muscle est actif. Leur vitesse de raccourcissement est donc quasiment nulle et leur potentiel force/vitesse important. A contrario, lors de la phase de swing, le muscle est inactif et les données montrent un net changement de longueur des fascicules.

#### Une importante contribution des éléments élastiques en série

Il semblerait qu'une activation ajustée du vaste latéral, dans l'intensité et le temps, minimise les changements dans ses fascicules musculaires. Cet allongement minimal des fascicules, lors de la phase initiale de l'appui, contrerait la dissipation de l'énergie par les éléments contractiles du muscle. Conclusion : pendant la course à pied, le VL ayant un potentiel force/vitesse plus grand que le muscle soléaire, a un potentiel de force totale également

*« Les muscles proximaux sont plus couteux métaboliquement mais capables de se contracter isométriquement sans aucune réduction dans le potentiel de force (relations force-vitesse et force-longueur) »*

plus grand (fraction de la force maximale selon les courbes de force-vitesse et de force-longueur).

Il semble donc que le système humain utilise pour la locomotion et le running les muscles distaux du membre inférieur, car ils ont moins couteux en énergie (ce qui compense le moins important potentiel de force). Le muscle soléaire ajoute de l'énergie au système. Les muscles proximaux sont plus couteux métaboliquement, mais capables de se contracter isométriquement sans aucune réduction dans le potentiel de force (relations force-vitesse et force-longueur). Dans les conditions quasi isométriques, proches de Lo des fascicules musculaires, des échanges simples d'énergie au sein de l'UMT minimisent l'activité musculaire pendant la phase d'appui, améliorant ainsi l'économie de la génération de force. Les résultats confirment une importante contribution des éléments élastiques en

série (dont les tendons) dans la dynamique fasciculaire du soléaire et du vaste latéral.

#### **Étude et conclusions sur le saut vertical**

Marey et Demeny (1885) avaient observé que la hauteur des sauts était améliorée lorsqu'ils étaient précédés d'un contremouvement.

Asmussen et Bonde-Petersen (1974) ont confirmé scientifiquement par la suite ce résultat en montrant l'importance du stockage d'énergie grâce à un étirement des structures musculo-tendineuses impliquées. Adamantios Aramptasis et son équipe ont réétudié le phénomène en comparant les différences de hauteur de saut et de puissance mécanique entre deux sauts verticaux : un counter movement jump (CMJ) et un squat jump (SJ) (voir l'encadré ci-dessous). Les expériences réalisées montrent une hauteur de saut supérieure de 5 % et une

puissance mécanique moyenne lors de la phase de propulsion supérieure de 56 % pour le CMJ. Ce qui est en accord avec la littérature.

Au début de la phase de propulsion, on peut observer un niveau d'activation musculaire (capté à l'EMG) plus fort pour le CMJ. Les fascicules du vaste latéral (VL) ont une longueur de fonctionnement plus proche de Lo lors du CMJ. Le VL présente donc une meilleure relation force-longueur.

A contrario, son potentiel de force/vitesse est plus faible, la vitesse de raccourcissement fasciculaire moyenne étant plus grande. Si nous cumulons les deux phénomènes opposés, il n'y a donc pas de différence de potentiel de force (dues aux relations force-vitesse et force-longueur) entre les deux sauts !

#### **Un effet cumulé de trois mécanismes**

## **LE SQUAT JUMP ET CONTREMOUVEMENT JUMP**

→ **Le Squat Jump (SJ)** tente de mesurer la détente "sèche", non pliométrique, sans étirement et l'aptitude à développer beaucoup de force en un temps très court (explosivité). Le sujet commence donc le test en position fléchiée à 90° (articulation du genou) pour effectuer une "poussée" maximale vers le haut. Les mains sont sur les hanches pour éviter une participation des bras. Ce saut mesure la qualité de démarrage en partant arrêté.

→ **Le Contre Mouvement Jump (CMJ)** : le sportif est libre de plier ses jambes et de réagir en poussant. Pendant longtemps, ce saut était considéré comme un outil d'évaluation de la qualité d'élasticité musculaire du sportif. Aujourd'hui, on constate que ce test permet de mesurer la capacité à développer de la force dans un temps plus long que pour le squat jump. La phase d'amortissement permet d'avoir plus de temps pour développer la force. L'élasticité n'intervient donc plus dans l'explication de ce test.

Conclusion : le seul mécanisme qui peut expliquer la différence modérée de hauteur de saut de 5 % est la plus grande activation du vaste latéral pendant la phase de propulsion d'un CMJ.

De plus, Adamantios Arampatzis et son équipe montrent que si l'on observe la vitesse de raccourcissement fasciculaire du VL dans la courbe puissance-vitesse, le CMJ a un plus grand potentiel puissance/vitesse (15 %) pour générer de la puissance mécanique.

La grande différence de puissance mécanique moyenne entre les deux sauts

s'explique alors par un effet cumulé de trois mécanismes : lors du CMJ, il y a un plus grand potentiel force-longueur et un plus grand potentiel puissance-vitesse, et le niveau d'activation musculaire est plus haut. Cette étude remet en cause le gain de force par la capacité de stockage-restitution d'énergie élastique du complexe muscle-tendon lors d'un CMJ.

Alors que pendant longtemps, ce saut était un test régulièrement utilisé par les préparateurs physiques pour évaluer la qualité d'élasticité musculaire du sportif.

## À propos d'Adamantios Arampatzis

Adamantios Arampatzis est professeur en sciences du mouvement, responsable du département *Formation et sciences du mouvement* et porte-parole de la Berlin school of science of movement à l'Université Humboldt de Berlin. Il a obtenu son doctorat en sciences du mouvement et en médecine du sport en 1995 et a terminé ses études en biomécanique en 2002 à l'Université allemande du sport de Cologne.

Ses recherches portent sur l'interaction des systèmes nerveux central et périphérique, sur la manière dont ces systèmes se développent au cours de la vie et s'adaptent aux exigences environnementales en constante évolution. Dans ce contexte, ses principaux domaines de recherche portent sur l'adaptation de l'unité muscle-tendon, le contrôle neuromusculaire, l'adaptation locomotrice et le contrôle de la stabilité dynamique dans des conditions de santé et pathologiques.



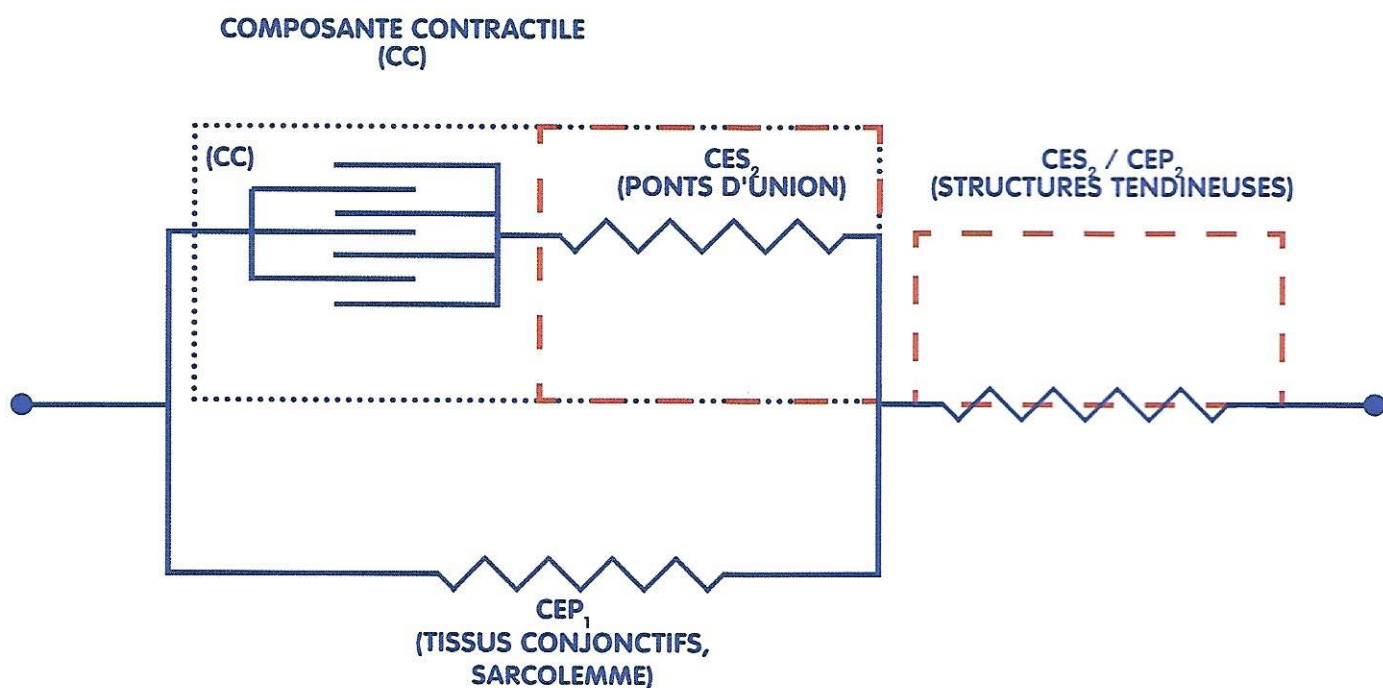


Schéma 1 : Modèle mécanique du muscle de Zajac (d'après Adamantios Arampatzis)

## MODÈLE MUSCULAIRE

Le muscle, ses aponévroses et le tendon agissent comme une unité fonctionnelle dont les éléments contractiles et conjonctifs sont structurellement et mécaniquement liés. On parle de complexe musculo-tendineux ou unité musculo-tendineuse (UMT)

Pour nous permettre d'étudier le modèle musculaire, Zajac, en 1989, nous a proposé un modèle mécanique du muscle à trois composantes :

- 1- Une composante contractile (CC) : ponts formés entre les filaments d'actine et de myosine et responsable de la génération de force.
- 2- Une composante élastique parallèle (CEP) : située en paral-

lèle avec la CC et localisée au niveau du tissu conjonctif, de la titine et du sarcolemme, ainsi qu'au niveau des structures tendineuses.

3- Une composante élastique série (CES) : active (au niveau du sarcomère : ponts actine-myosine, myofilaments) et passive (dans les tendons et les aponévroses).

Le rôle de transmission de la force et de stockage restitution d'énergie de la CES est dépendant de l'activation de la CC, caractérisée mécaniquement par la relation force-longueur et par la relation force-vitesse. Le rôle des structures conjonctives va ainsi pouvoir être approfondi.