

## ANALYSE DU SYSTEME MUSCULO-SQUELETTIQUE

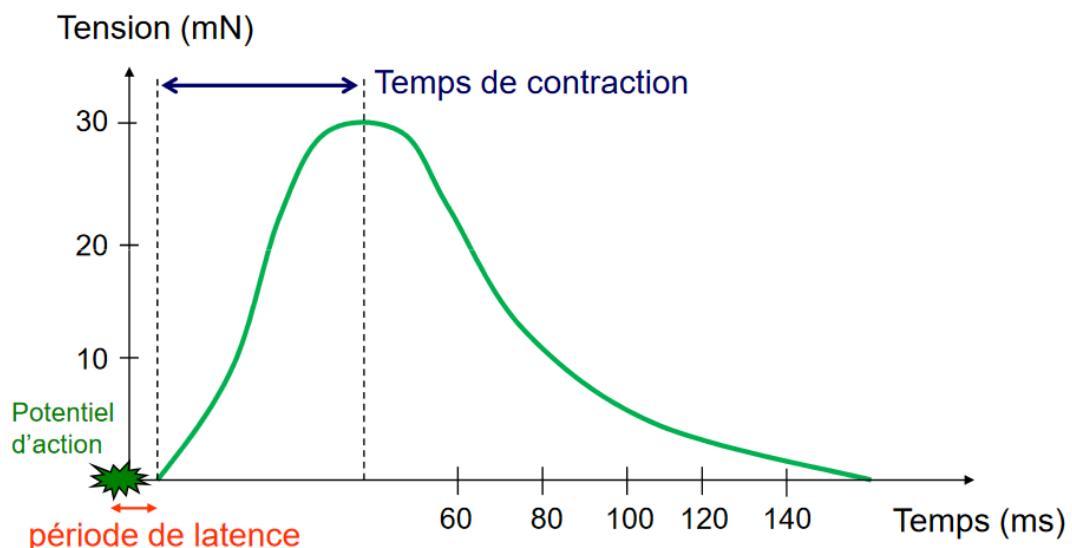
- **Tension** : force exercée par le muscle sur un objet
- **Charge** : force exercée par le poids de l'objet sur le muscle

Concentrique :

- Contraction **isotonique** : tension constante
- Contraction **isocinétique** : vitesse de contraction constante

### Secousse :

réponse mécanique d'une fibre musculaire à un seul potentiel d'action



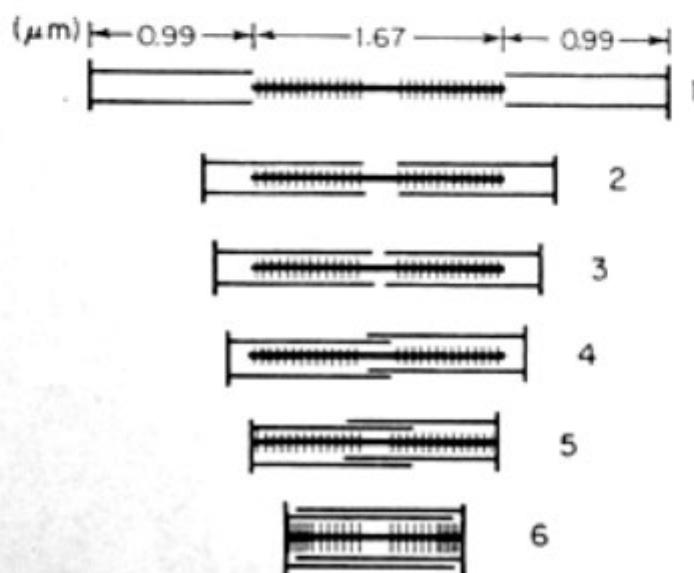
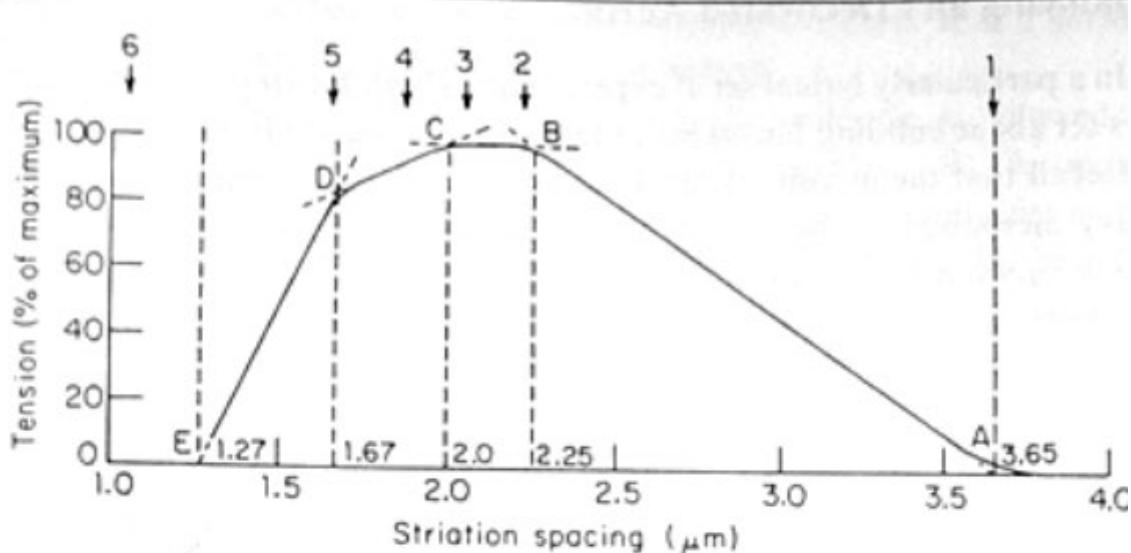
Muscle = éléments élastiques en série (tissu conjonctif, titine...). Ces éléments élastiques transmettent la tension aux extrémités de la fibre.

Donc: Temps de contraction = temps nécessaire à l'étiement des éléments élastiques en série

### Relation entre la longueur et la tension

(Tension active)

- Si longueur fibre < 60% L<sub>0</sub>
  - o Les filaments d'actine se chevauchent (5 et 6), et les filaments de myosine sont en butée contre les lignes Z : pas de tension possible
- Entre 60% et 100% L<sub>0</sub> (4 et 3)
  - o Le nombre de ponts augmente
  - o La tension augmente → MAX
- Entre 100% et 175% L<sub>0</sub> (2 et 1)
  - o Le nombre de ponts diminue jusqu'à ce qu'il n'y en n'ait plus.
  - o La tension diminue → 0



L'étirement in vivo dépasse rarement 30% de la  $L_0$ . La capacité à produire une tension tombe rarement en dessous de la moitié de la tension max

## Historique des modèles

### MODELE DE WEBER

Muscle = élastique

Mais montrerait comportement suivant la loi de hook : Elle stipule que la déformation élastique est une fonction linéaire des contrainte.

Premier modèle :

Muscle activé = simple ressort étiré

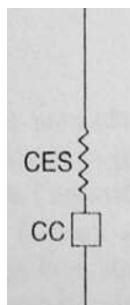
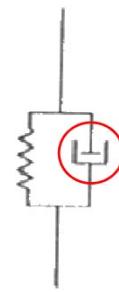


(Weber, 1846)

## MODELE DE HILL A UNE COMPOSANTE

Le muscle a un comportement non-linéaire et produit de la chaleur lors de la contraction.

Ressort avec en parallèle un élément visqueux « amortisseur » pour expliquer les hyrestésies (variation de force dépendrait de la vitesse de la longueur).



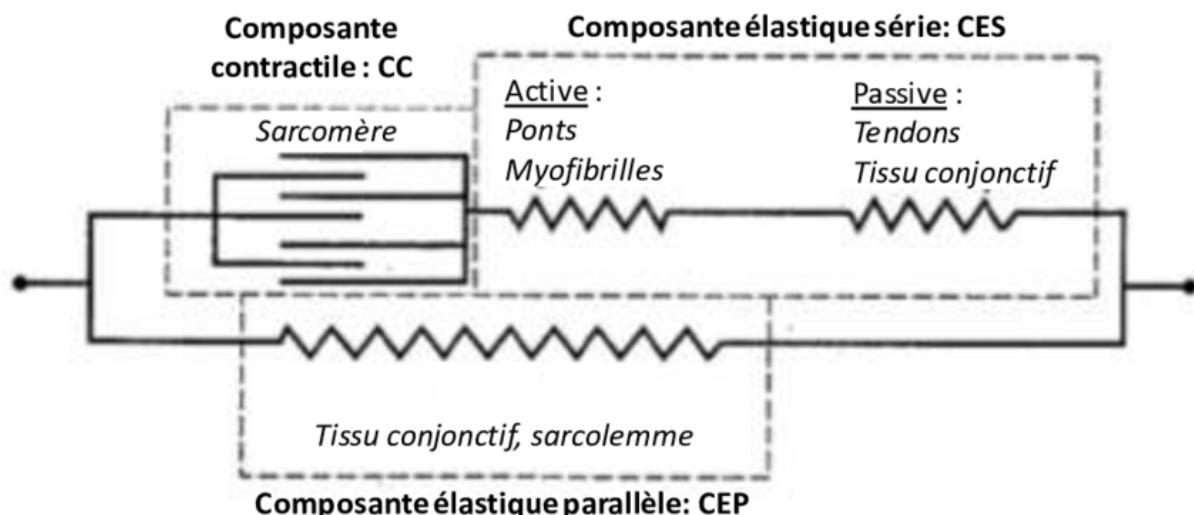
## MODELE DE HILL A DEUX COMPOSANTES

- Une composante élastique en série (CES), ressort non amorti (explique la chute brutale de tension lorsque le muscle est raccourci).
- Une composante contractile (CC) produit le raccourcissement, élément visqueux

## MODELE DE HILL A TROIS COMPOSANTES

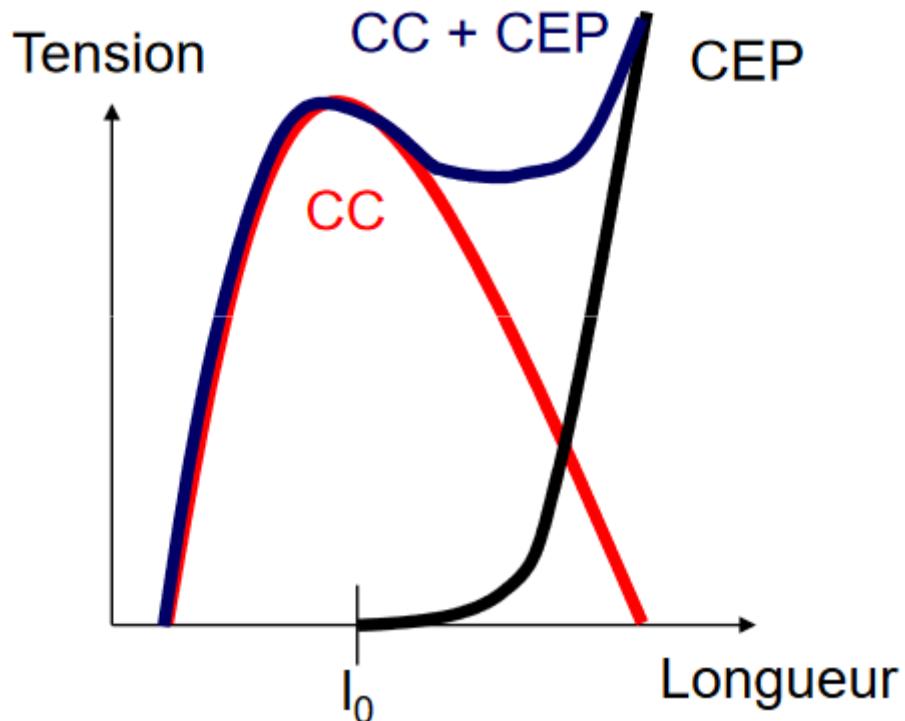
Problème : la composante contractile n'est supposée offrir aucune résistance à l'éirement lorsque le muscle non activé est placé à une longueur élevée. Or, la tension augmente avec la longueur de la fibre, de façon non-linéaire.

- Une composante purement contractile (CC)
  - o Muscle non activé : aucune résistance à l'éirement
  - o Muscle activé : générateur de force, dépend de la longueur et de la vitesse de raccourcissement
- Une composante élastique série (CES)
  - o Muscle activé : explique la chute brutale de tension lorsque le muscle subit un raccourcissement rapide
- Une composante élastique parallèle (CEP)
  - o Muscle non activé : responsable de la tension de repos existant sur un muscle non activé lorsqu'il est étiré. (+titine)

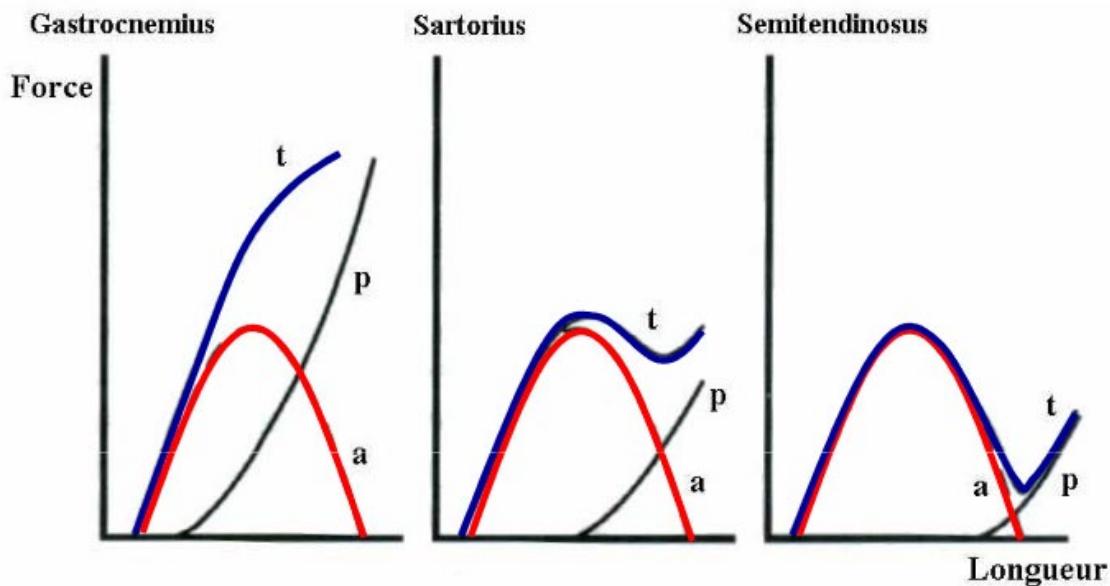


## Relation force longueur

Relation tension-longueur du complexe **muscle-tendon**.



## VARIABILITE EN FONCTION DU TYPE DE MUSCLE



- Quantité et distribution du tissu conjonctif influence la relation force-longueur passive
- Muscle riche en fibres lentes, et donc en collagène, augmente la raideur (résistance à la déformation élastique d'un corps)
- Isoformes de la titine + ou 6 extensible (largeur du plateau de force)

## VARIABILITE DES COURBES TENSION-LONGUEUR EN FONCTION DE L'ACTIVITE

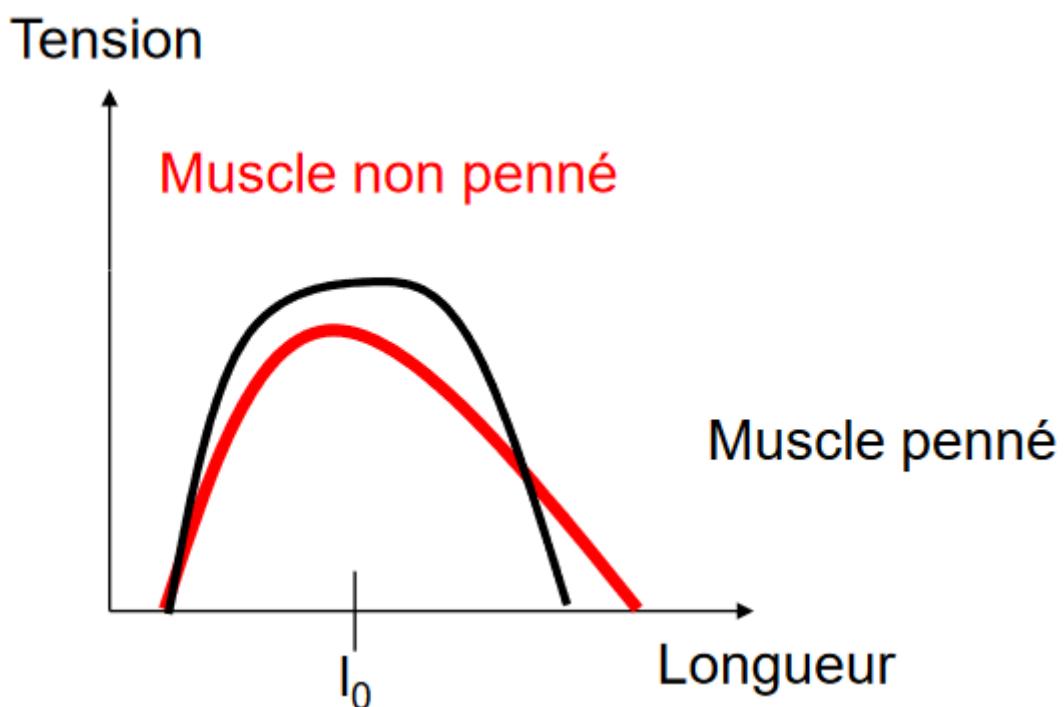
Inactivité diminue la tension développée par la CES

### MUSCLES PENNES

La  $F_{max}$  isométrique que peut produire un muscle est directement fonction du nombre de fibres en parallèle (PCSA)

Or pour les muscles pennés, l'angle de pennation augmente le nombre de fibres en parallèle (PCSA), mais diminue leur longueur

Donc diminution de la force efficace pour une fibre de muscle penniforme mais plus de fibres, donc un peu plus de force au total à volume égal et Amplitude de raccourcissement plus petite car fibres plus courtes et raccourcissement en latéral

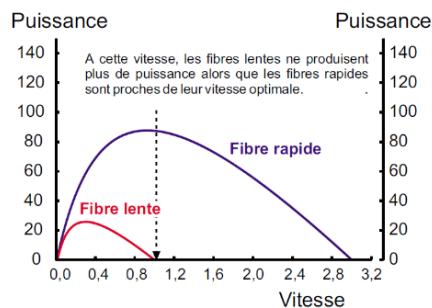


### Relation force-vitesse

Hyperbolique, dépend de l'activité de l'ATPase de la myosine.

Dans les cas de mouvements pluri-articulaires, la relation force – vitesse du membre testé s'apparente à une relation linéaire décroissante

## Relation Puissance-vitesse



## Complexe muscle-tendon

ELASTICITE, RAIDEUR

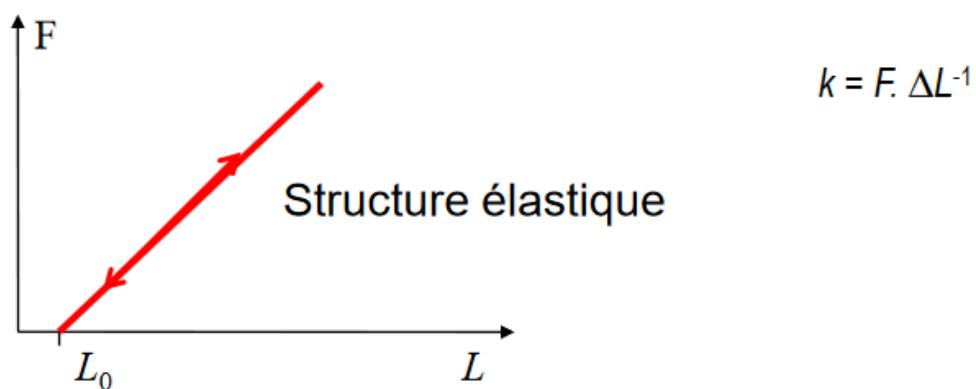
### Définitions

L'application d'une force sur un matériau crée sa déformation. Le rapport entre cette force et la variation de longueur engendrée est donné par la relation :

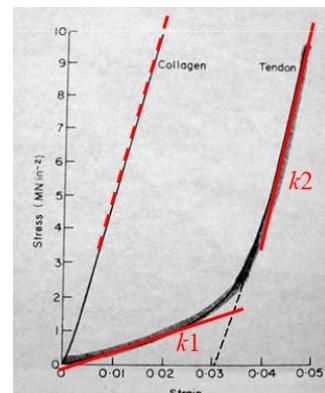
$$F = k \times \Delta L$$

Avec  $k$  la raideur du matériau ( $\text{N.m}^{-1}$ ). Plus la raideur est grande, plus on peut stocker de l'énergie élastique.

### Raideur du matériau (pente de la relation) :

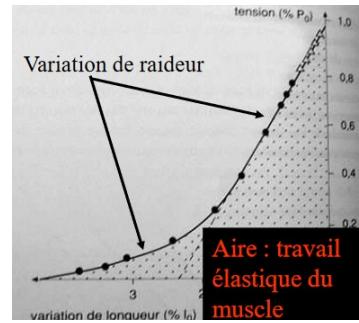


- Dans le muscle passif : la raideur augmente avec la longueur et la tension.
- Dans le tendon :
  - o Elasticité du collagène très faible (1-2%) comparé à l'élastine ou la CES musculaire.
  - o Pour des allongements faibles, les fibres changent de disposition, en opposant une faible tension, puis la courbe tension longueur du tendon correspond à celle du collagène (très forte raideur)



## Le complexe muscle-tendon

Raideur pas linéaire, augmente avec l'augmentation de la tension développée



## STOCKAGE-RESTITUTION D'ENERGIE ELASTIQUE

$$E_{el} = \frac{1}{2} \times k \times \Delta L^2$$

Travail élastique quand muscle étiré : son énergie élastique augmente.

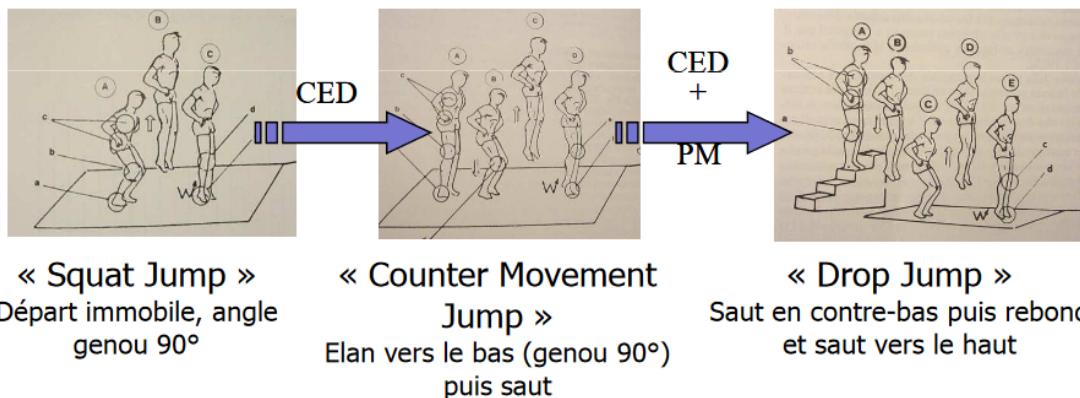
L'effet Cavagna montre l'effet positif d'un étirement préalable du complexe muscle-tendon sur la production de travail lors de la contraction en raccourcissement.

## Le cycle étirement détente

L'énergie stockée en phase d'étirement est peu coûteuse métaboliquement, et dépend de la raideur musculo-tendineuse

La restitution optimale d'énergie élastique dépend du temps de couplage excentrique-concentrique, qui doit être court, avant dissipation en chaleur

De plus, un temps de couplage très court favorise la production de force en phase concentrique par activité réflexe



Augmentation de performance (hauteur du saut):

**Cycle Etirement-Détente et Potentiation Myoélectrique (réflexe)**

Le muscle a un comportement thixotropique : un échauffement diminue la viscoélasticité musculo-tendineuse. Dans les activités d'explosivité, raideur = paramètre important dans le maintien de la perf (répétition de sprint)

Dilemme : échauffer sans trop assouplir...

- Échauffement dans les disciplines de sprint (haies) ?
- Entraînement à la raideur ?