

MUSCLE STRIE SQUELETTIQUE

aspects mécaniques et énergétiques

- 1 .GENERALITES
- -rapport entre organisme et espace
environnement : la mobilité

Les muscles squelettiques assurent trois fonctions importantes :

1 ils permettent les mouvements (mobilité corporelle, mobilité de l'expression du visage...)



2 ils permettent de maintenir une posture



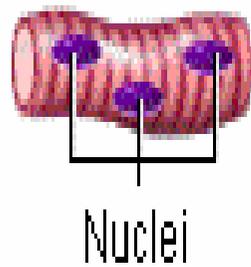
3 ils participent à la régulation de la température corporelle grâce à leur masse importante





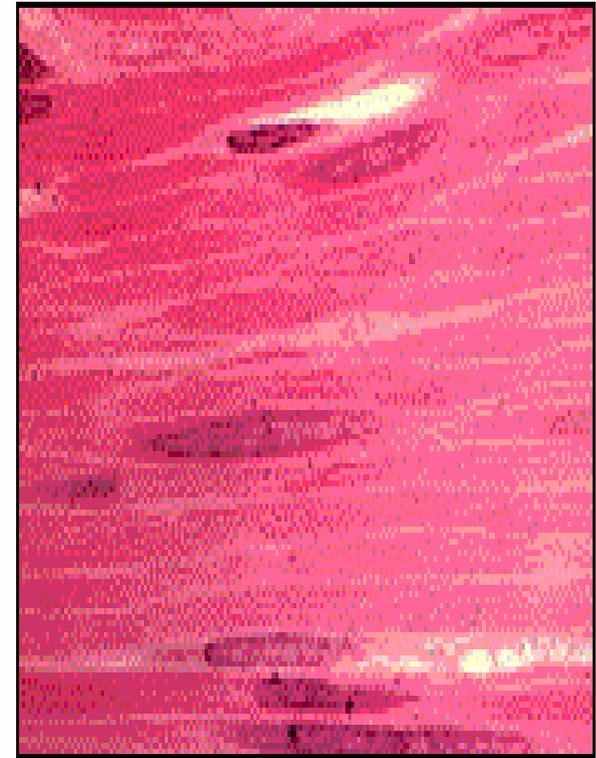
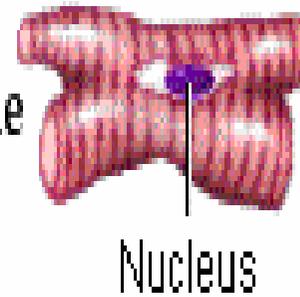
Skeletal Muscle

300 x



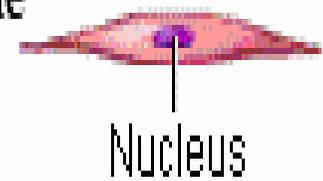
Cardiac Muscle

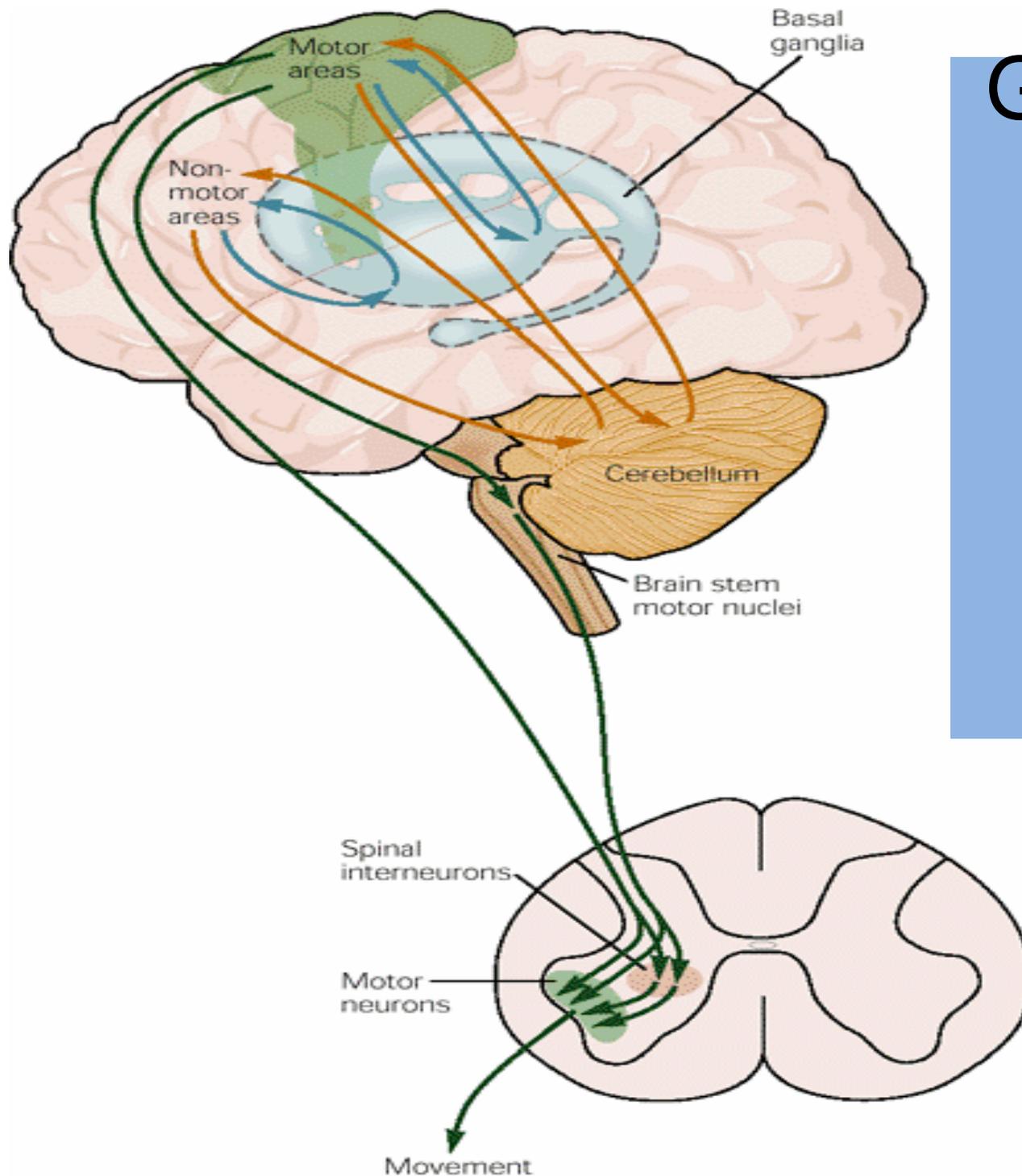
400 x



Smooth Muscle

1200 x





GENERALITES

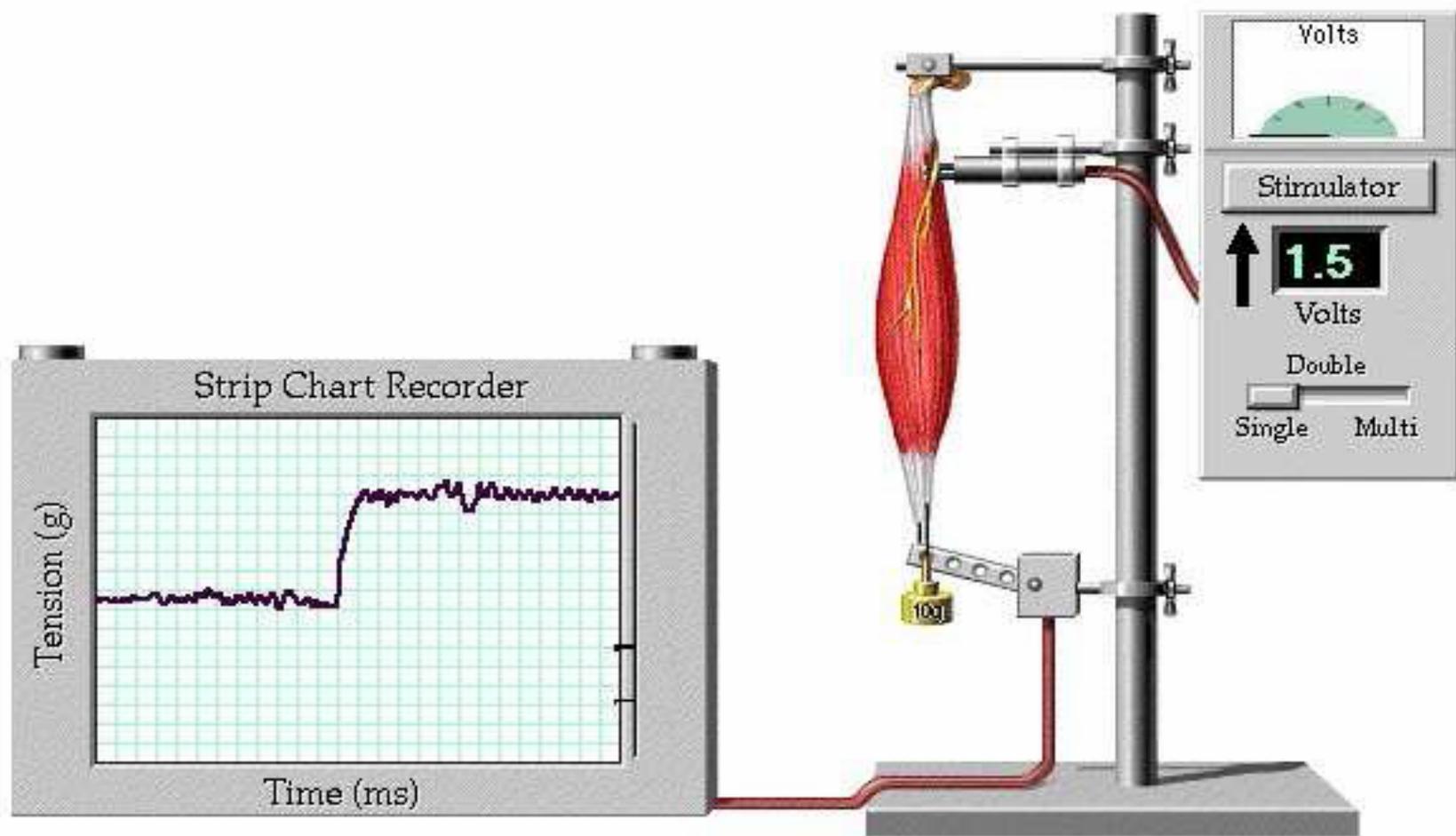
motricité
volontaire

-structures
impliquées

PROPRIETES MECANIQUE DU MUSCLE STRIE SQUELETTIQUE

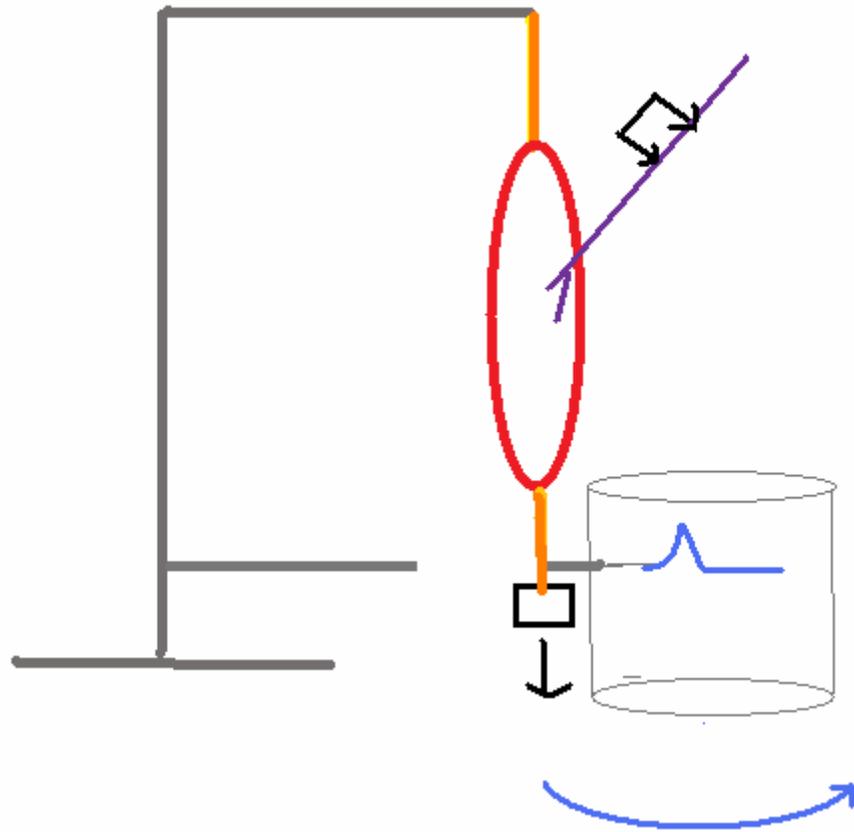
- Contraction musculaire : modification physique
- Contraction isométrique : le muscle se contracte en développant une tension active a longueur constante
- Contraction isotonique : contraction avec raccourcissement a tension constante

DISPOSITIF D'ENREGISTREMENT MYOGRAPHIQUE



METHODES D'ETUDES

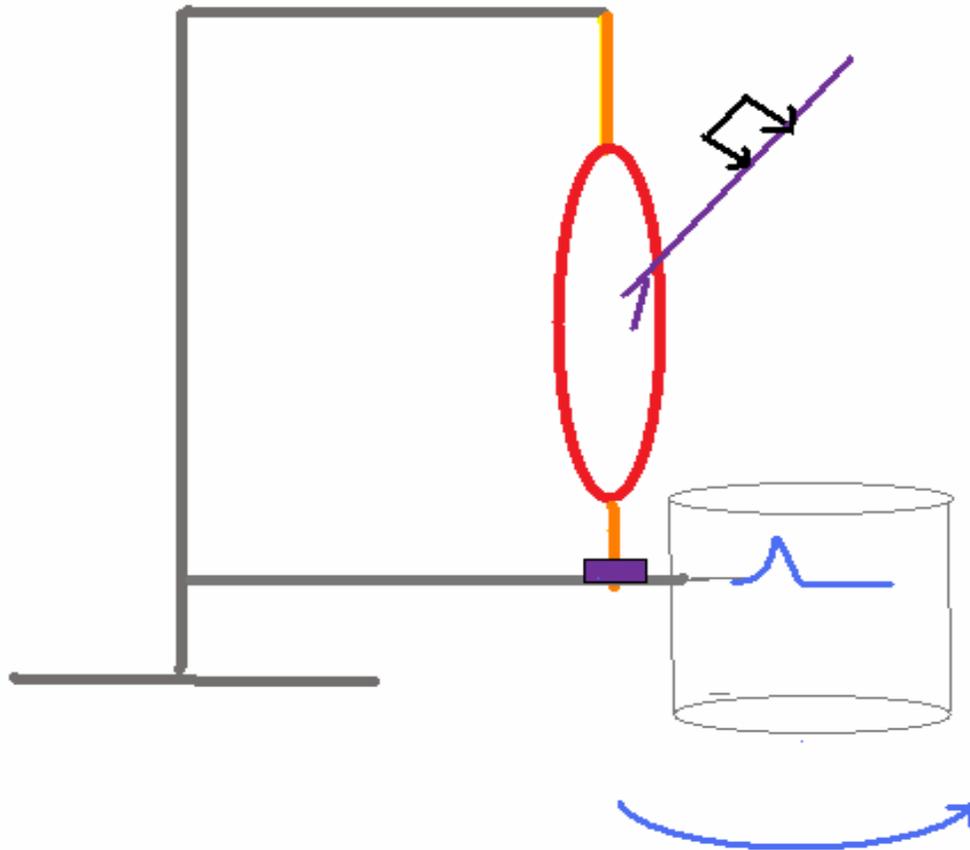
- DISPOSITIF MYOGRAPHIQUE ISOTONIQUE



Enregistrement
du
raccourcissement
effectuée par le
muscle suite à la
stimulation

METHODES D 'ETUDES

- DISPOSITIF MYOGRAPHIQUE



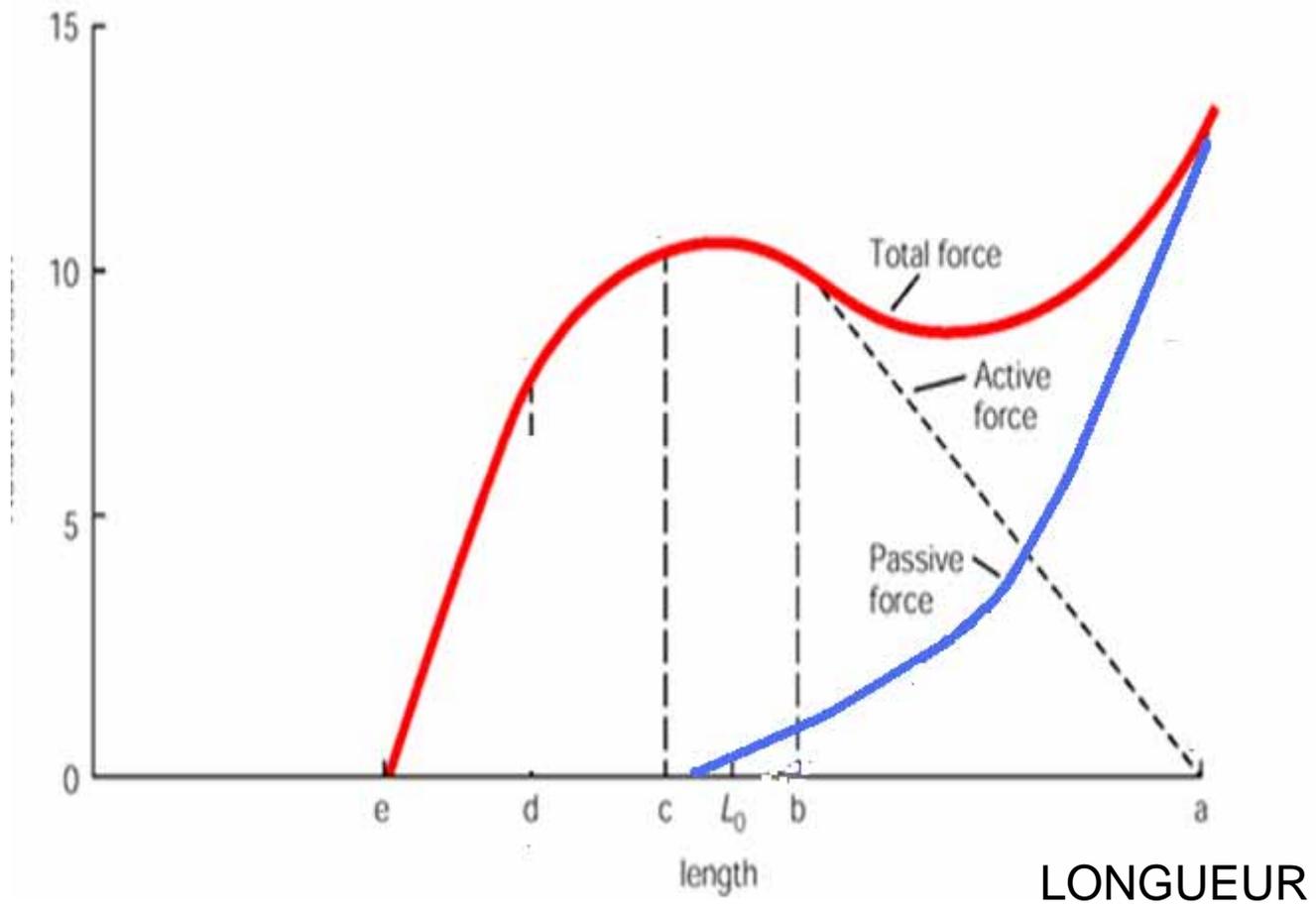
Enregistrement
de la tension
développée par
le muscle

PROPRIETES MECANIQUE

- **AU REPOS**
- **-ELASTICITE**: principale propriété au repos
résistance a l'étirement et finalement retour
a la longueur initiale
- **PLASTICITE** : viscosité des protéines
contractiles

ELASTICITE

TENSION

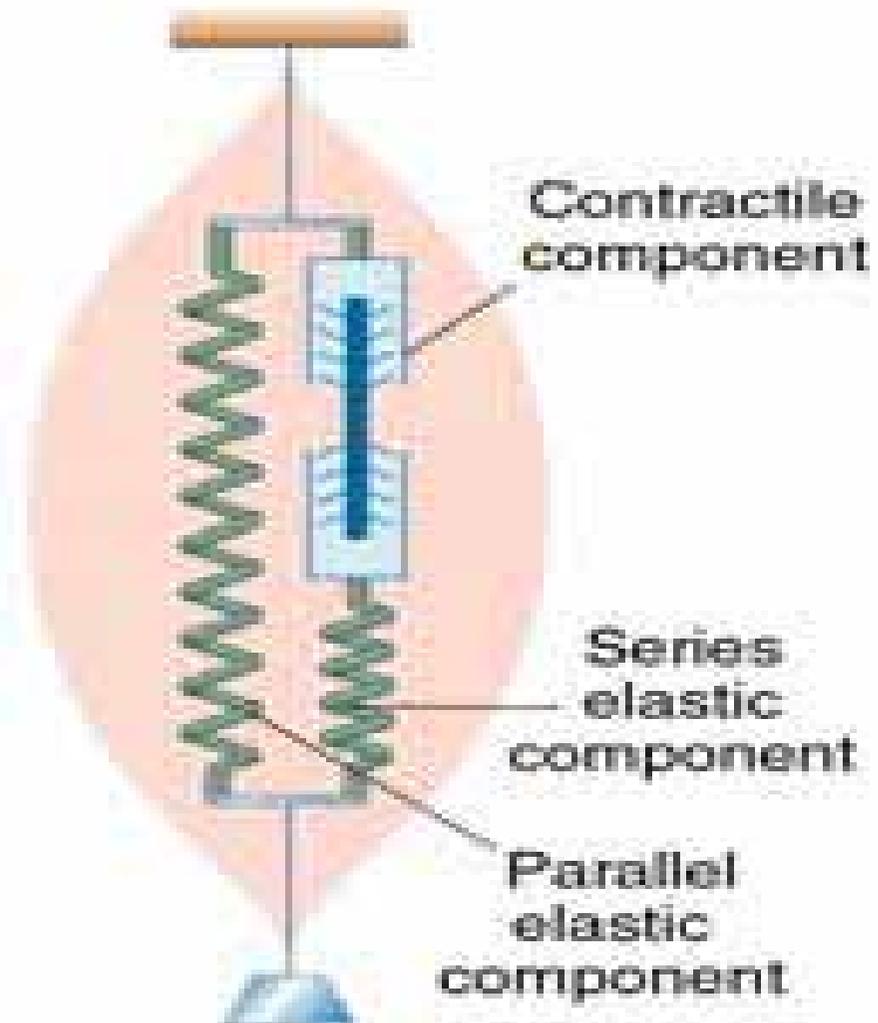


PROPRIETES MECANIQUE

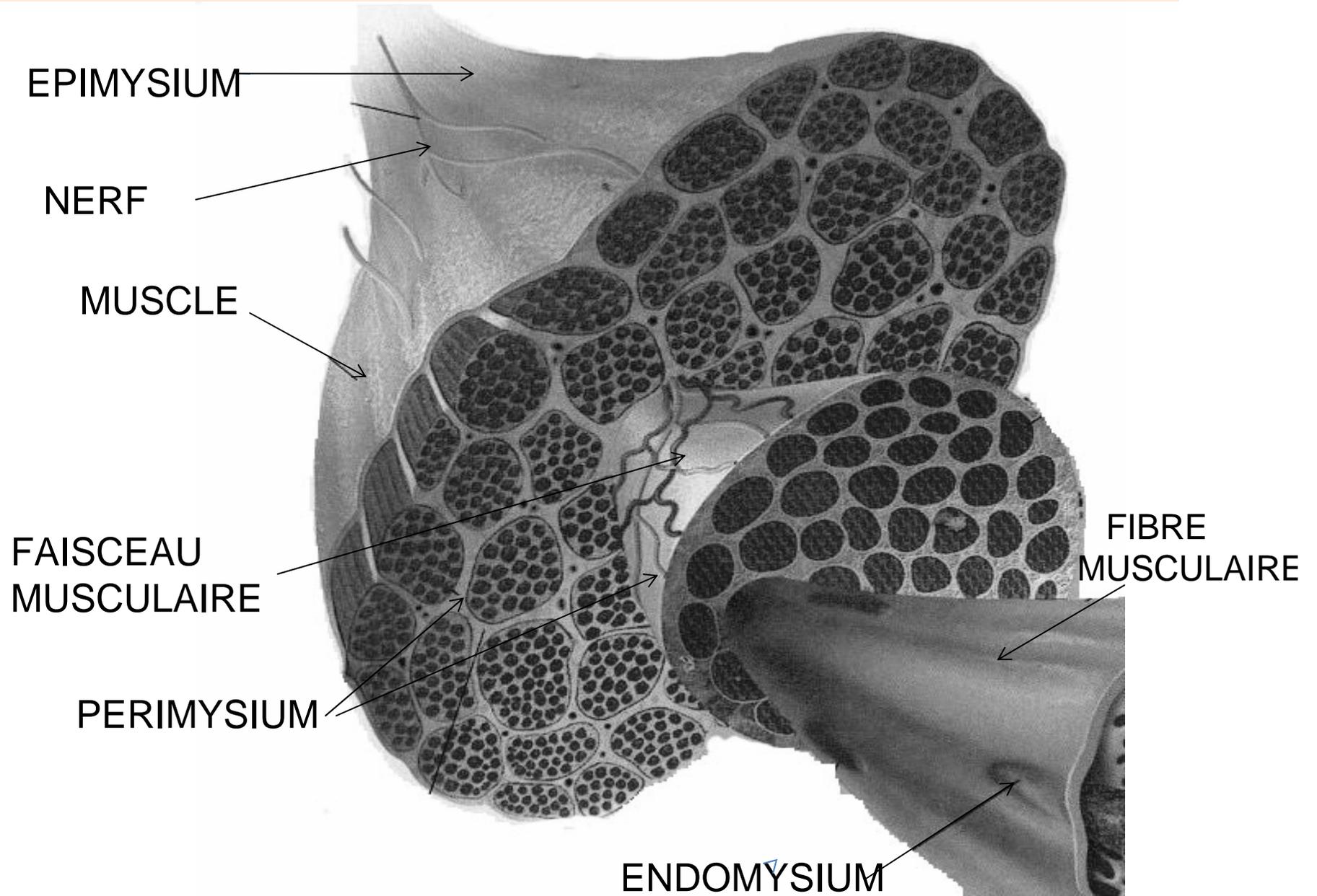
- **Notion de longueur de repos** (naturelle)
- **Notion de longueur d'équilibre** : 20% plus court que L Repos
- **Notion de précharge** : tension (charge nécessaire pour maintenir le muscle à sa longueur de repos

PROPRIETES MECANQUES

- Modèle mécanique de Hill
- -composante élastiques en series :tendons ,lignes Z etc...
- Composantes élastiques en parallèles: sarcolemme, reticulum sarcoplasmique, tissu conjonctif ...
- Composantes contractiles:myofibrilles



Membranes musculaires

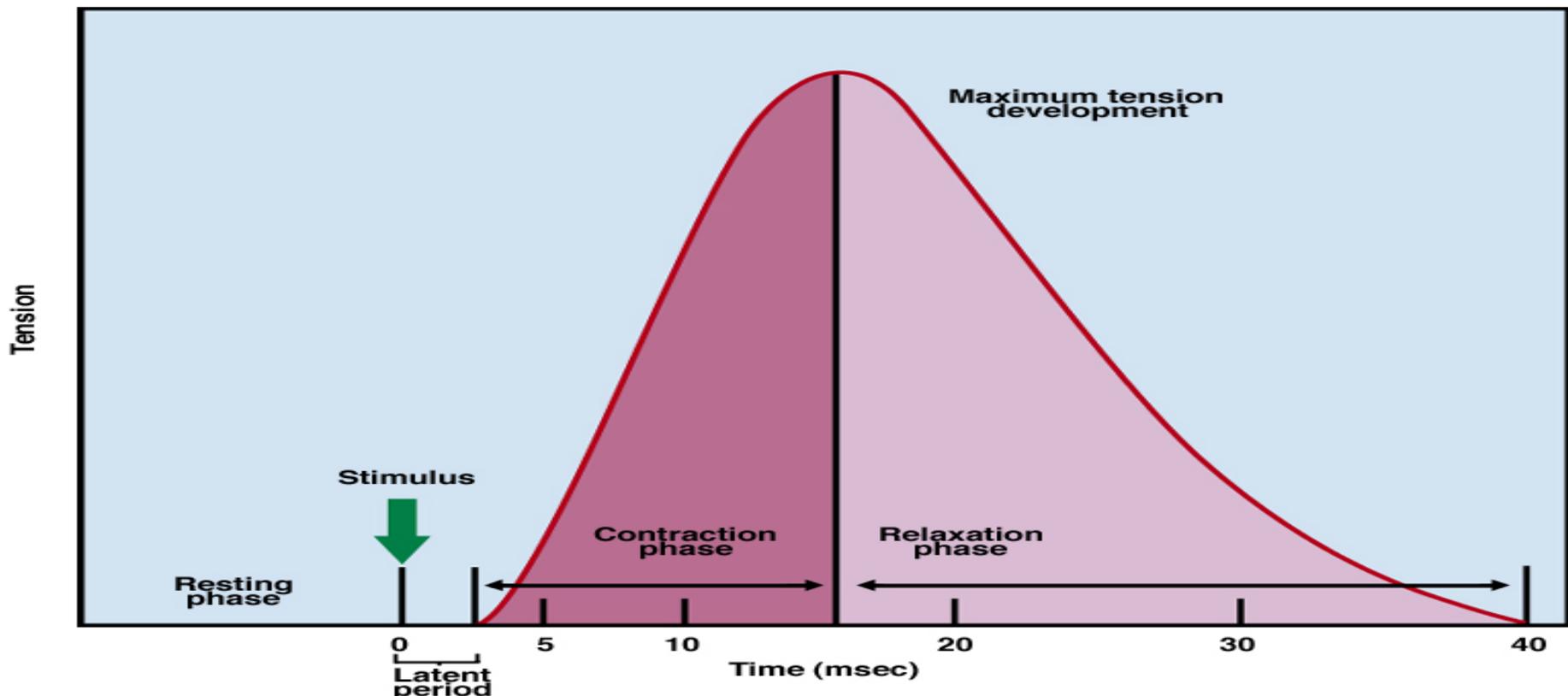


PROPRIETES MECANIQUE

- **EN ACTIVITE**
- **SECOUSSE MUSCULAIRE** : contraction brève du muscle a la suite d'une stimulation unique supraliminaire qui peut être divisée en différentes phases :

SECOUSSE MUSCULAIRE

- 1 **Latence** : couplage excitation contraction....
- 2 **Phase de contraction** : développement de la tension active
- 3 **Phase de décontraction** : relâchement du muscle
(4X plus long que phase 2)



Secousse musculaire

-Variante :

Fatigue : allongement de la décontraction

Froid : augmentation de la durée de la contraction et de la décontraction

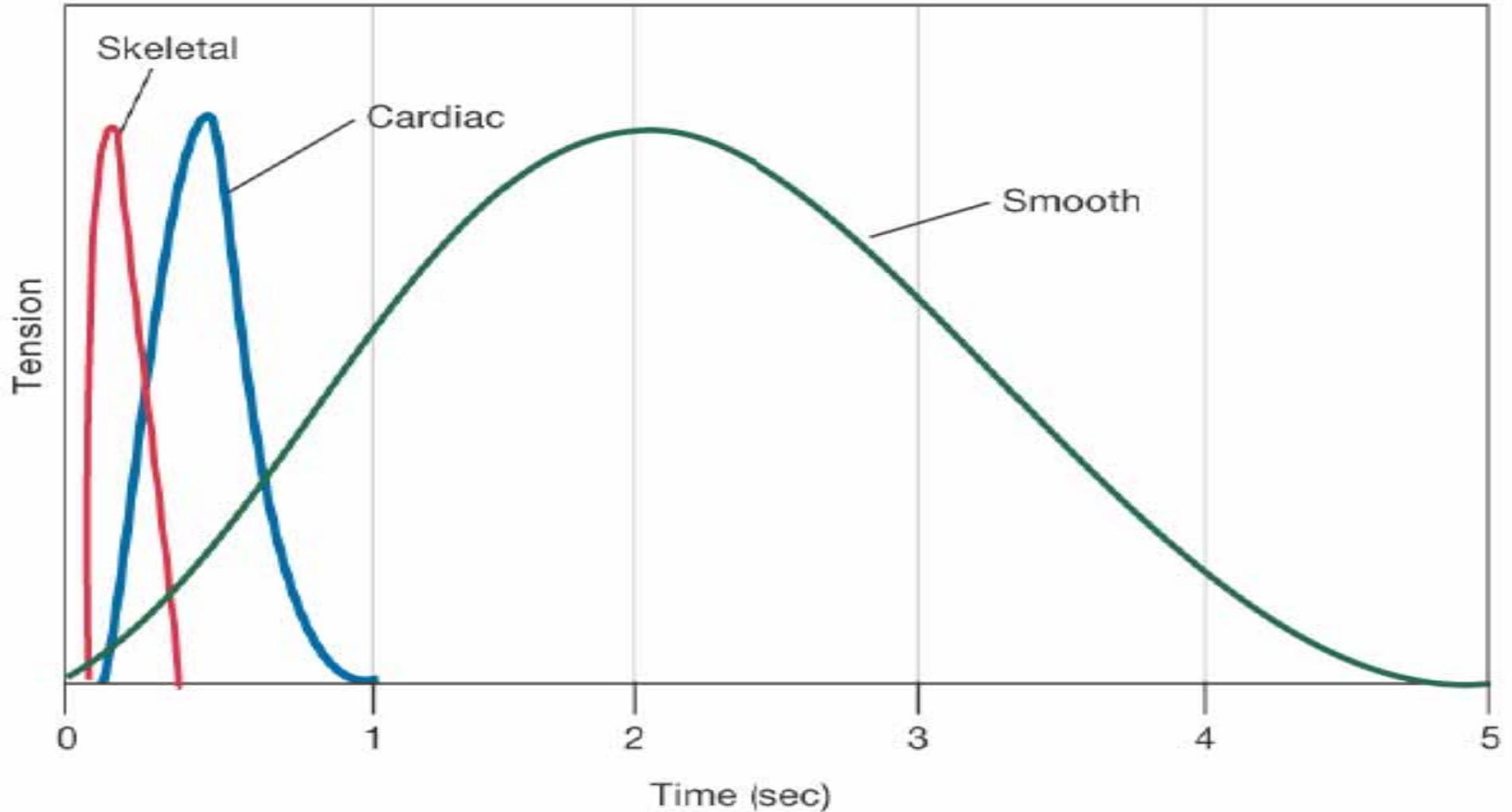
- Durée:

Muscles rapides (oculo-moteur):7à10 msec

Muscles lents (soléaire) ...90 à 120 msec

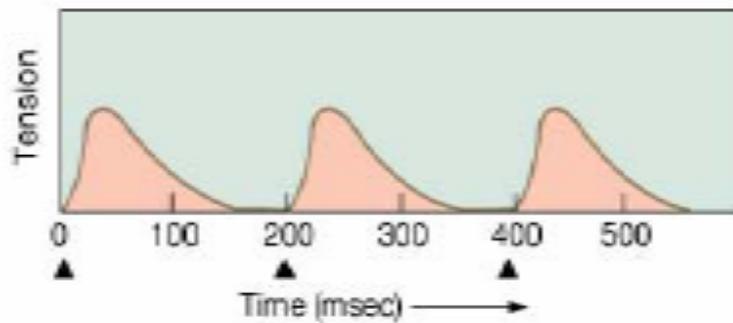
- Autres.

COMPARAISON SUR LA DUREE DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE AU NIVEAU DES TROIS TYPE DE MUSCLES

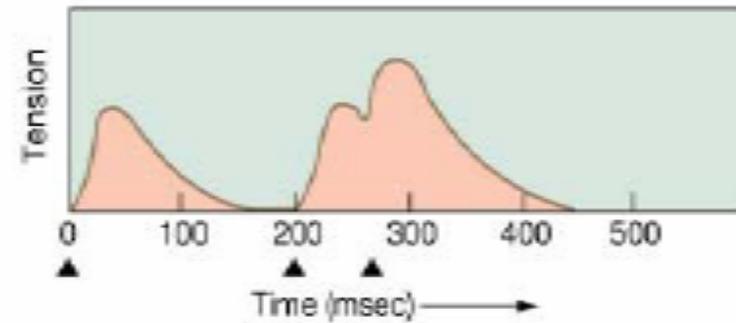


Sommation et tetanos

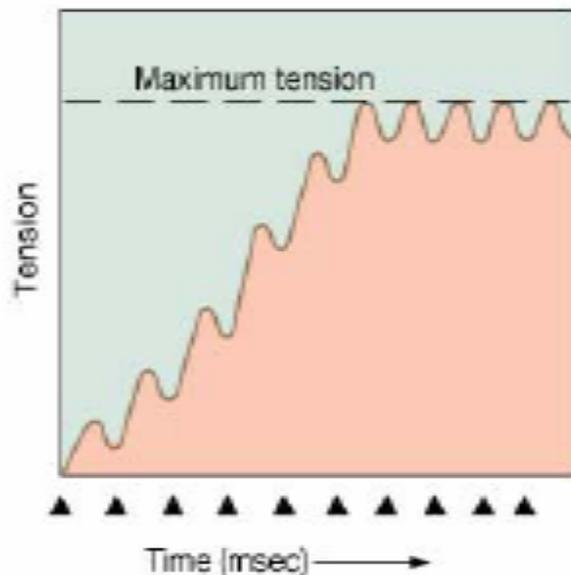
(a) **Single twitches:** Muscle relaxes completely between stimuli (▲).



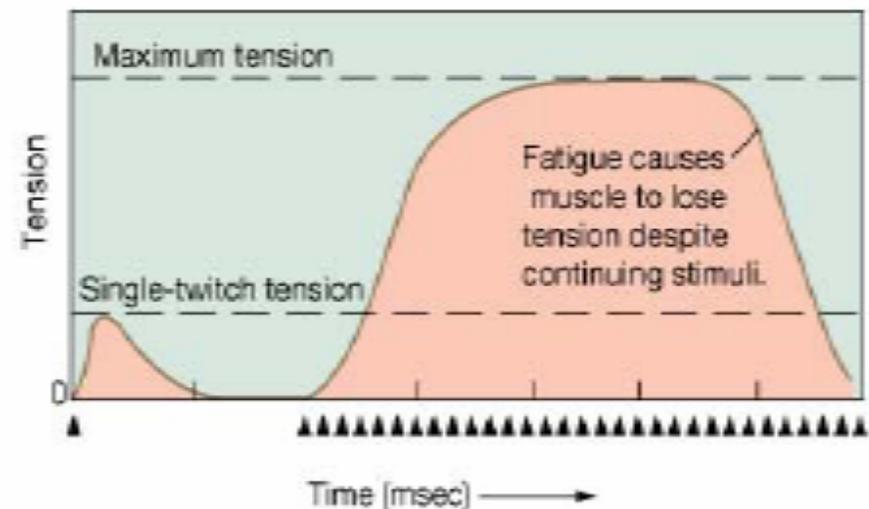
(b) **Summation:** Stimuli closer together do not allow muscle to relax fully.



(c) **Summation leading to unfused tetanus:** Stimuli are far enough apart to allow muscle to relax slightly between stimuli.



(d) **Summation leading to complete tetanus:** Muscle reaches steady tension.



SOMMATION et TETANOS

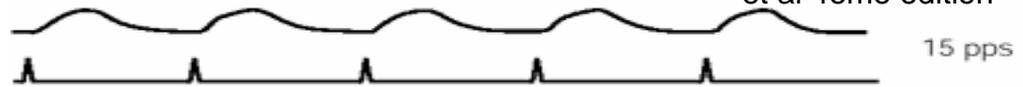
Principles of Neural Science
Eric R. Kandel
et al 4eme edition

-A HAUTE FREQUENCE :
fusion des secousses
tétanos isométrique ou
isotonique

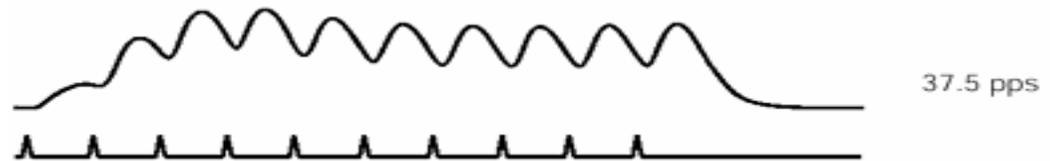
**-FUSION TOTALE DES
SECOUSSES** (physiologique)
variable selon les fibres 30 pps
pour le soléaire 300 pps pour
le muscle oculomoteur

-FORCE DE CONTRACTION
environ 4x plus importante

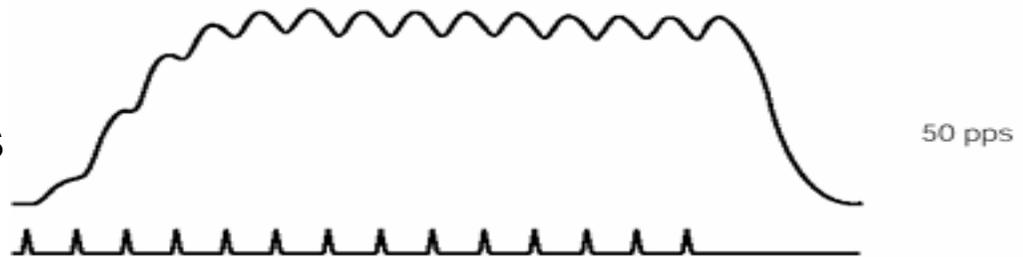
A Successive isometric twitches



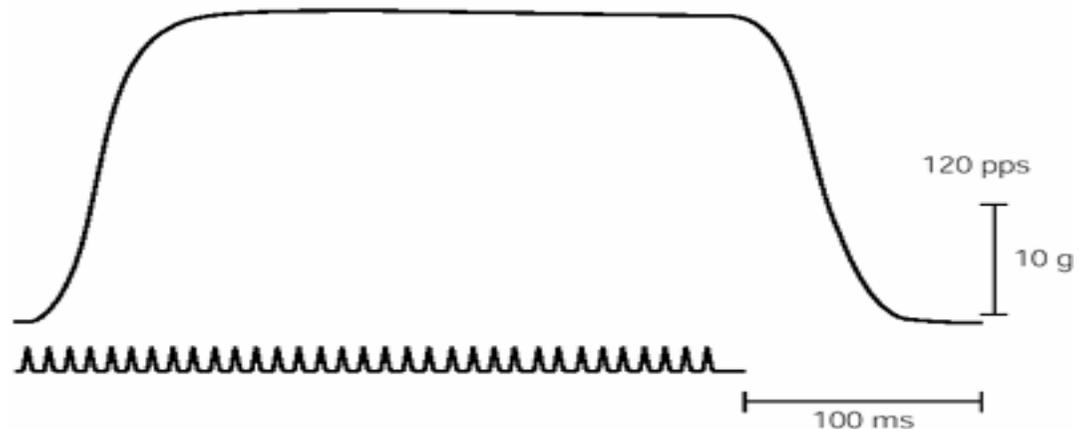
B Summation of successive isometric twitch contractions



C Unfused tetanus



D Fused tetanus

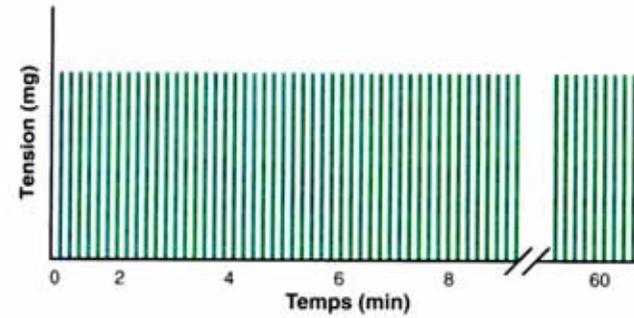
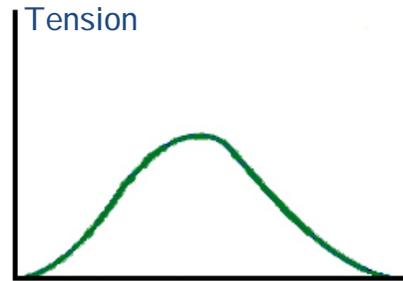


Différents types de fibres musculaires squelettiques

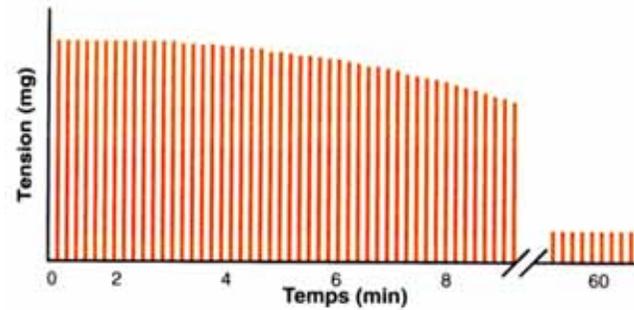
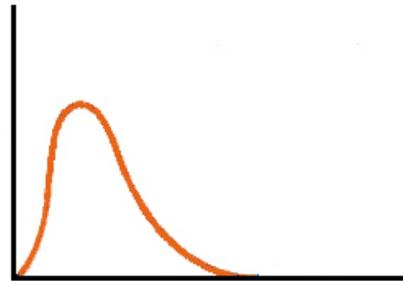
secousse unique

secousses répétées

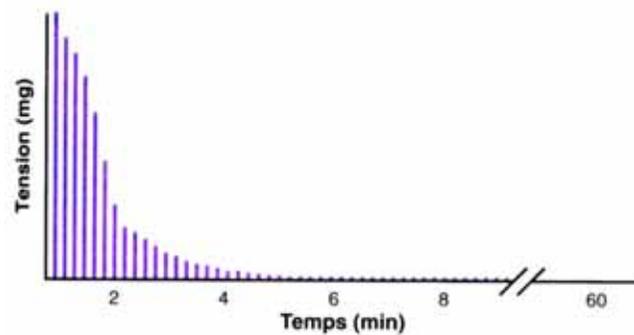
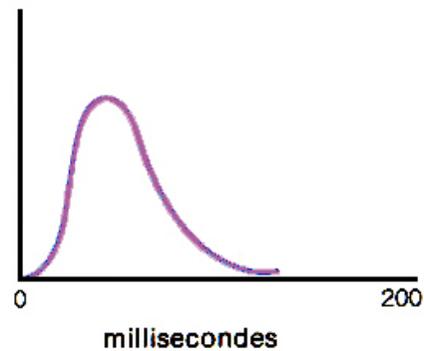
Fibres lentes oxydatives (I)



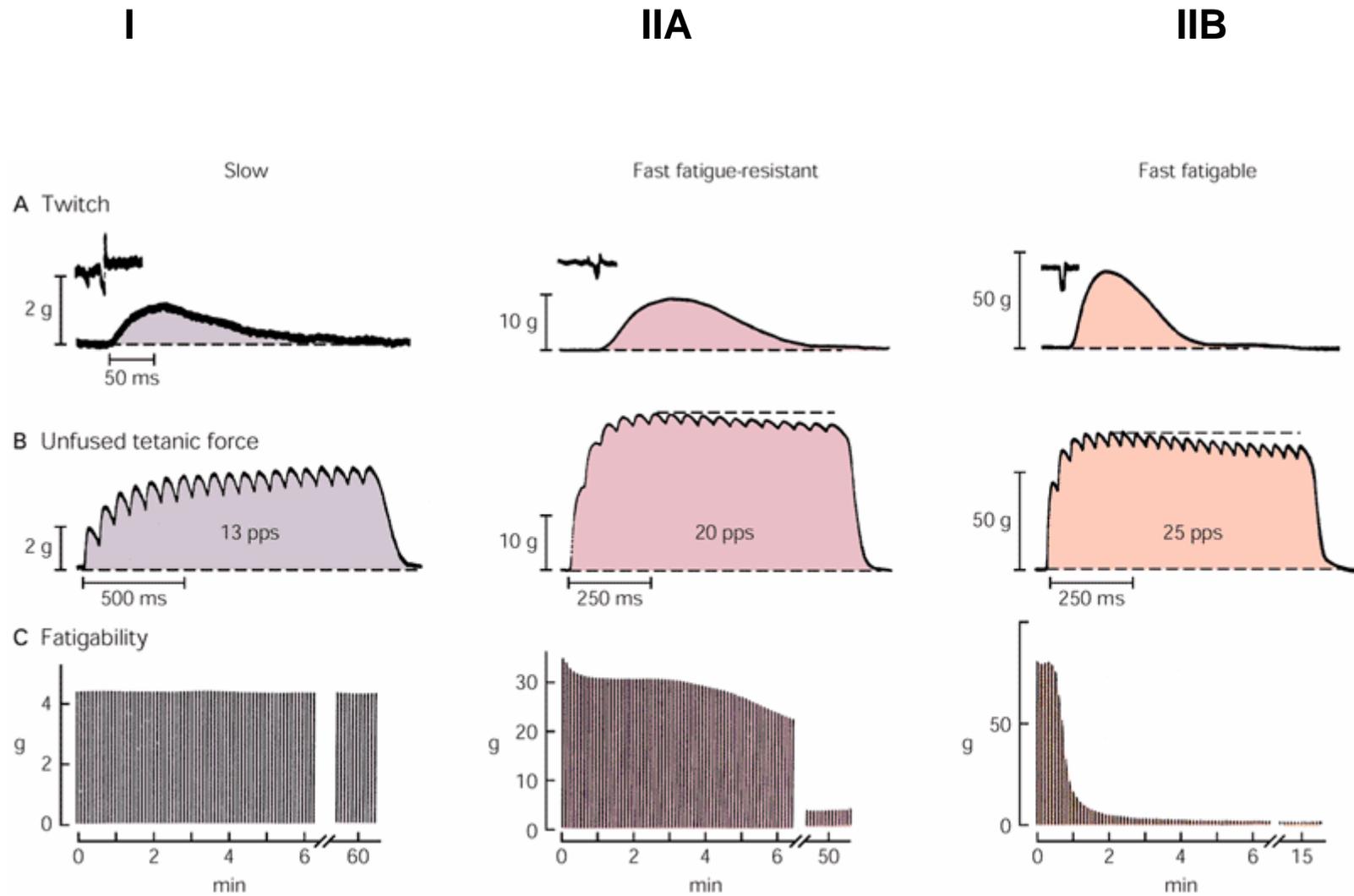
Fibres rapides mixtes (IIA)



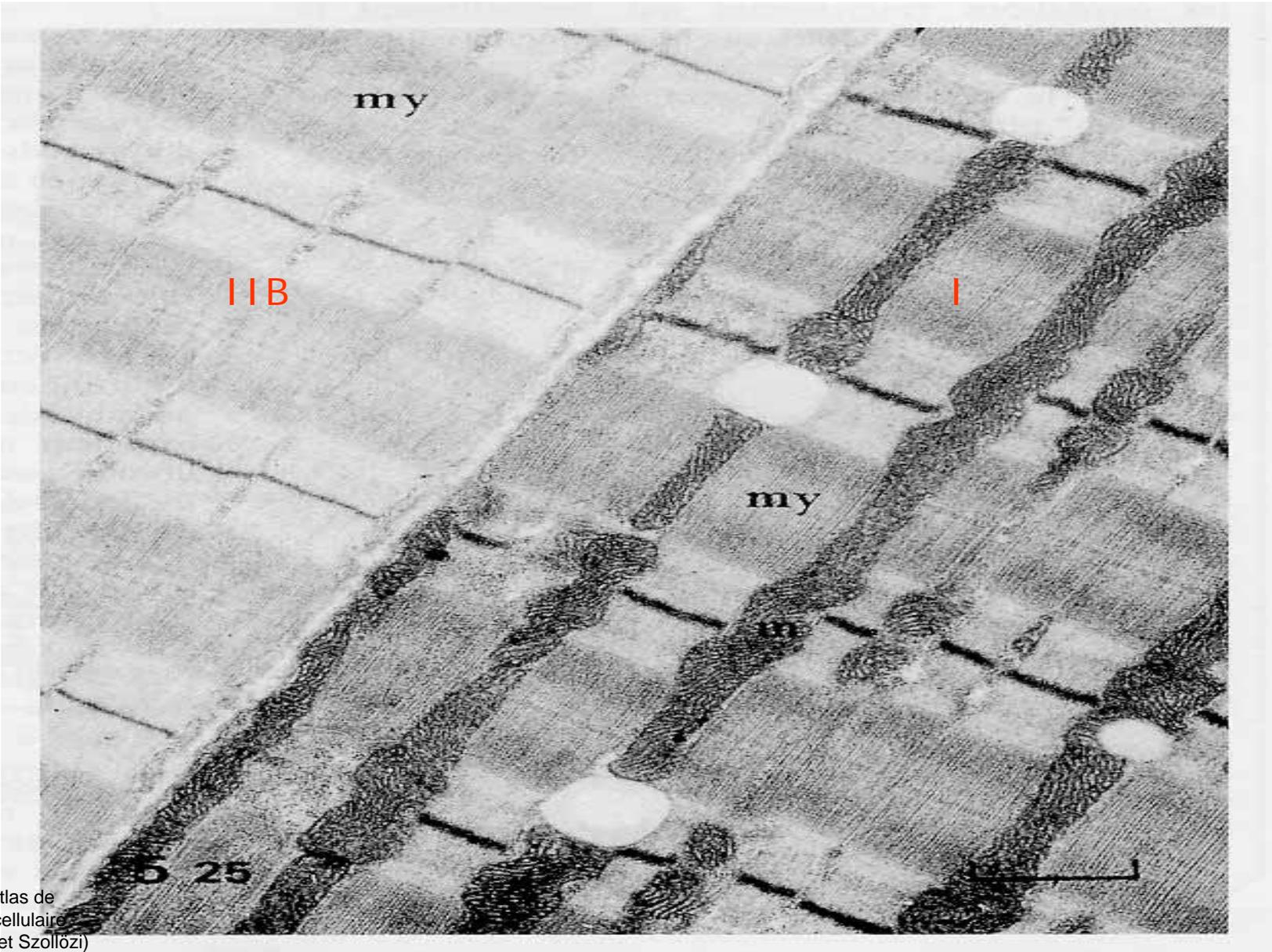
Fibres rapides glycolytiques (IIB)



DIFFERENTS TYPE DE FIBRES MUSCULAIRES STRIEES SQUELETTIQUE



Différents types de fibres musculaires squelettiques



d'après atlas de
biologie cellulaire
(Rolland et Szöllözi)

Différents types de fibres musculaires squelettiques

	Lentes oxydatives (I)	Rapides mixtes (IIA)	rapides glycolytiques (IIB)
contraction	lente	rapide	rapide
fatigue	tardive	intermédiaire	précoce
métabolisme anaérobie	+	++	+++
diamètre des fibres	faible	moyen	élevé
métabolisme aérobie	+++	++	+
mitochondries	+++	+	(0)
myoglobine	+++	++	+
couleur du muscle	rouge	intermédiaire	pâle
vascularisation	+++	++	+
lipides	+++	++	+

RELATION FORCE – VITESSE

Equation de Hill : $V = (P_o - P) \cdot b / p + a$

P_o = max de Tension développée par le muscle ;

P = pré et post charge ;

a = cte de vitesse

b = cte de force

VITESSE

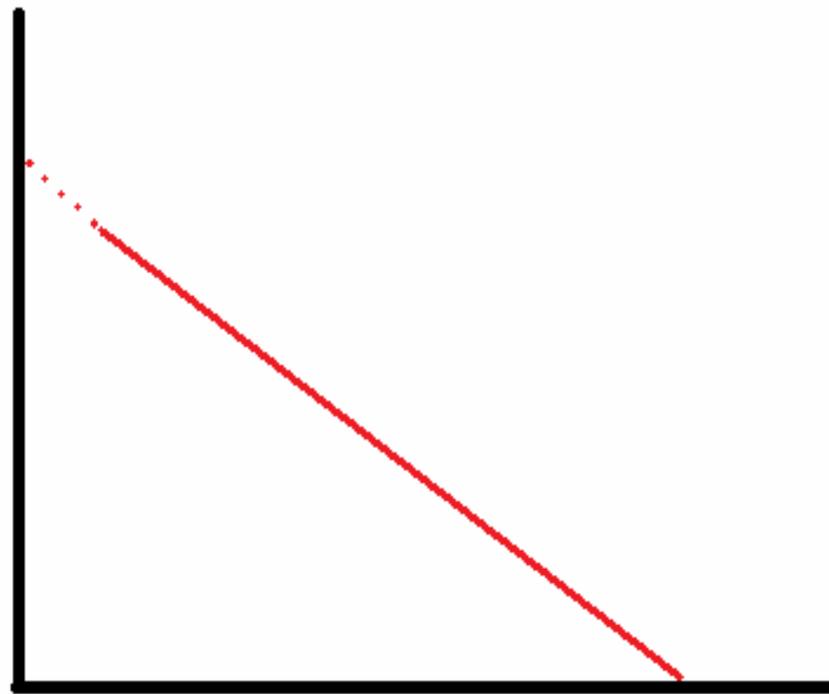
V_{max}

précharge

P_o

F

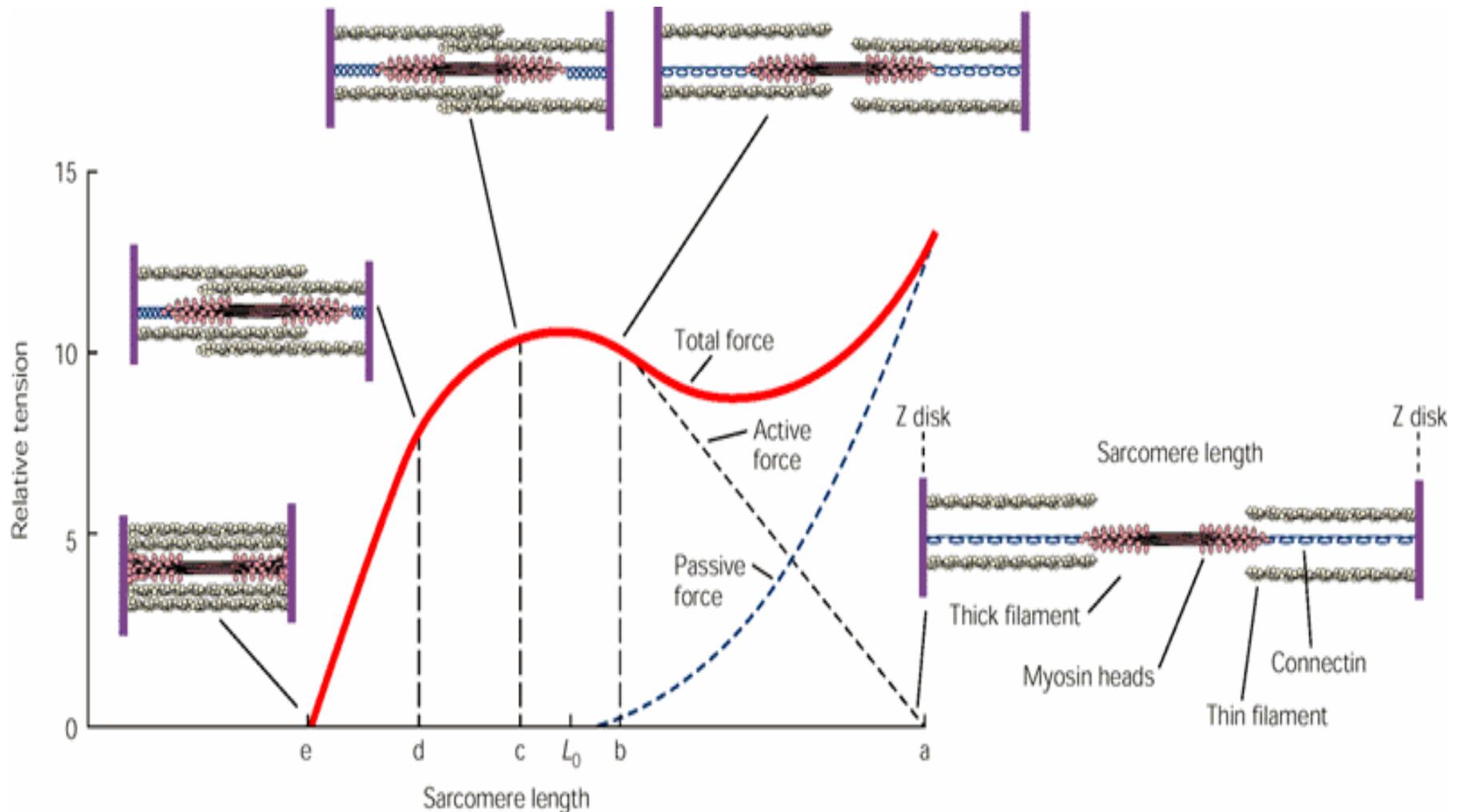
(charge)



RELATION TENSION –LONGUEUR

La force active dependra du degré de chevauchement entre filaments fin et épais

Maximum de tension active développé à la longueur de repos



ASPECT ENERGETIQUE

- $ADP+CP \rightleftharpoons ATP+C$
- $2 ADP \rightleftharpoons ATP+AMP$
- glycolyse anaérobie \longrightarrow acide lactique
+3ATP \longrightarrow
- glycolyse aérobie \longrightarrow $CO_2 + H_2O +$
36 AT
- AGL \longrightarrow $CO_2 + H_2O + nATP$

ATP = **source d'énergie immédiate** ; Les **hydrates de carbone** dans les **premières minutes de l'exercice** provenant du glycogène musculaire et du glycogène hépatique

Les **acides gras** et l'**acide acétoacétique** provenant des triglycérides **ensuite**.

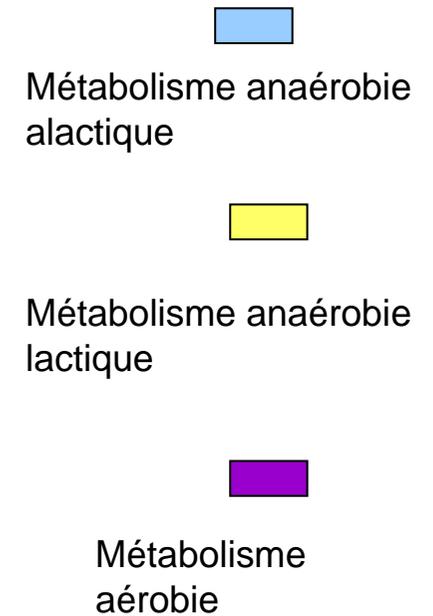
Les **acides aminés** peuvent être **utilisés** mais dans une **moindre** proportion

Source d'énergie immédiate : ATP

- Utilisation des différentes sources d'énergie
 - Au début d'un travail musculaire, les
 - réserves d'ATP s'épuisent en quelques
 - secondes, et peu après, celles de **créatine**
 - **phosphate**.
 - la glycolyse anaérobie atteint son
 - maximum après environ **45 secondes**,
 - le métabolisme aérobie met environ **2**
 - **minutes** pour s'installer pleinement.

Voies de restauration de l'ATP

Activité sportive	Durée	pourcentage de la dépense énergétique totale couvert par chacun des types de métabolismes										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ski de fond	3 à 5 h											
marathon	2h10 à 3h											
marche	1 à 3h											
nage libre (1 500 m)	15 à 16 min											
course (3 000 m)	7,32 à 8 min											
course (1 500 m)	3,31 à 3,50 min											
nage libre (200 m)	1,49 à 2,15 min											
course (400 m)	43 à 49 s											
course (100 m)	10 à 11s											
haltérophilie	quelques secondes											



DETTE D'O₂

Après l'effort une **surconsommation d'o₂** est nécessaire pour reconstituer les réserves énergétiques qui **correspond au déficit de l'offre observé durant l'effort** ; elle comporte deux parties :

- **la première partie dette alactique**

précoce de la dette d'oxygène correspondant à la reconstitution du phosphagène (ATP ,CP) et aux réserves d'oxygène

- **La deuxième partie :la dette lactique** qui survient ensuite

correspondant à l'élimination de l'acide lactique.

A noter la reconstitution du stock de **glycogene** s'effectuera avec des délais beaucoup plus longs

ASPECTS ENERGETIQUES

- Les dérivés phosphatés libèrent durant la contraction musculaire de l'énergie qui sera transformé :
- **En travail** $W=F.L$ (F = charge ; L= déplacement)
- **notion DE RENDEMENT** : $W \times 100 / E. \text{ tot} = 20\%$
- **en chaleur**
Autres rôle de ATP: plasticité, pompe ionique...

PHENOMENES THERMIQUES

CHALEUR INITIALE (HILL) se décompose:

- Chaleur d'activation**: (65% de celle d'une secousse), dissociée de la tension, max durant la période de latence
- Chaleur de maintien** : max lors du tétanos isométrique à la longueur de repos
- Chaleur de raccourcissement** , d'allongement, de relâchement,
- Effet thermo élastique** : s'échauffe à l'étirement et se refroidit à la détente

CHALEUR RETARDEE : chaleur aérobie : accompagne les processus métaboliques de remise en état du muscle dans les conditions initiales