



UNIVERSITÉ
BORDEAUX
S E G A L E N

Licence Biologie

UE physiologie cellulaire et immunologie

La contraction musculaire et le mouvement

Étienne Roux

*Adaptation cardiovasculaire à l'ischémie INSERM U 1034
UFR des Sciences de la Vie Université Bordeaux Segalen*

contact: etienne.roux@u-bordeaux2.fr

support de cours :

*plateforme pédagogique l'UFR des sciences de la Vie
e-fisio.net*

la contraction musculaire _____ plan

la cellule musculaire

l'organisation du muscle

le couplage excitation-contraction

biophysique du muscle

exemple : sport et muscle

Qu'est-ce qu'un muscle ?

muscle = tissu capable de générer une force et de la transmettre

● génération de la force

système enzymatique : conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique

appareil contractile : système de conversion chimiomécanique

NB : il existe des systèmes de transduction chimiomécanique dans des cellules non musculaires, mais sans transmission de la force.

force générée → mouvements intracellulaires
→ déformations de la cellule
→ battements de cils

Qu'est-ce qu'un muscle ?

muscle = tissu capable de générer une force et de la transmettre

● génération de la force

système enzymatique : conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique

appareil contractile : système de conversion chimiomécanique

● transmission de la force

organisation du muscle (niveaux cellulaire et tissulaire) :

→ transmission de la force musculaire générée

→ raccourcissement du muscle ou opposition à son allongement.

variables mécaniques

- force newton (N)
- longueur mètre (m)
- temps seconde (sec)

- vitesse m/sec
 changement de longueur / temps

- travail joule (J) = N.m (\leftrightarrow énergie)
 force x longueur de déplacement

- puissance watt (W) = N.m/sec
 travail/temps = force/vitesse

- tension N/m²
 force / surface de section transversale

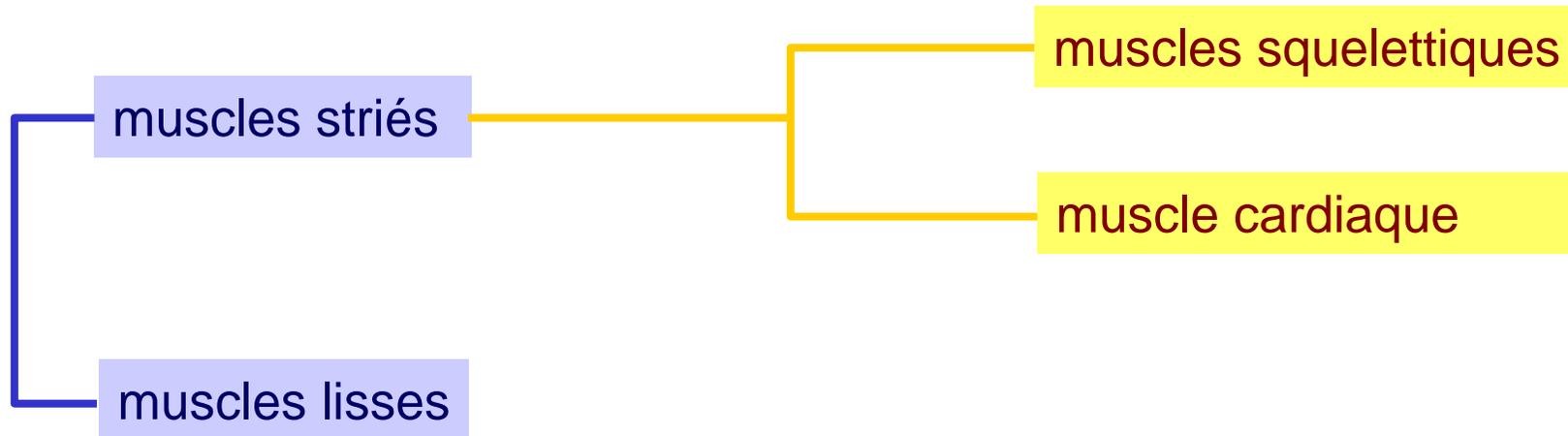
Comment peut-on classer les différents types de muscles ?

critères possibles

- organisation interne de la cellule musculaire
- organisation du tissu musculaire
- contrôle de l'activité musculaire par le système nerveux

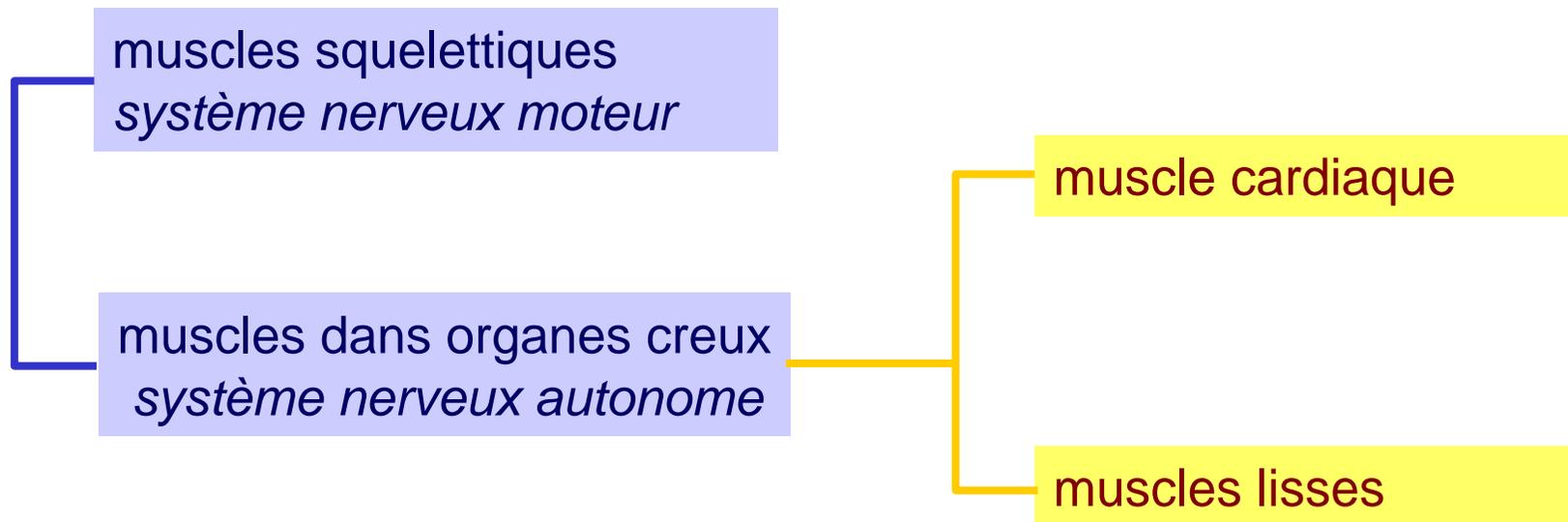
Comment peut-on classer les différents types de muscles ?

- classification anatomo-histologique



Comment peut-on classer les différents types de muscles ?

● classification fonctionnelle



la cellule musculaire _____ l'appareil contractile : le muscle strié

fibre musculaire squelettique

fibres musculaires striées squelettiques : grandes cellules plurinucléées

Ø 0,01 à 0,1 mm

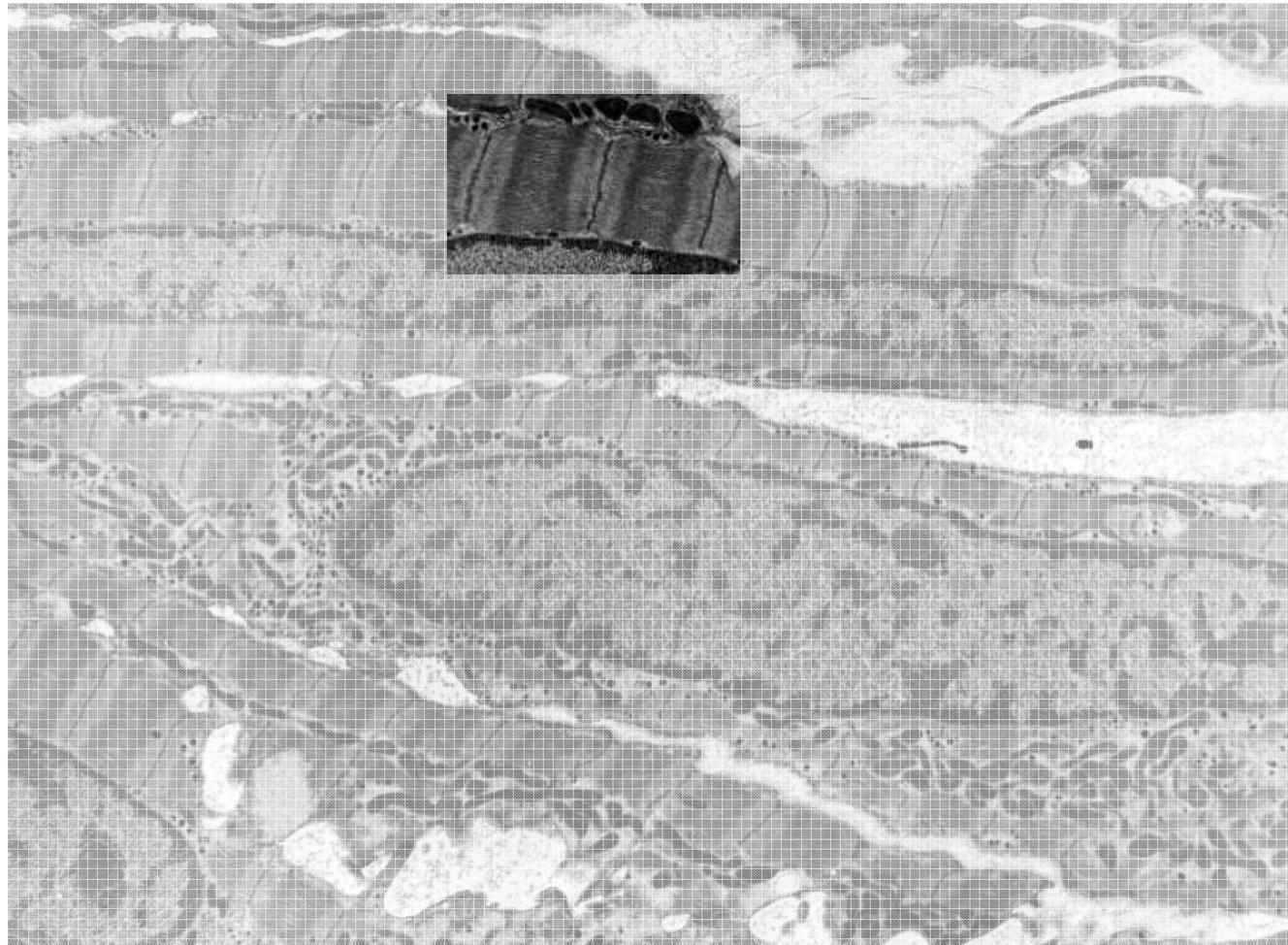
L : très variable



la cellule musculaire _____ l'appareil contractile : le muscle strié

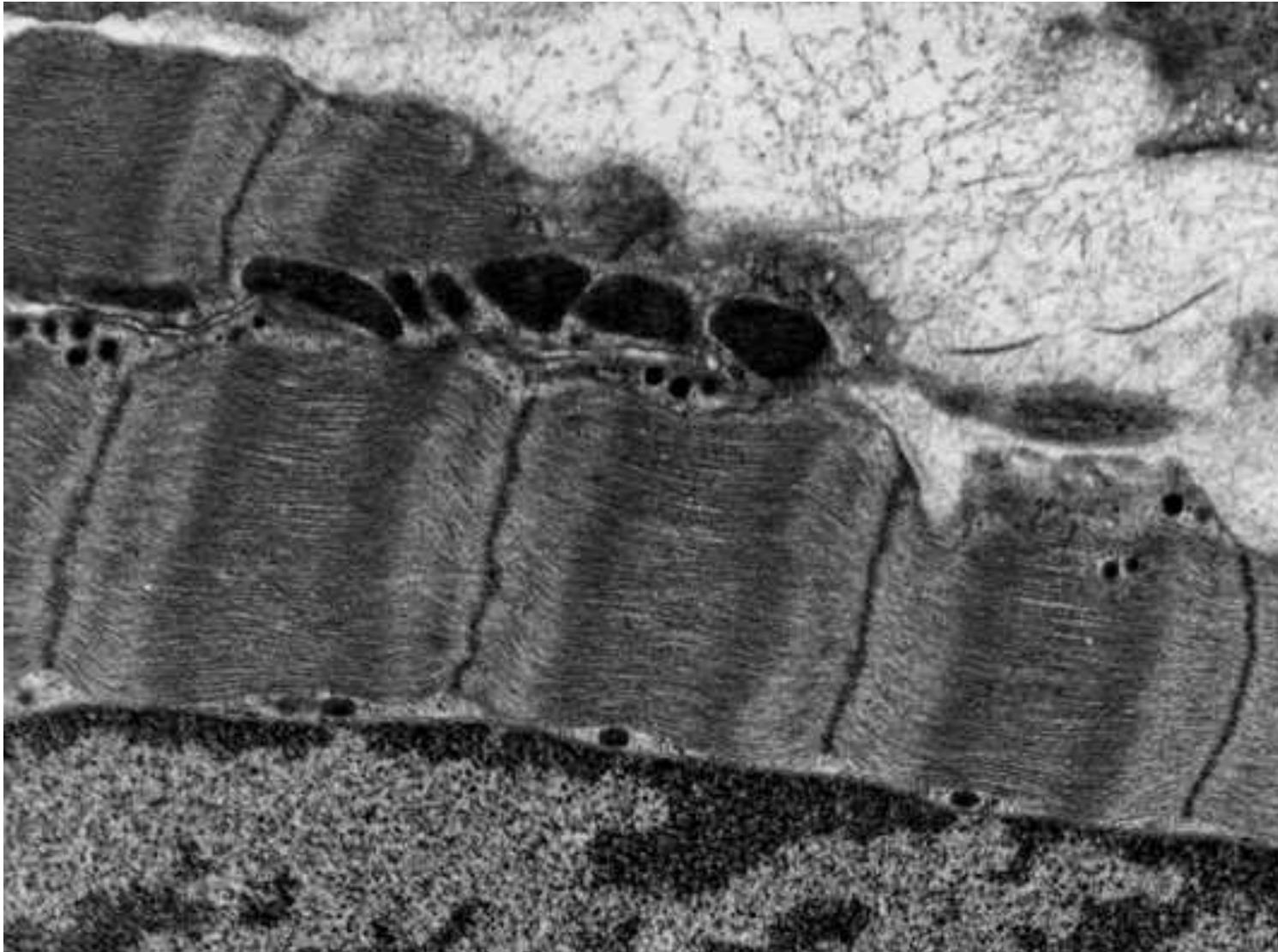
fibre musculaire squelettique

l'organisation en sarcomères



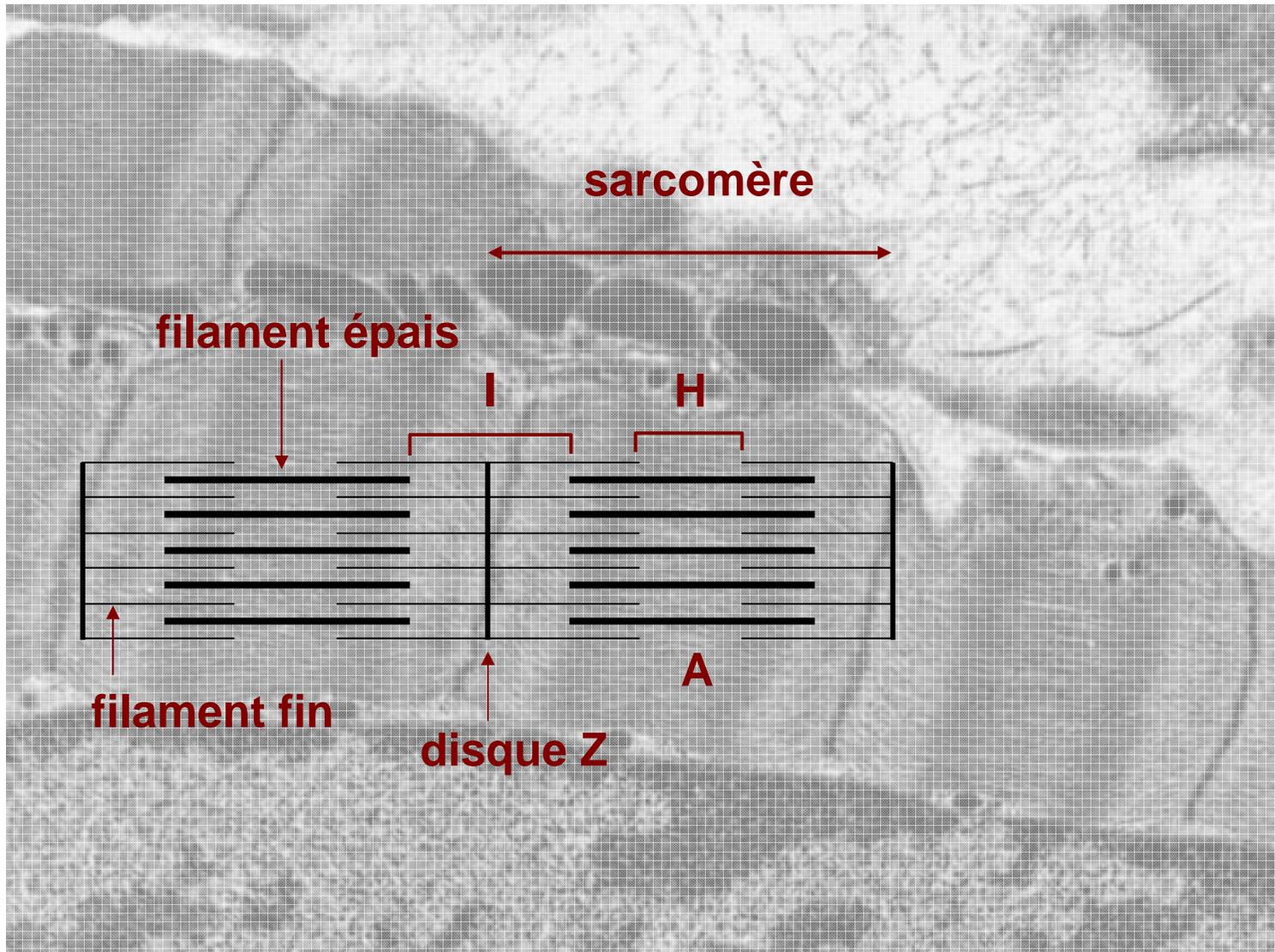
la cellule musculaire _____ l'appareil contractile : le muscle strié

l'organisation du sarcomère



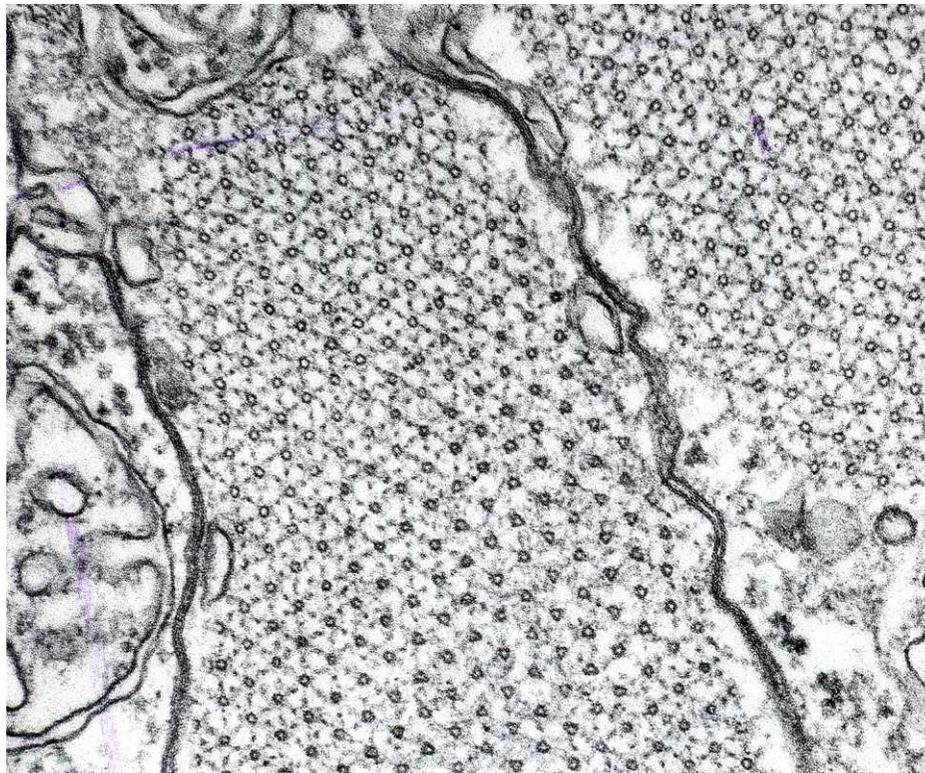
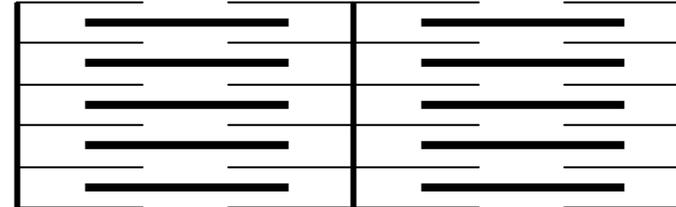
la cellule musculaire _____ l'appareil contractile : le muscle strié

l'organisation du sarcomère

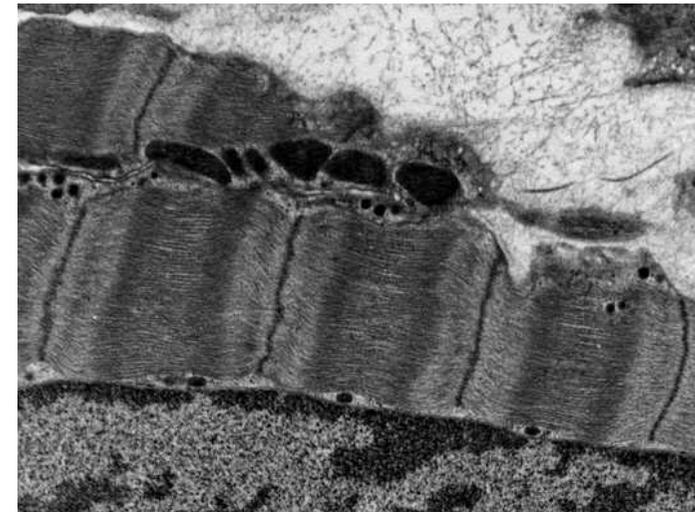


la cellule musculaire _____ l'appareil contractile : le muscle strié

l'organisation du sarcomère



coupe transversale



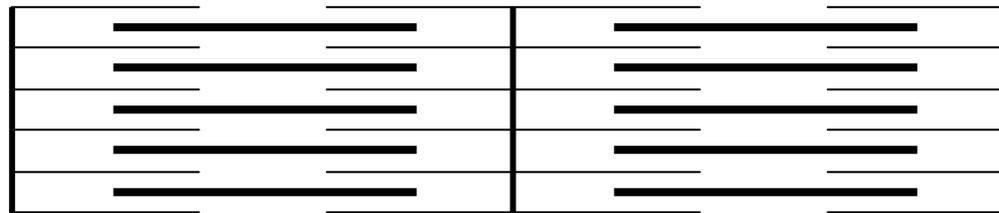
coupe longitudinale

la cellule musculaire _____ l'appareil contractile : le muscle strié

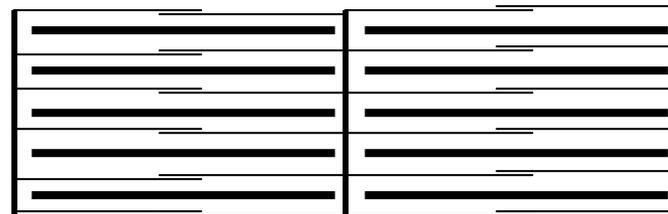
l'organisation du sarcomère : la contraction

raccourcissement du sarcomère sans raccourcissement des filaments

muscle relâché



muscle contracté



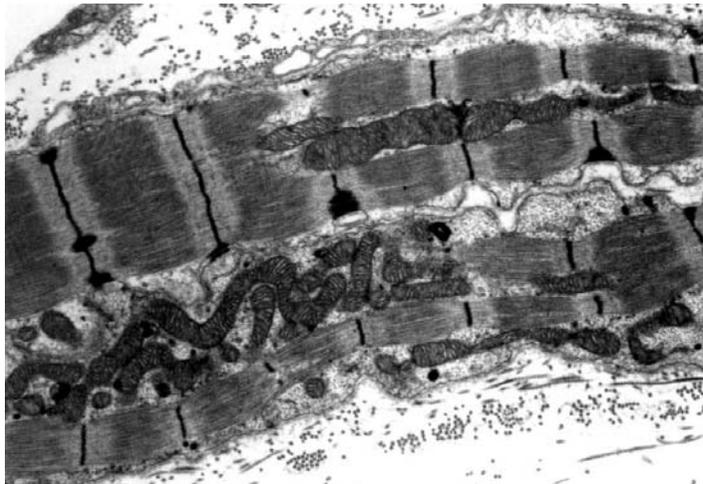
contraction : glissement des filaments fins et épais les uns sur les autres

la cellule musculaire _____ l'appareil contractile : le muscle strié

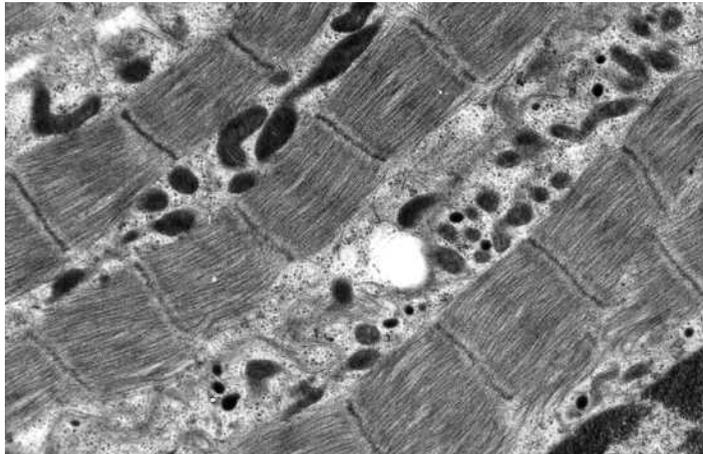
l'organisation du sarcomère : la contraction

raccourcissement du sarcomère sans raccourcissement des filaments

muscle relâché



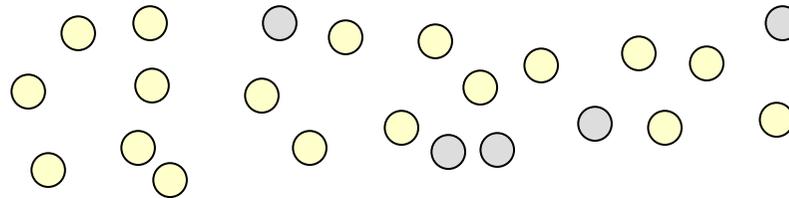
muscle contracté



les filaments fins

principaux composants présents dans les filaments fins

actine : monomères d'actine (PM = 43 000)



tropomyosine : molécule composée de deux chaînes polypeptidiques



nébuline : protéine du cytosquelette

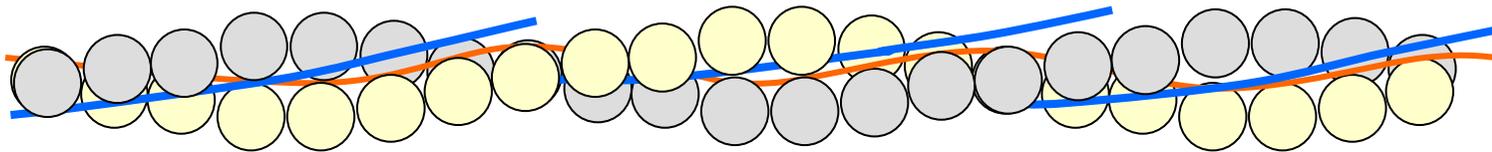


les filaments fins

monomères d'actine : s'organisent en un filament à deux brins autour de la nébuline

tropomyosine : se fixe dans le sillon central.

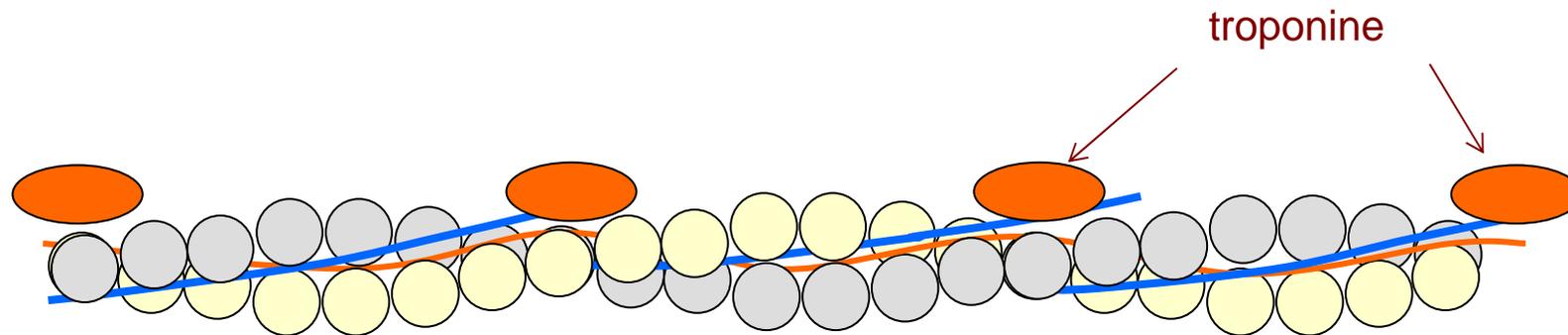
Chaque molécule de tropomyosine s'étend sur environ 7 monomères d'actine.



filament fin de muscle strié

les filaments fins

muscle strié : troponine = 3 sous-unités C, T et I
protéine régulatrice sur le filament fin



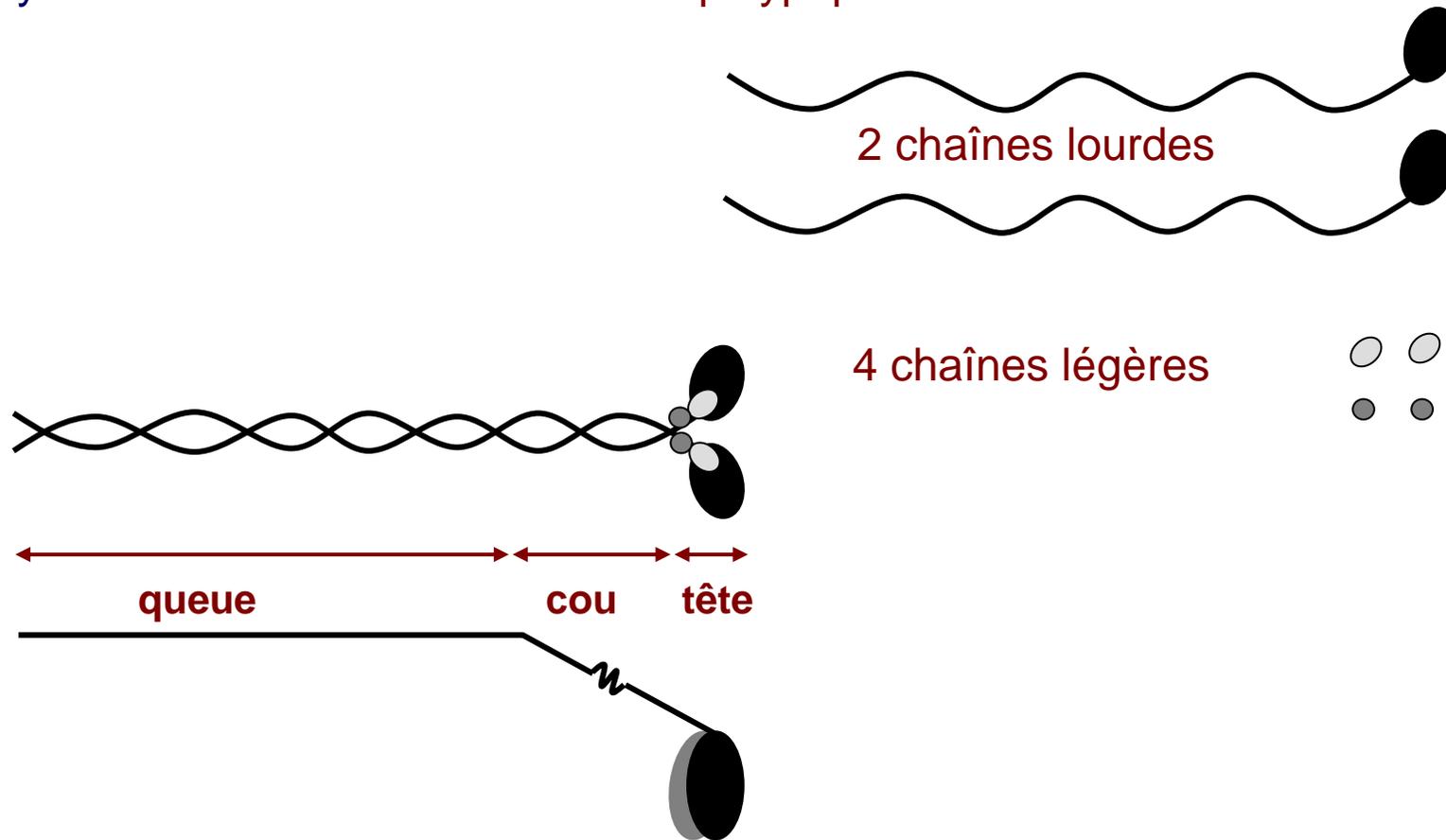
filament fin de muscle strié

La troponine n'est pas présente dans l'appareil contractile de la cellule musculaire lisse

la cellule musculaire _____ les myofilaments

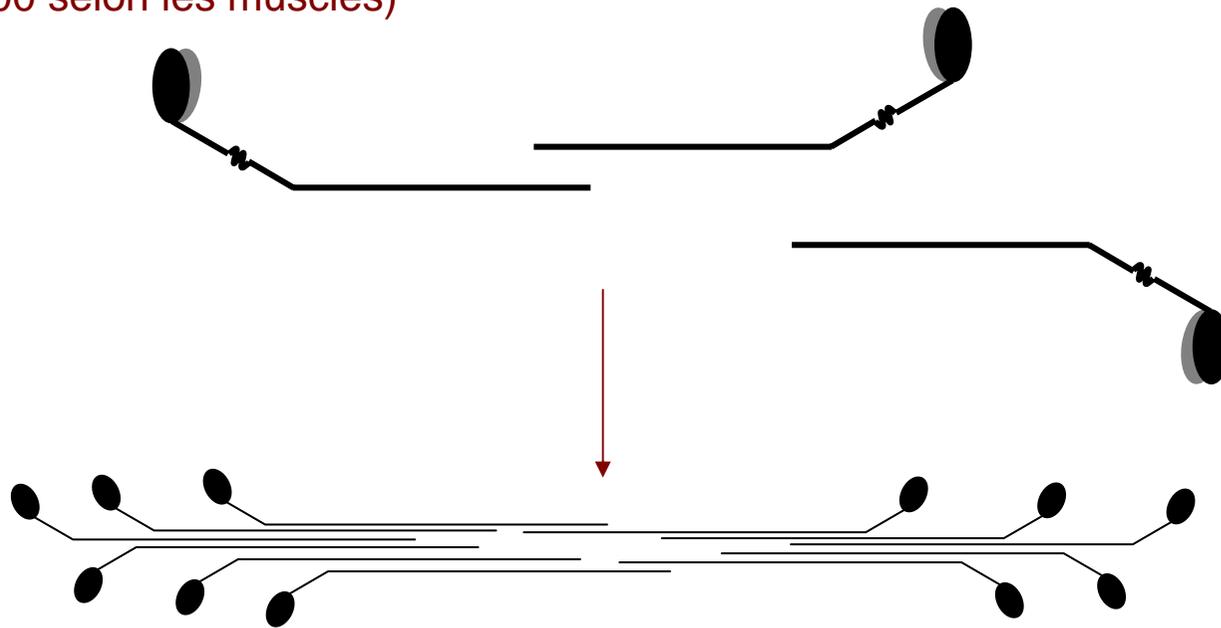
les filaments épais

myosine : molécule constituée de 6 polypeptides

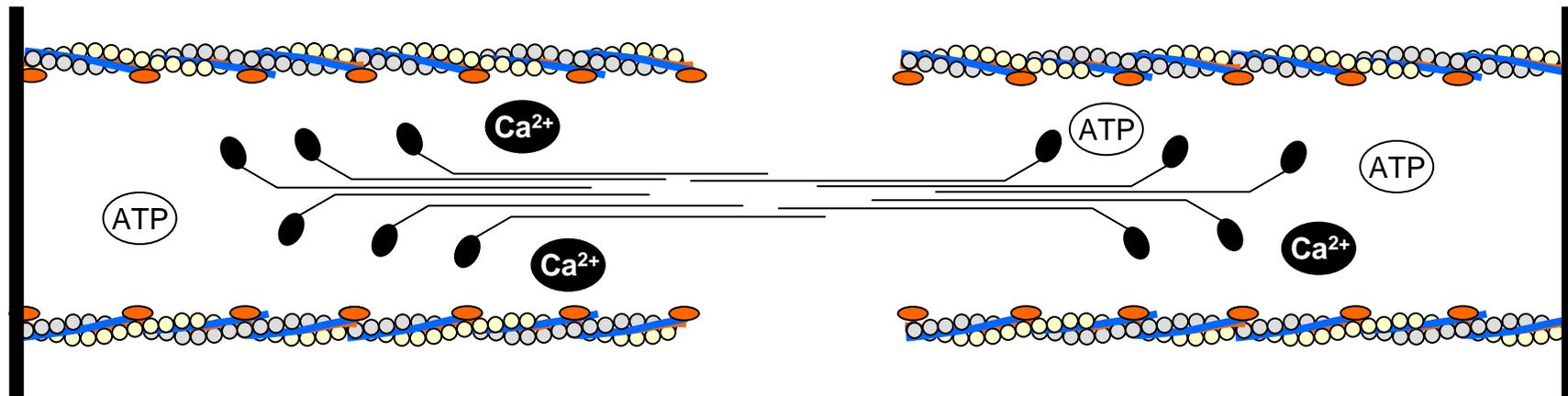


les filaments épais

filament épais : formé par l'association de plusieurs molécules de myosine (20 à 400 selon les muscles)



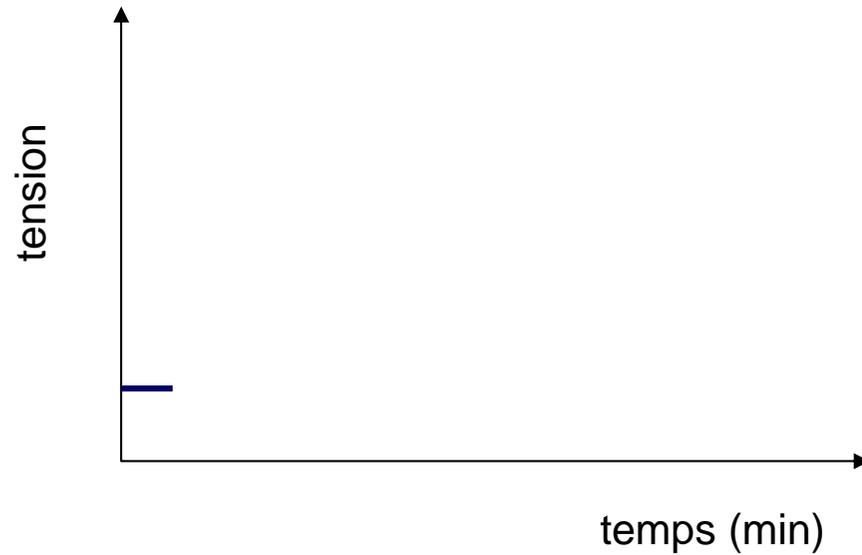
organisation des myofilaments dans le sarcomère



chaînes légères : responsables de l'activité ATPasique.

De cette activité ATPasique dépend la vitesse du cycle de contraction ainsi que la consommation d'ATP.

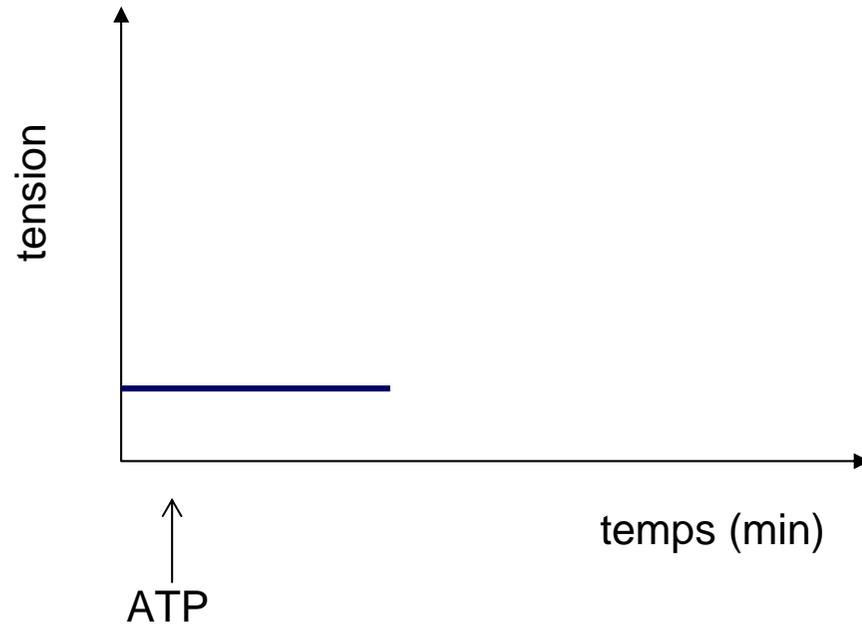
la cellule musculaire _____ rôle du Ca^{2+} et de l'ATP



contraction d'une fibre musculaire perméabilisée

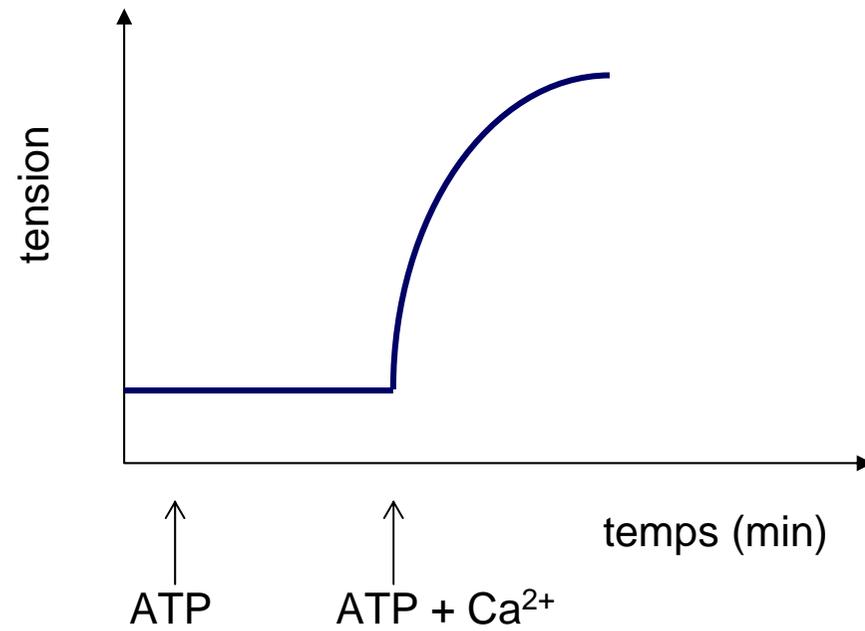
perméabilisation de la membrane plasmique : le milieu intracellulaire équivaut au milieu extracellulaire

la cellule musculaire _____ rôle du Ca^{2+} et de l'ATP



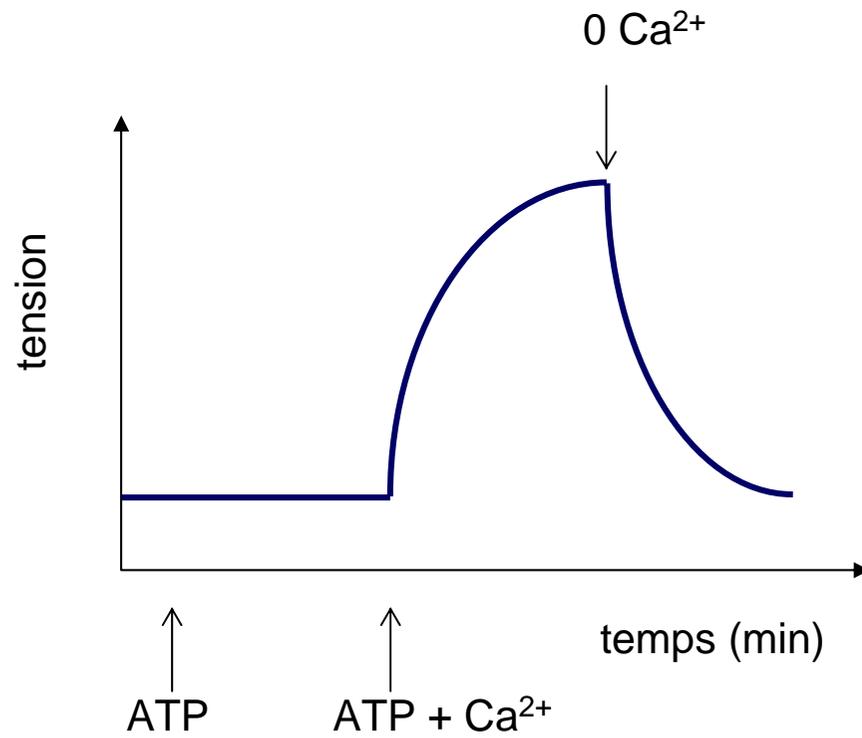
contraction d'une fibre musculaire perméabilisée

la cellule musculaire _____ rôle du Ca^{2+} et de l'ATP



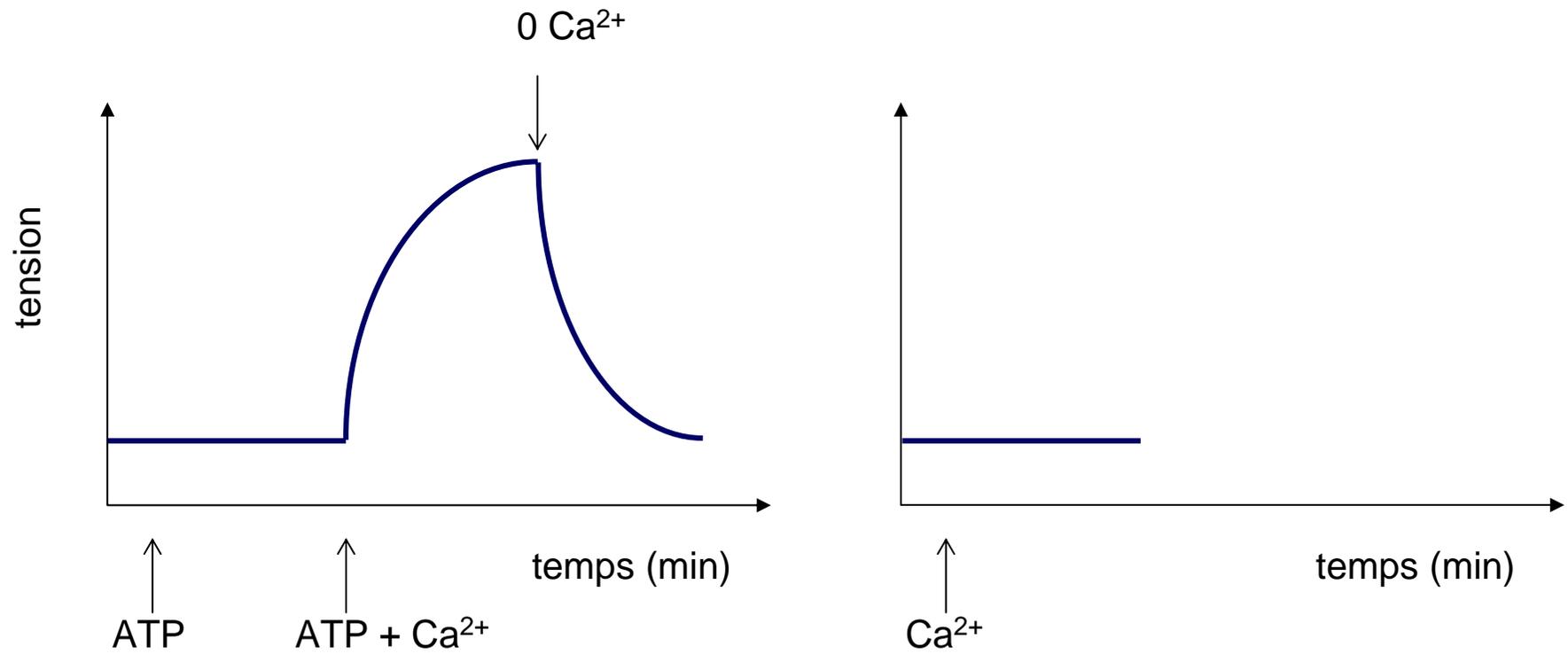
contraction d'une fibre musculaire perméabilisée

la cellule musculaire _____ rôle du Ca^{2+} et de l'ATP



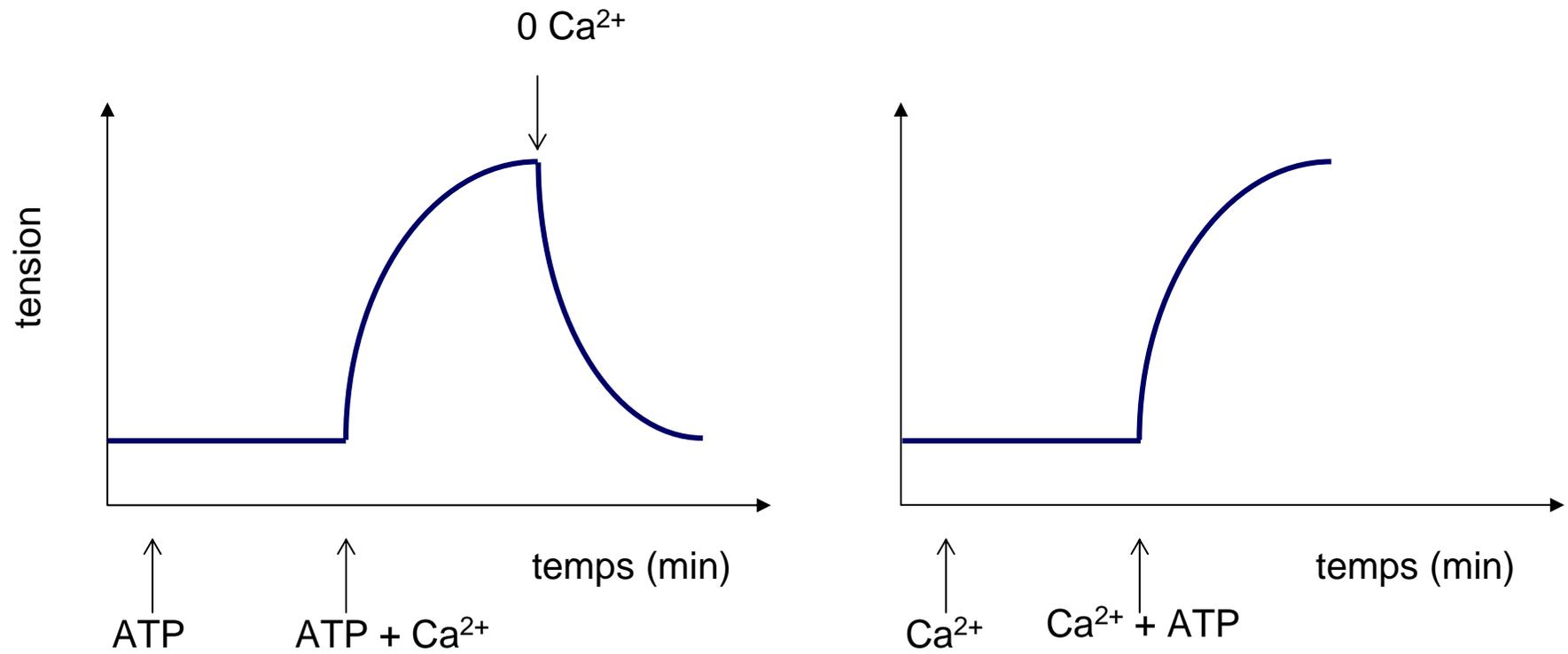
contraction d'une fibre musculaire perméabilisée

la cellule musculaire _____ rôle du Ca^{2+} et de l'ATP



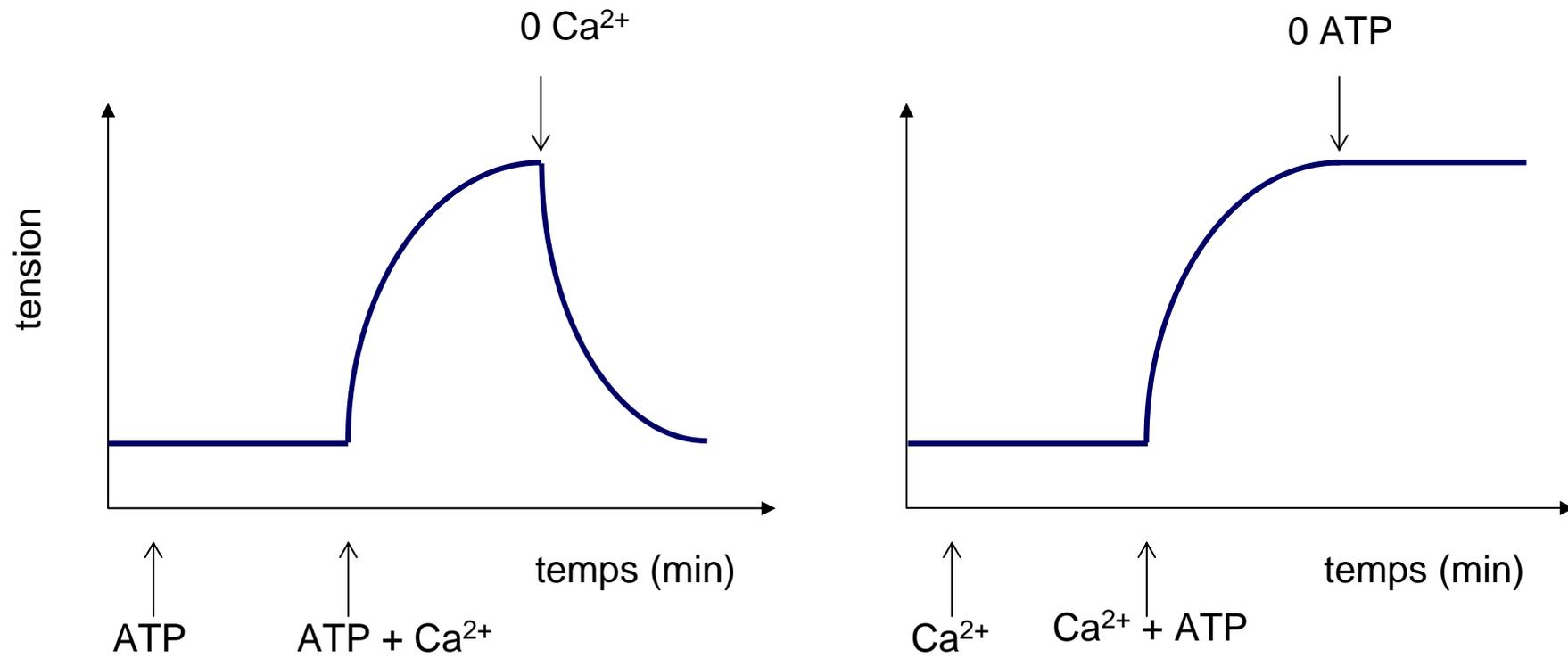
contraction d'une fibre musculaire perméabilisée

la cellule musculaire _____ rôle du Ca^{2+} et de l'ATP



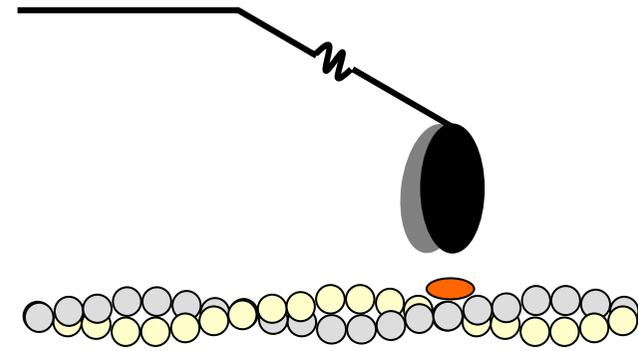
contraction d'une fibre musculaire perméabilisée

la cellule musculaire _____ rôle du Ca^{2+} et de l'ATP



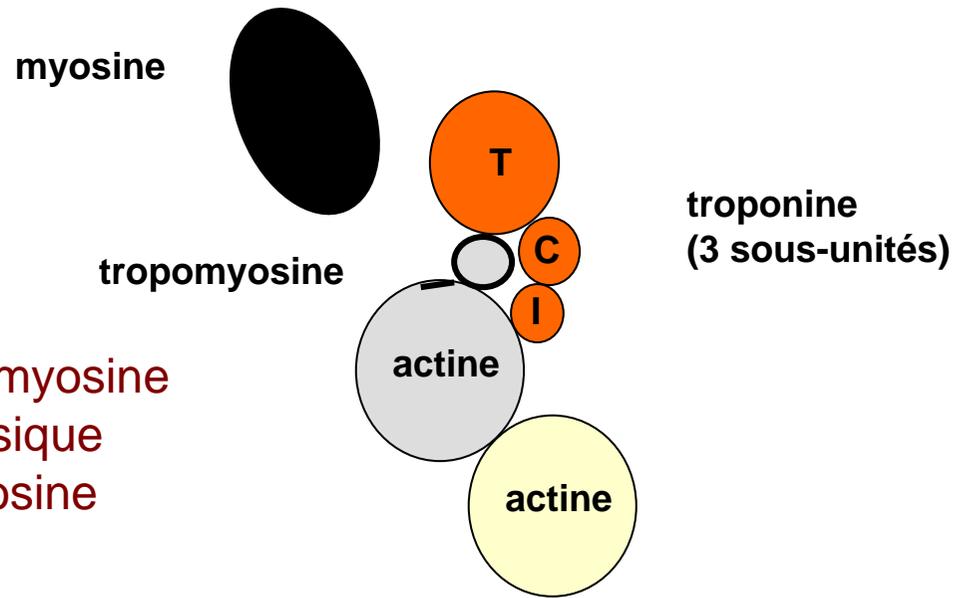
contraction d'une fibre musculaire perméabilisée

mécanisme d'action du Ca^{2+}

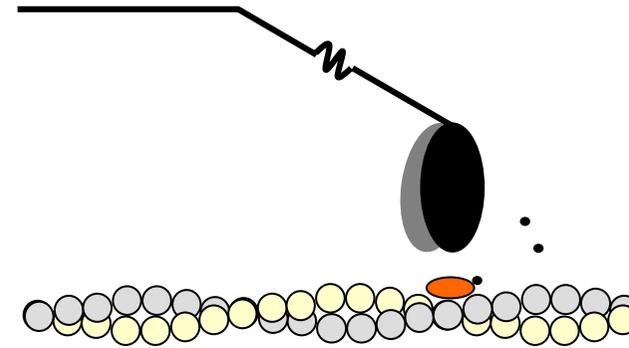


absence de Ca^{2+}

- masquage du site de fixation de la myosine
- pas de formation de pont actomyosique
- pas d'activité ATPasique de la myosine

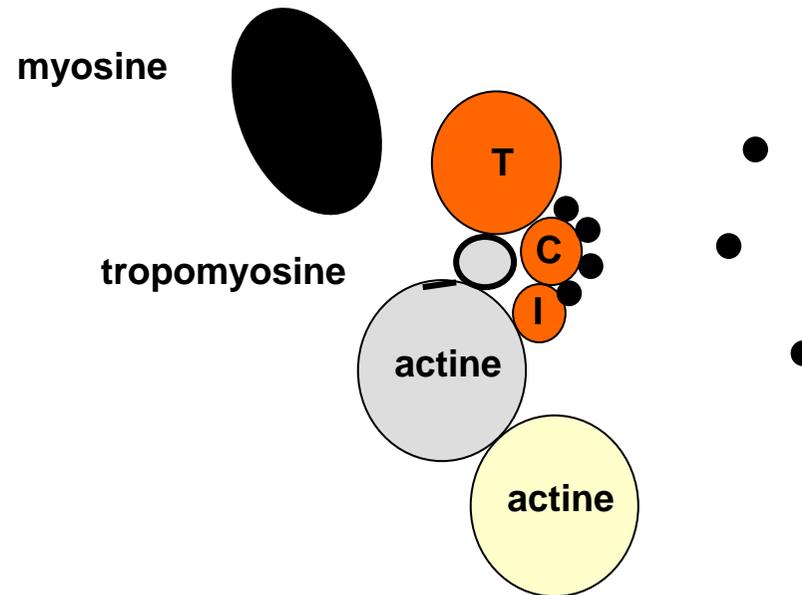


mécanisme d'action du Ca^{2+}

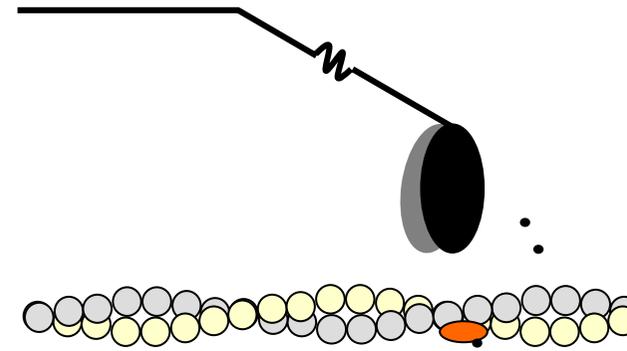


présence de Ca^{2+}

→ fixation du Ca^{2+} sur la troponine C

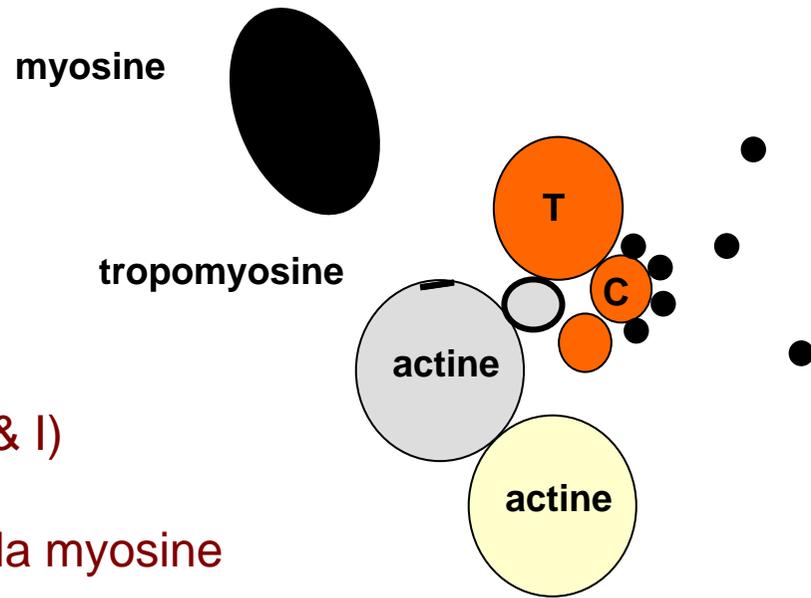


mécanisme d'action du Ca^{2+}

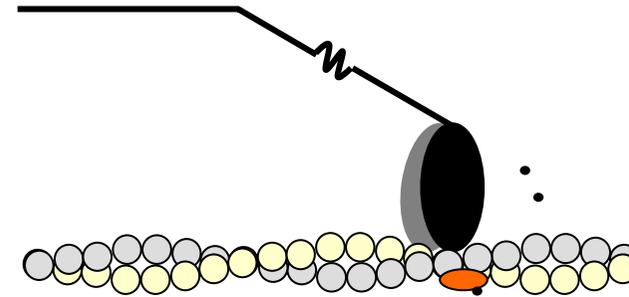


présence de Ca^{2+}

- fixation du Ca^{2+} sur la troponine C
- déplacement de la troponine (T, C & I)
- déplacement de la tropomyosine
- démasquage du site de fixation de la myosine



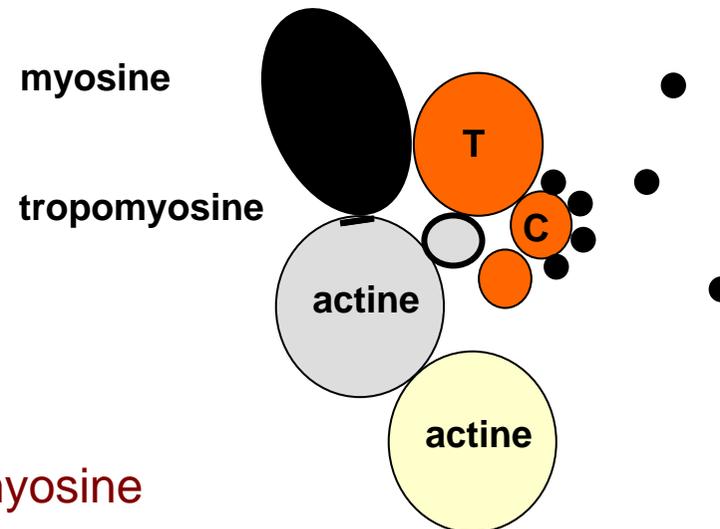
mécanisme d'action du Ca^{2+}



formation du pont actomyosique

présence de Ca^{2+}

- fixation du Ca^{2+} sur la troponine C
- déplacement de la troponine (T, C & I)
- déplacement de la tropomyosine
- démasquage du site de fixation de la myosine



la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques

absence de Ca^{2+}

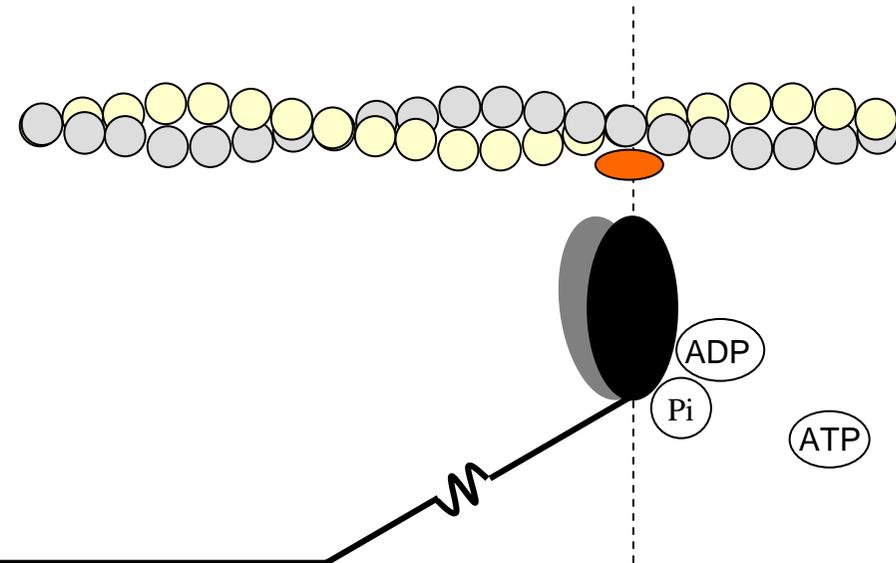
masquage du site de fixation de la myosine

pont actomyosique

pas de pont actomyosique, y compris en présence d'ATP.

activité enzymatique de la myosine

myosine = forte affinité pour l'ADP et le phosphate inorganique (Pi)



angle de la tête de myosine avec l'actine

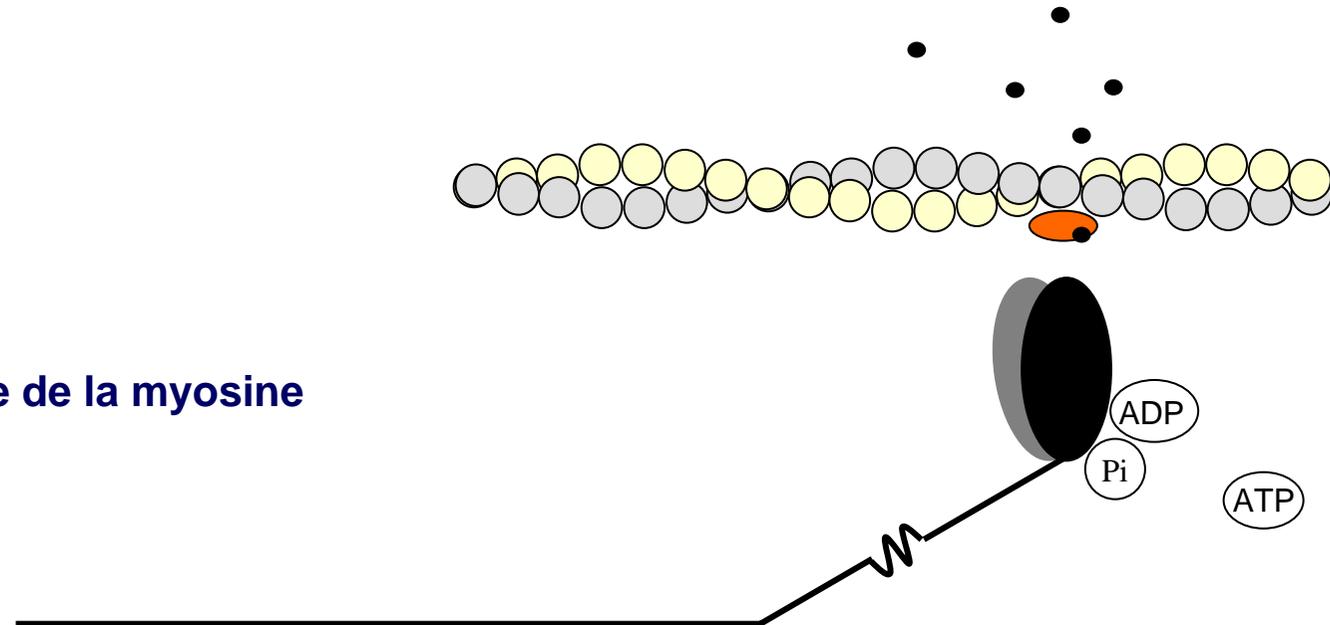
ADP et Pi fixés à la tête de myosine → angle de 90°
(conformation pour laquelle l'énergie libre est minimale)

la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques

présence de Ca^{2+}
fixation du Ca^{2+} sur la troponine C

pont actomyosique

activité enzymatique de la myosine



angle de la tête de myosine avec l'actine
angle de 90°

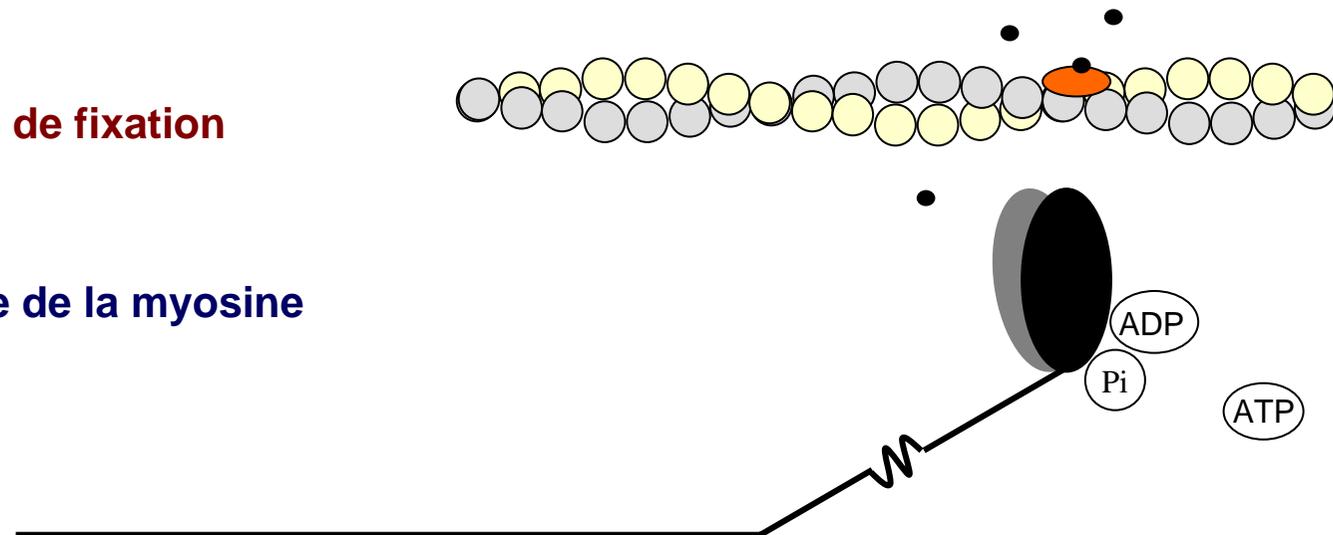
la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques

présence de Ca^{2+}

Ca^{2+} fixé sur la troponine C
déplacement de la troponine

pont actomyosique
démasquage du site de fixation

activité enzymatique de la myosine



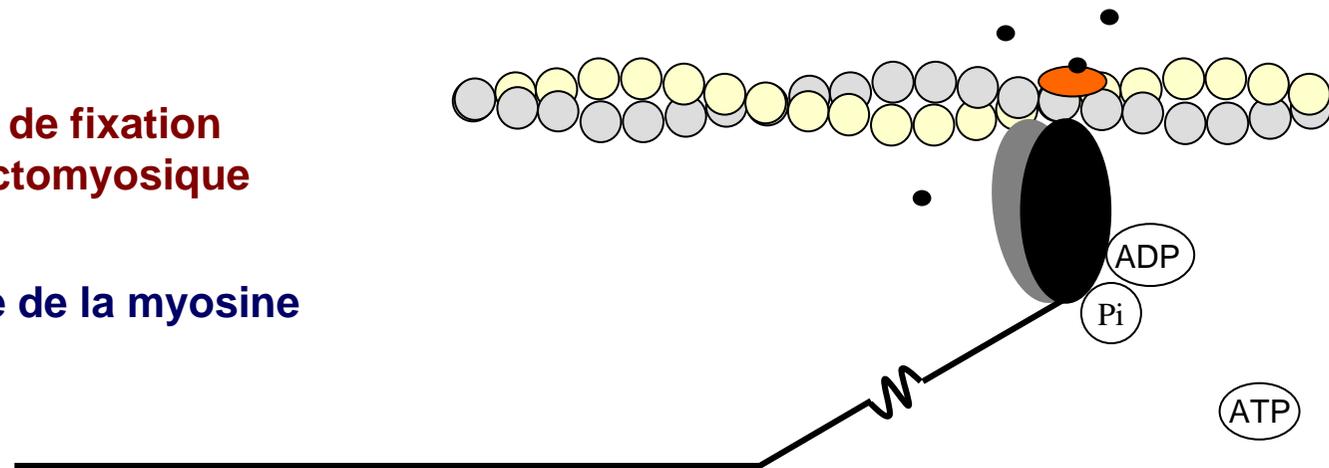
angle de la tête de myosine avec l'actine
angle de 90°

la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques

présence de Ca^{2+}
troponine déplacée

pont actomyosique
démasquage du site de fixation
formation du pont actomyosique

activité enzymatique de la myosine



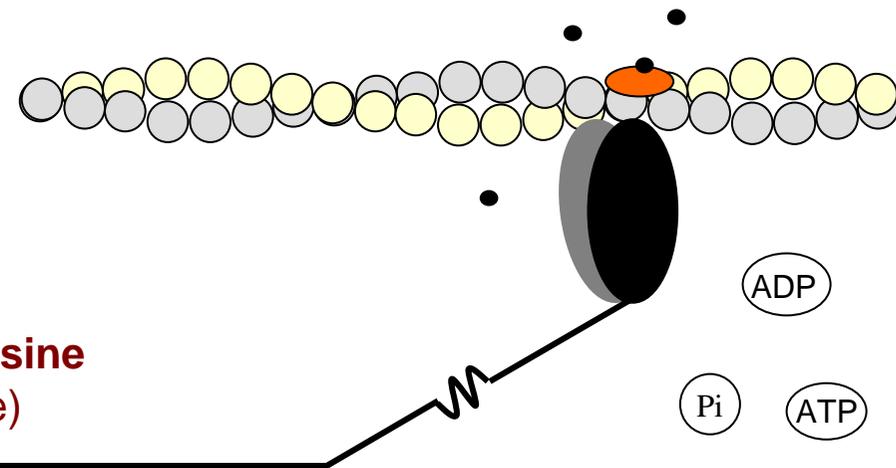
angle de la tête de myosine avec l'actine
angle de 90°

la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques

présence de Ca^{2+}
troponine déplacée

pont actomyosique
pont actomyosique formé

activité enzymatique de la myosine
l'ADP et P_i se détachent de la tête de myosine
(faible affinité quand myosine fixée sur actine)



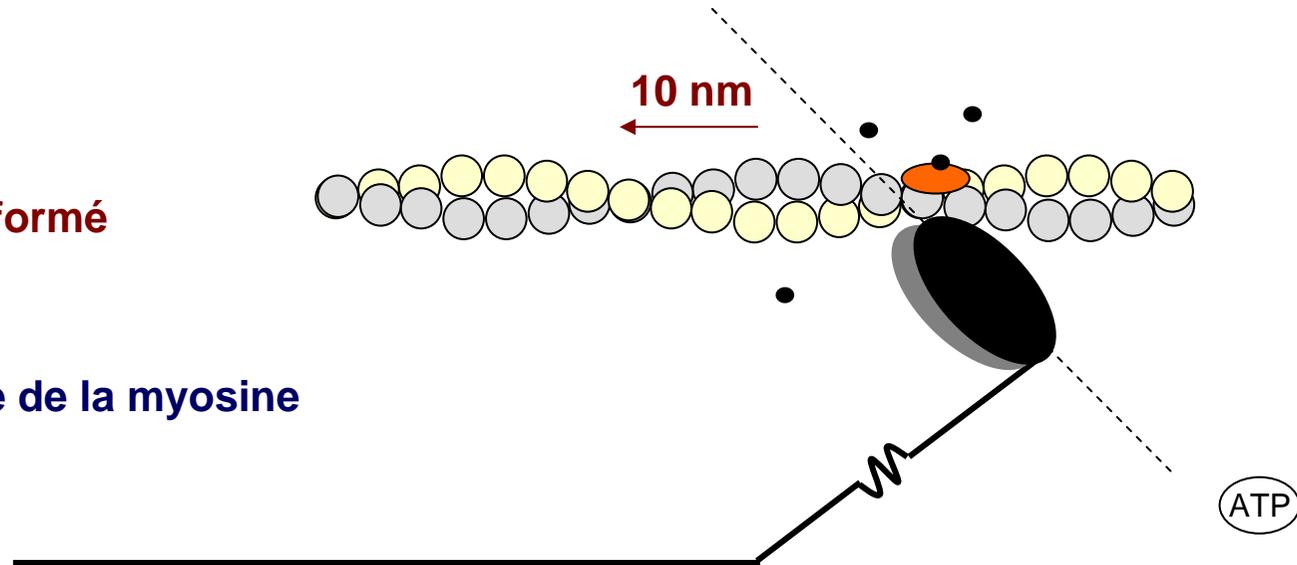
angle de la tête de myosine avec l'actine
angle de 90°

la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques

présence de Ca^{2+}
troponine déplacée

pont actomyosique
pont actomyosique formé

activité enzymatique de la myosine
l'ADP et P_i détachés



angle de la tête de myosine avec l'actine

absence d'ADP et de P_i :

→ rotation de la tête de myosine angle de 45° (énergie minimum)

→ déplacement du filament d'actine par rapport au filament de myosine

6

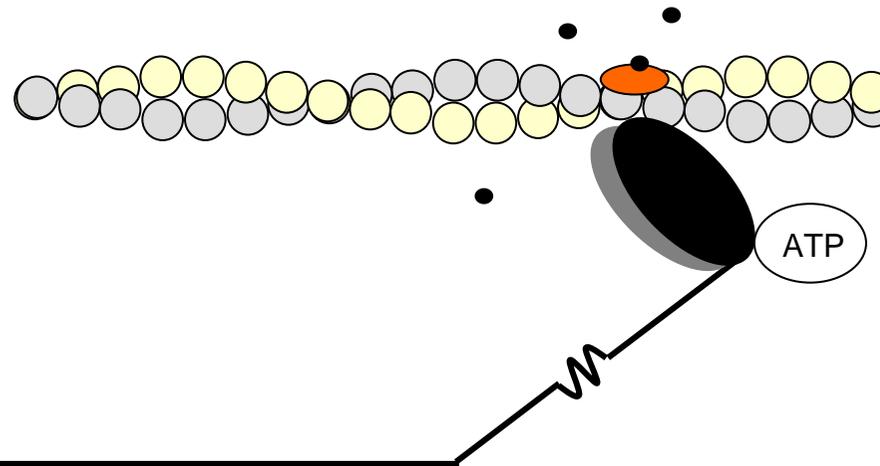
diminution de l'énergie libre du complexe actomyosique
génération d'une force contractile

la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques

présence de Ca^{2+}
troponine déplacée

pont actomyosique
pont actomyosique formé

activité enzymatique de la myosine
fixation de l'ATP sur la myosine
(forte affinité)



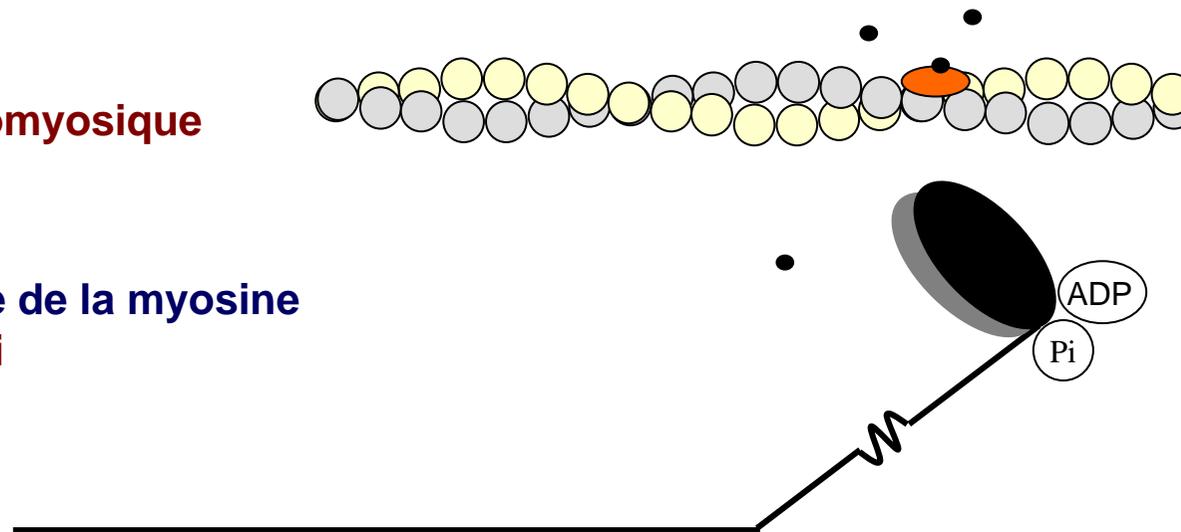
angle de la tête de myosine avec l'actine
angle de 45°

la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques

présence de Ca^{2+}
troponine déplacée

pont actomyosique
rupture du pont actomyosique

activité enzymatique de la myosine
présence d'ADP + Pi

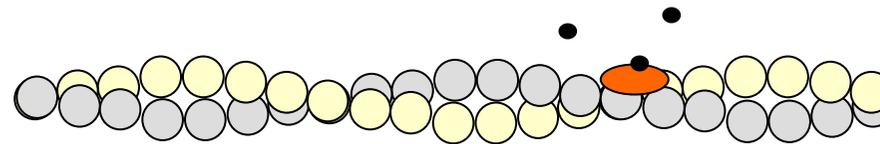


angle de la tête de myosine avec l'actine
angle de 45°

la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques

présence de Ca^{2+}
troponine déplacée

pont actomyosique
rupture du pont actomyosique

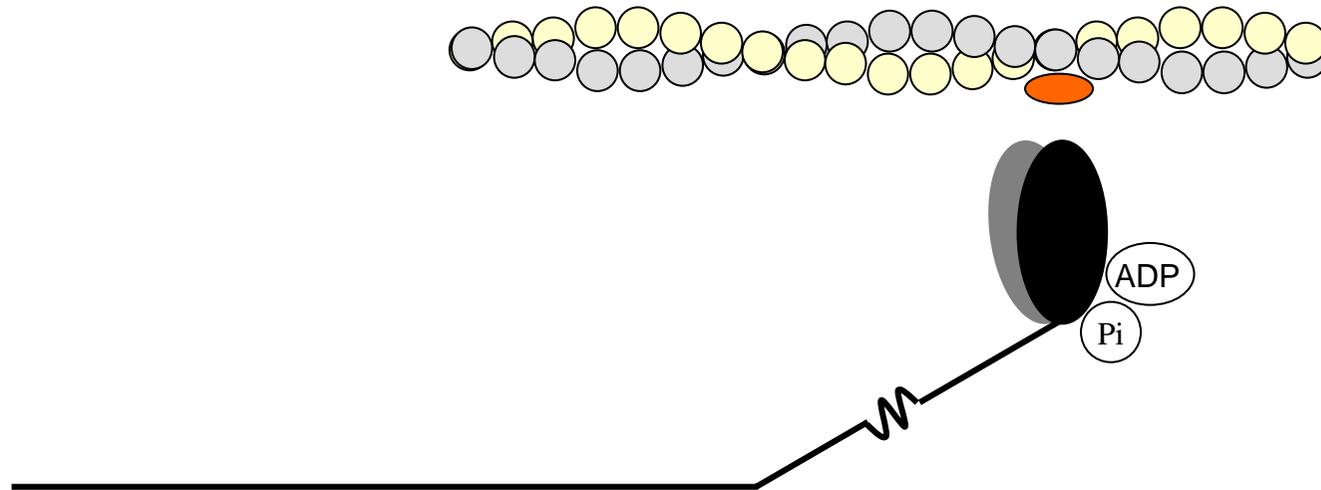


activité enzymatique de la myosine
présence d'ADP + Pi

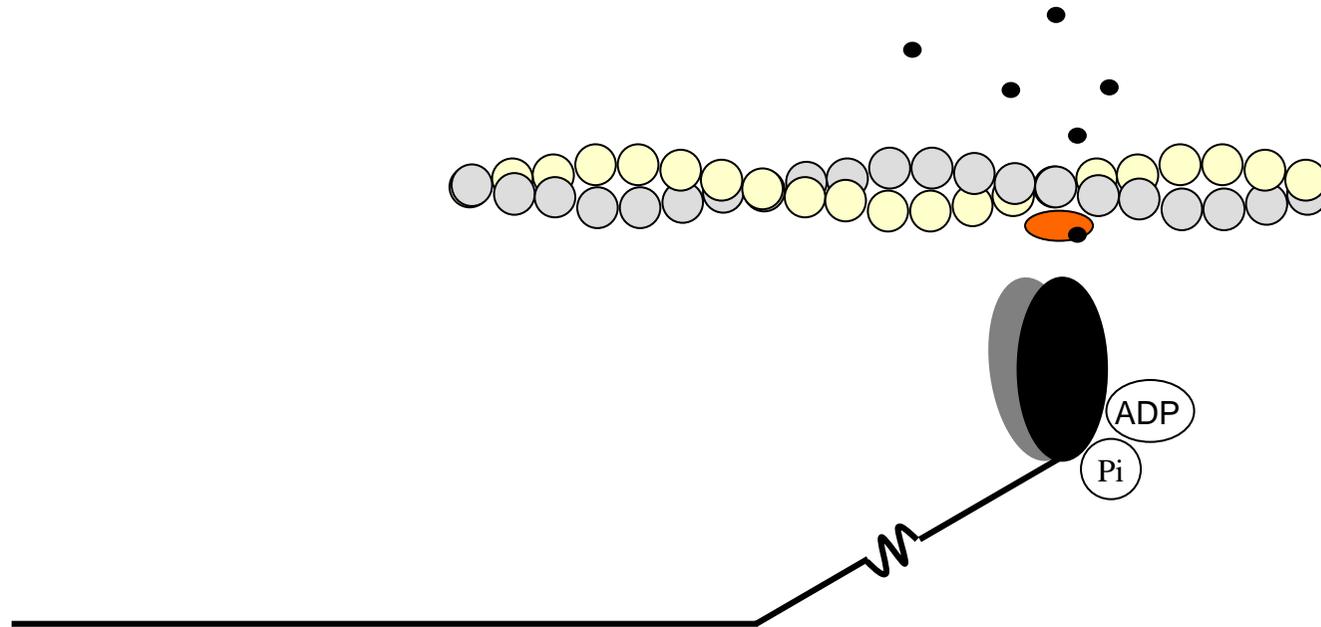


angle de la tête de myosine avec l'actine
angle de 90°
(conformation d'énergie libre minimale)

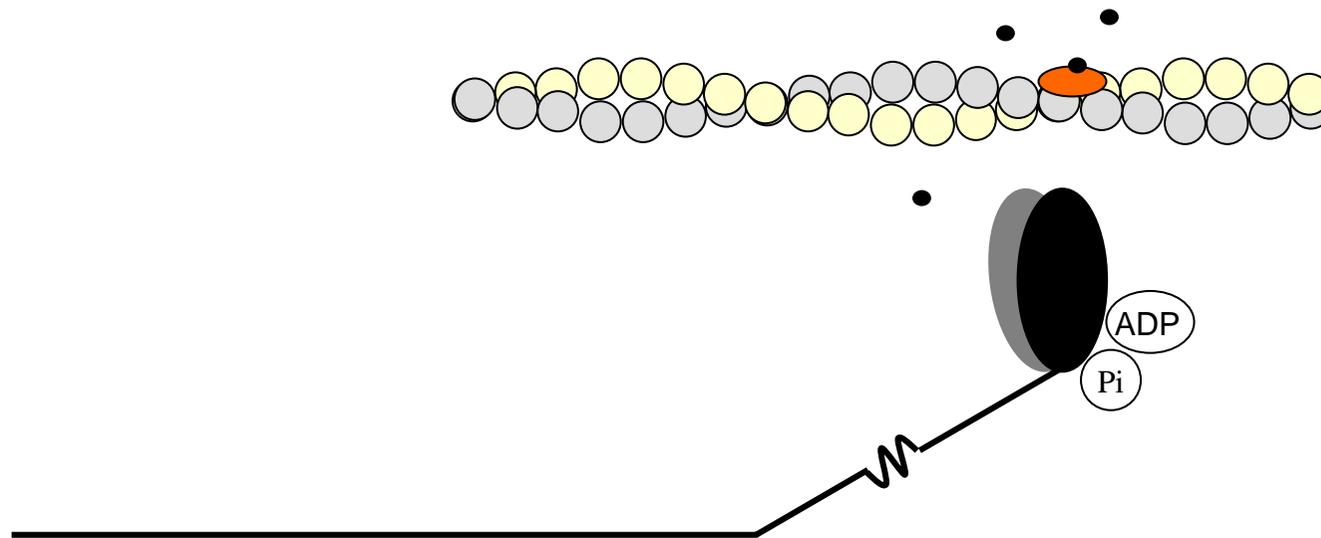
la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques



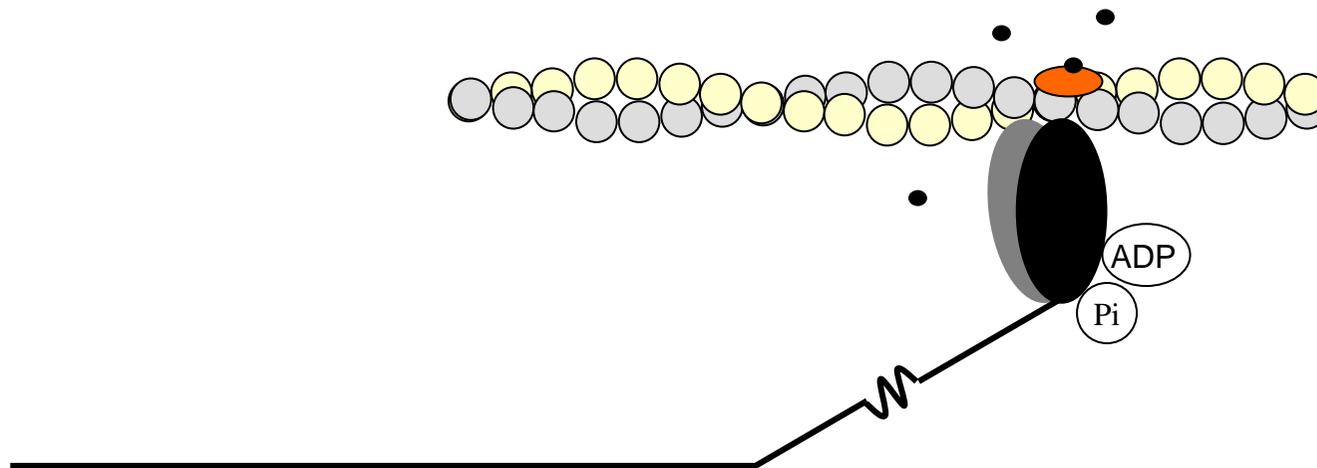
la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques



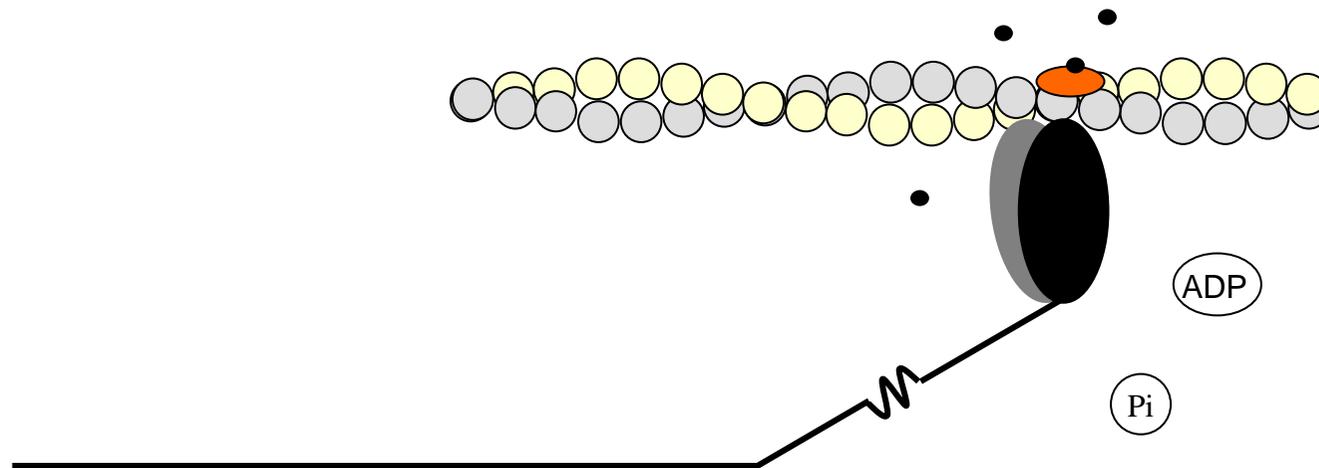
la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques



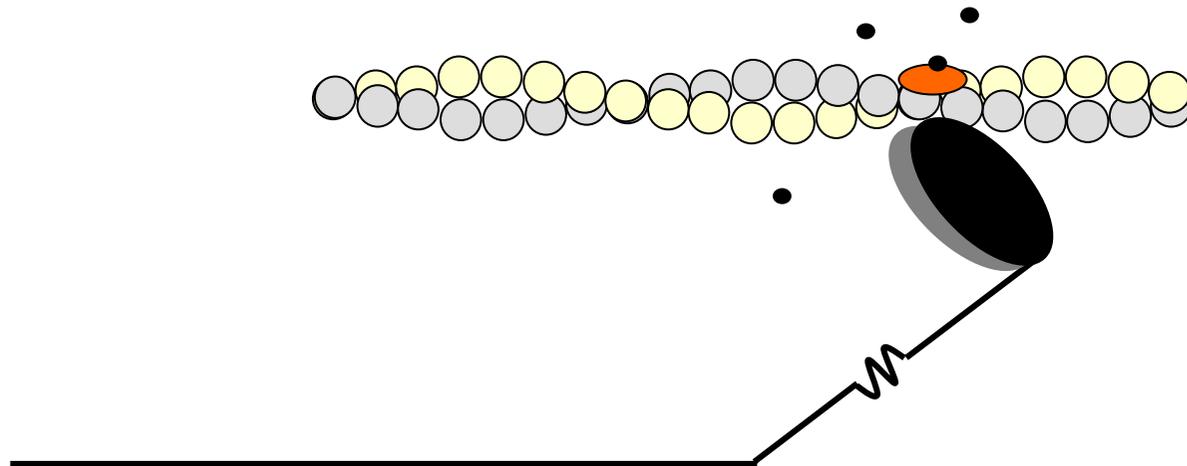
la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques



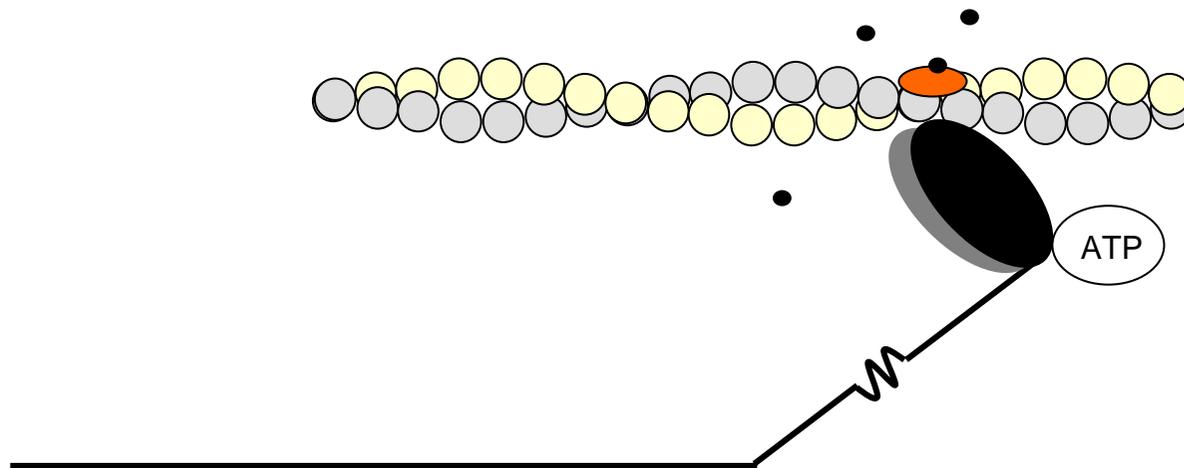
la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques



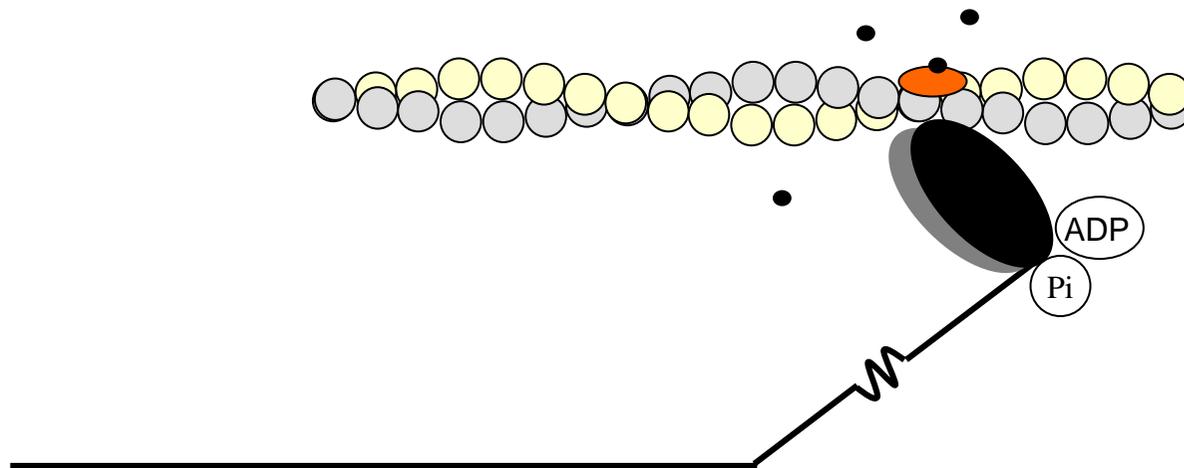
la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques



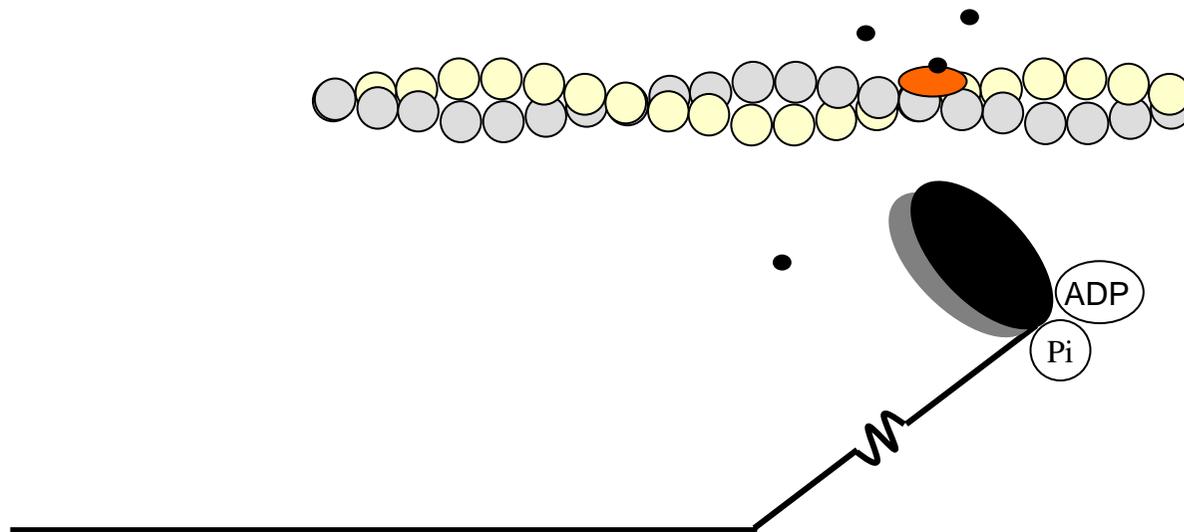
la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques



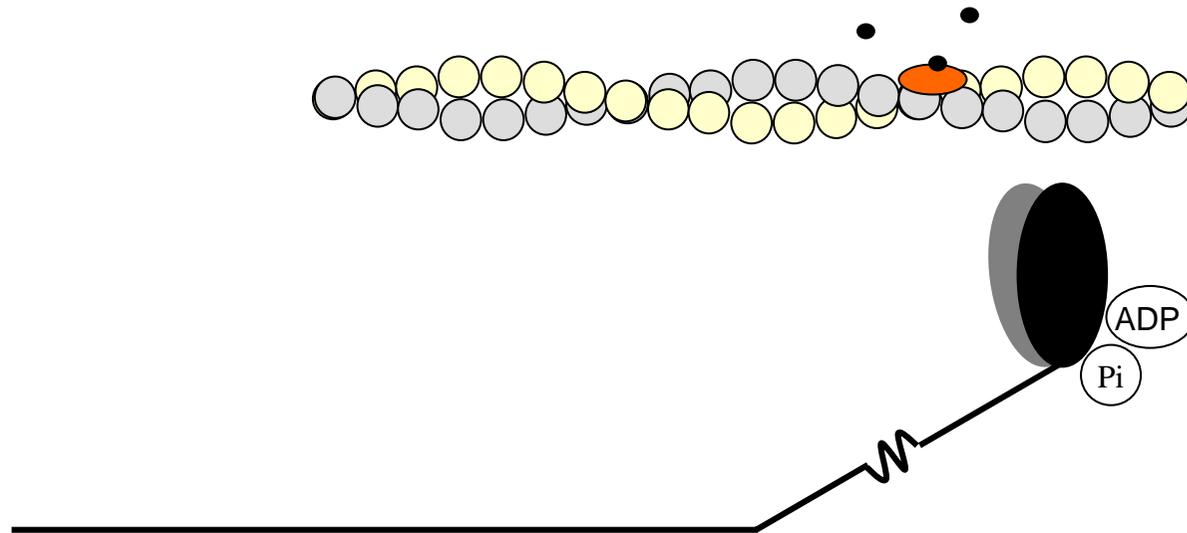
la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques



la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques

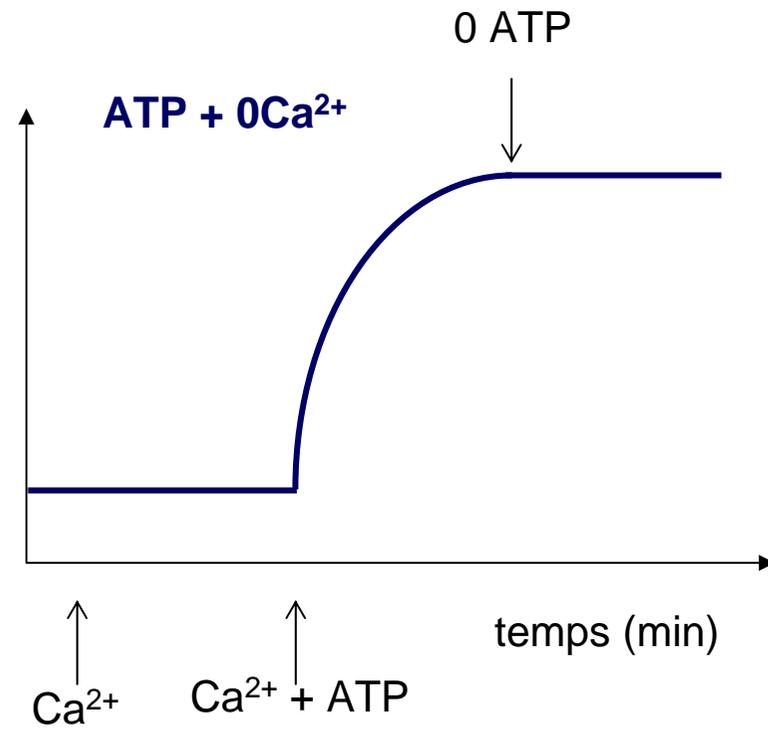
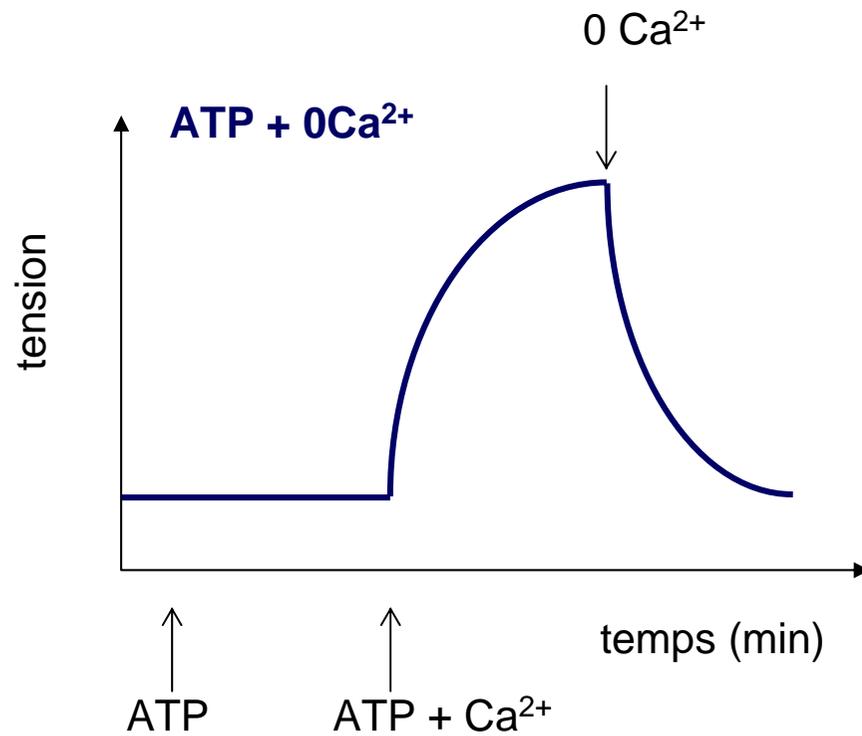


la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques



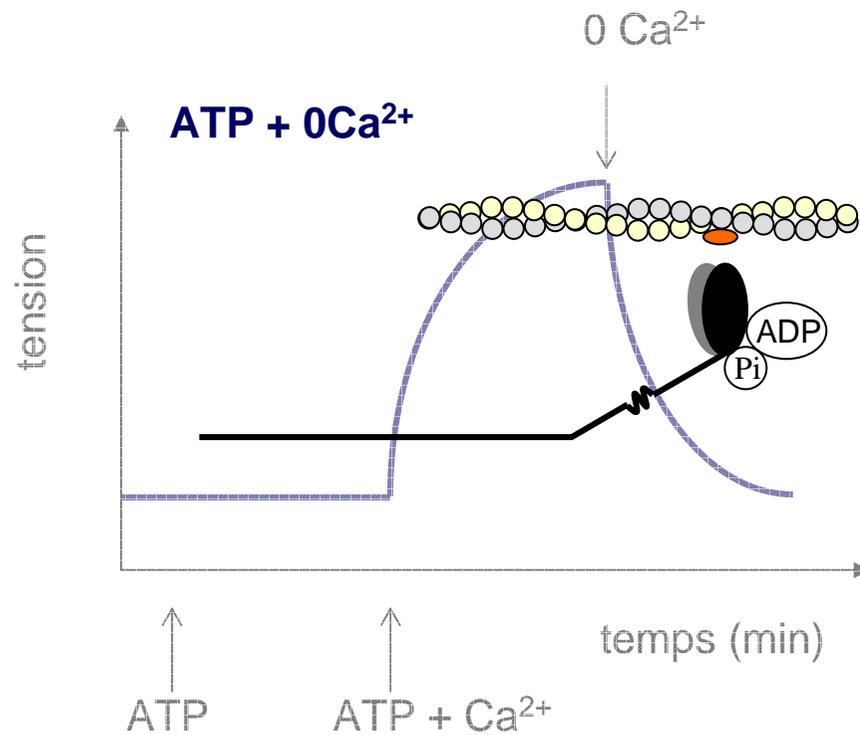
la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques

rôle du Ca^{2+} et de l'ATP : interprétation moléculaire

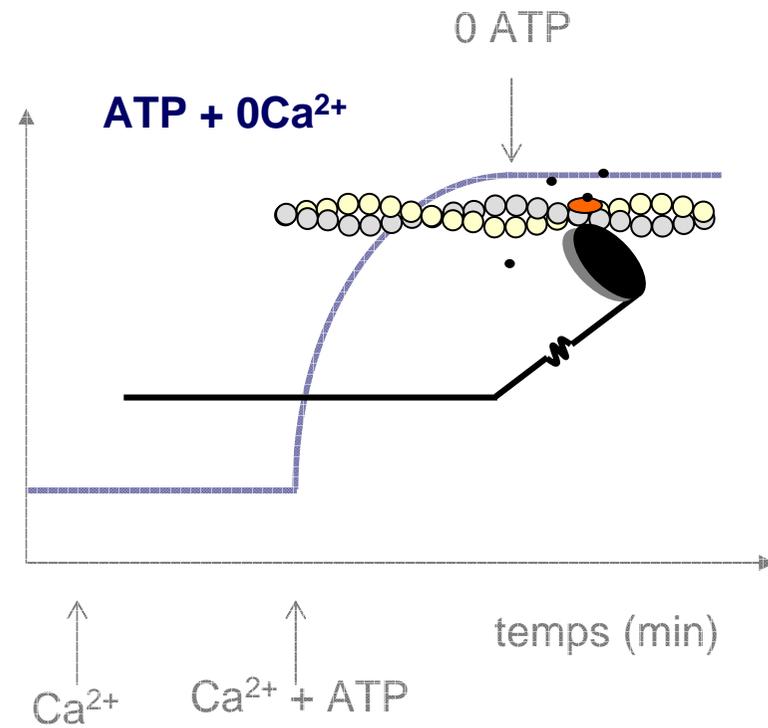


la cellule musculaire _____ formation cyclique des ponts actomyosiques

rôle du Ca^{2+} et de l'ATP : interprétation moléculaire



pas de ponts actomyosiques



ponts actomyosiques verrouillés

la cellule musculaire _____ les sources d'énergie

ATP

énergie produite par l'hydrolyse de l'ATP

→ énergie mécanique = travail : contraction musculaire 25 %

→ énergie thermique = chaleur 75 %

→ réserves d'ATP faibles dans la cellule musculaire

phosphocréatine

réserve énergétique d'utilisation rapide : production d'ATP



NB : chez les Invertébrés, pas de phosphocréatine mais de l'arginine-phosphate

glycogène, acides gras

réserve énergétique d'utilisation lente : catabolisme → production d'ATP

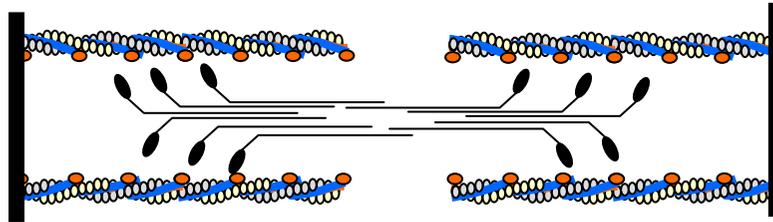
métabolisme aérobie *muscles striés : présence de myoglobine (O₂)*

métabolisme anaérobie : production d'acide lactique

l'organisation du muscle _____ le muscle strié

muscle = structure hiérarchisée

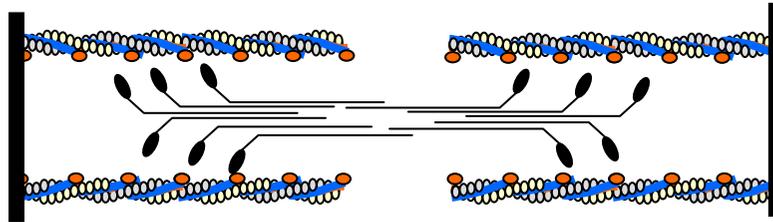
myofilaments



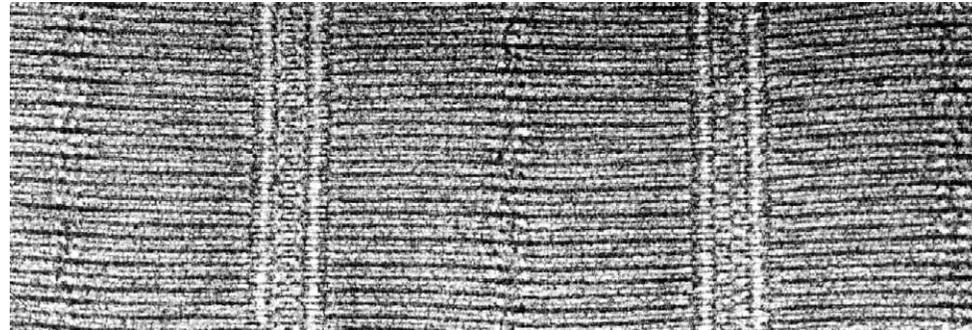
l'organisation du muscle _____ le muscle strié

muscle = structure hiérarchisée

myofilaments



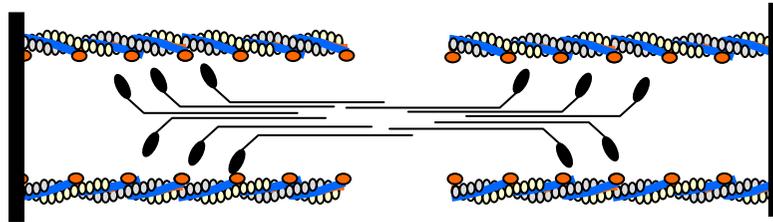
sarcomères



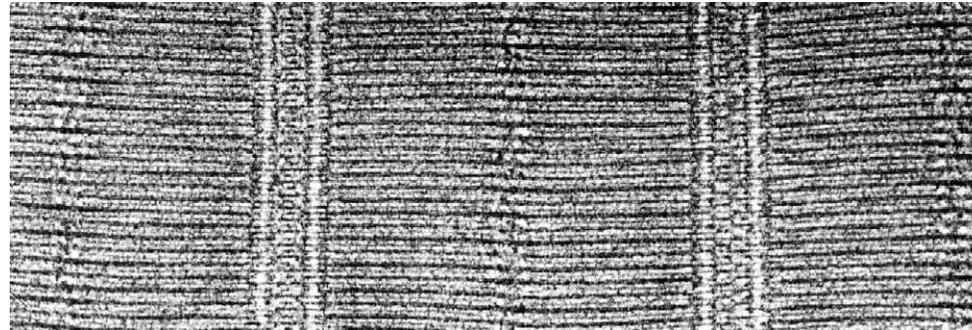
l'organisation du muscle _____ le muscle strié

muscle = structure hiérarchisée

myofilaments



sarcomères



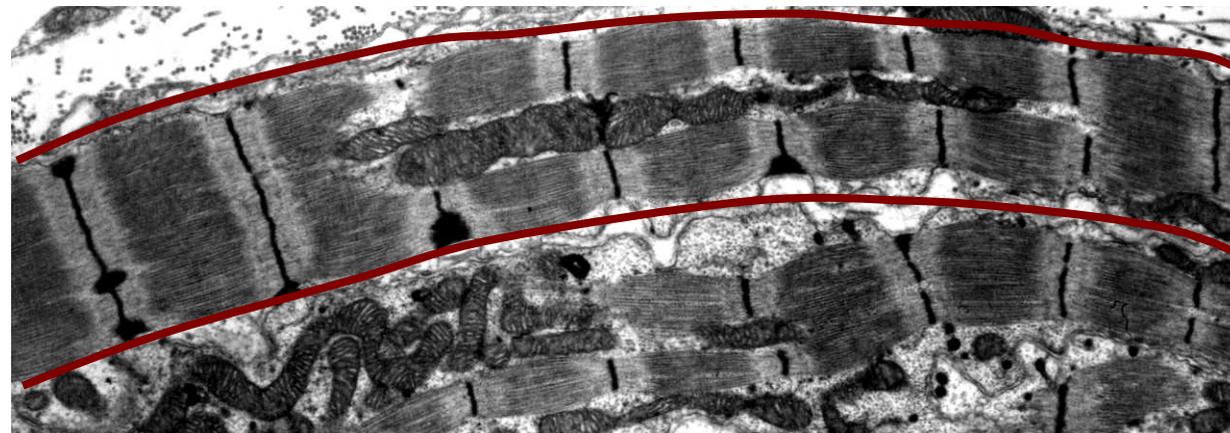
fibrille

sarcomères en série

mitochondrie

réticulum

sarcoplasmique

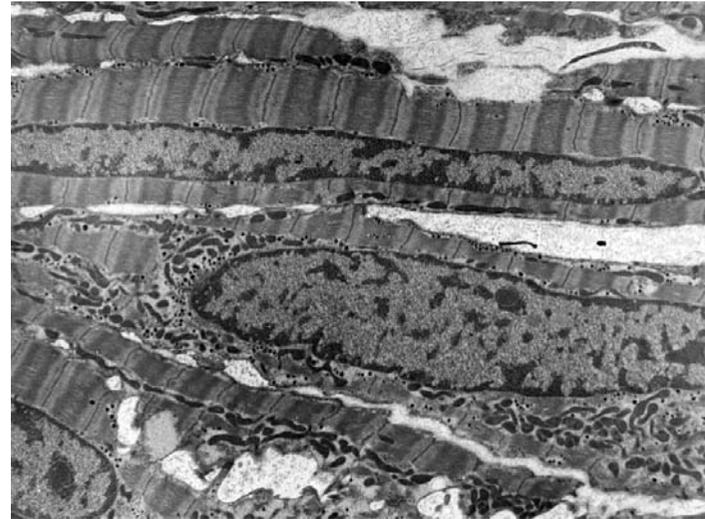


l'organisation du muscle _____ le muscle strié

muscle = structure hiérarchisée

fibre

cellule contenant
 plusieurs fibrilles



l'organisation du muscle _____ le muscle strié

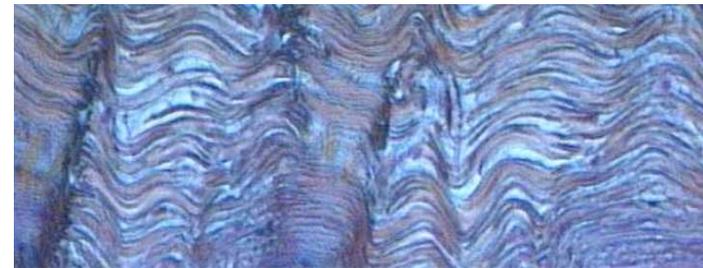
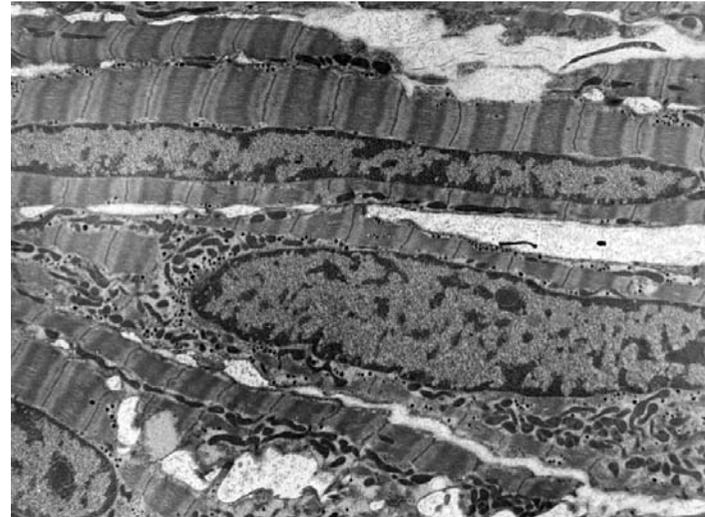
muscle = structure hiérarchisée

fibre

cellule contenant
 plusieurs fibrilles

amas de fibres

cellules en faisceaux
 tissu conjonctif



l'organisation du muscle _____ le muscle strié

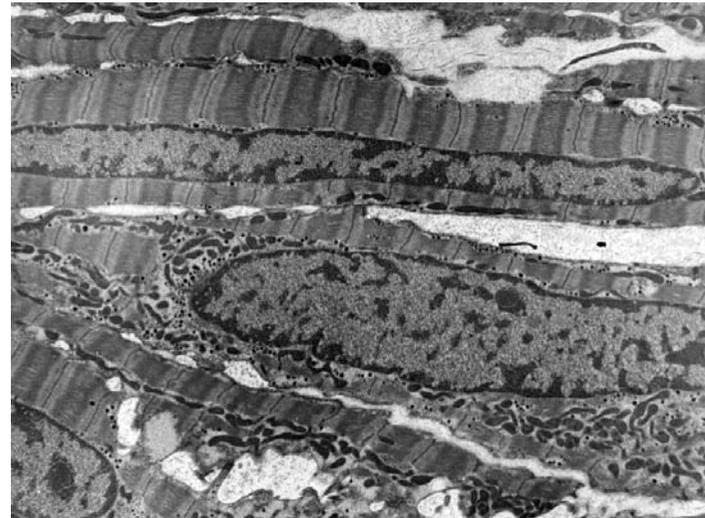
muscle = structure hiérarchisée

fibre
 cellule contenant
 plusieurs fibrilles

amas de fibres
 cellules en faisceaux
 tissu conjonctif

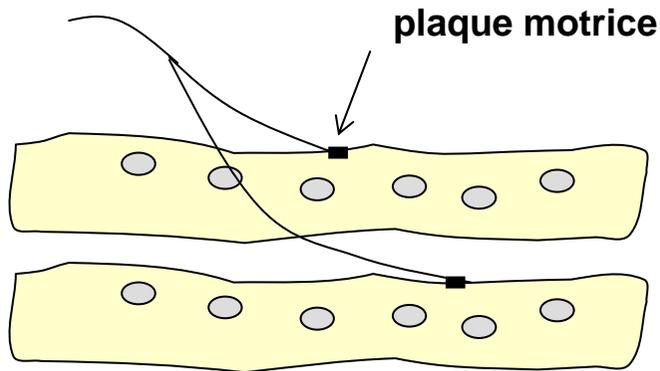


muscle
 faisceaux musculaires
 zones d'insertion



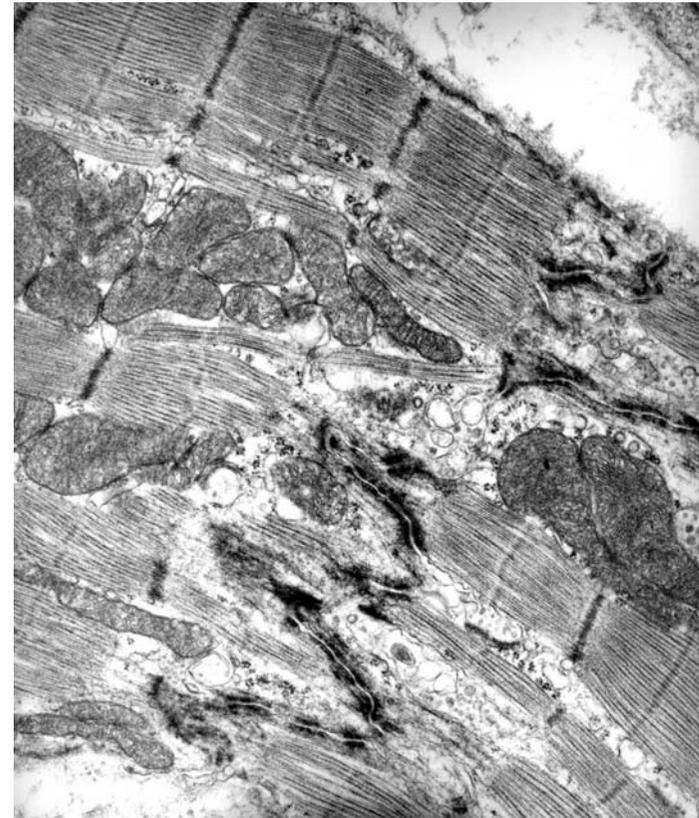
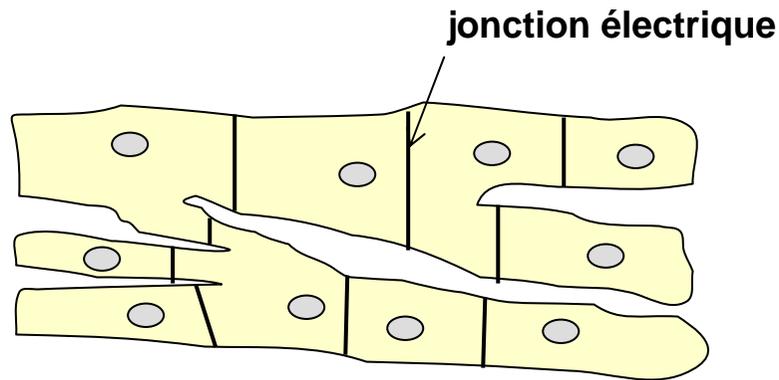
l'organisation du muscle _____ les différents types de muscles

muscle strié squelettique



- organisation en sarcomères
- grandes cellules plurinucléées
- stimulation : système nerveux moteur (ACh)
- chaque cellule reçoit une fibre nerveuse
- pas de couplage de cellule à cellule

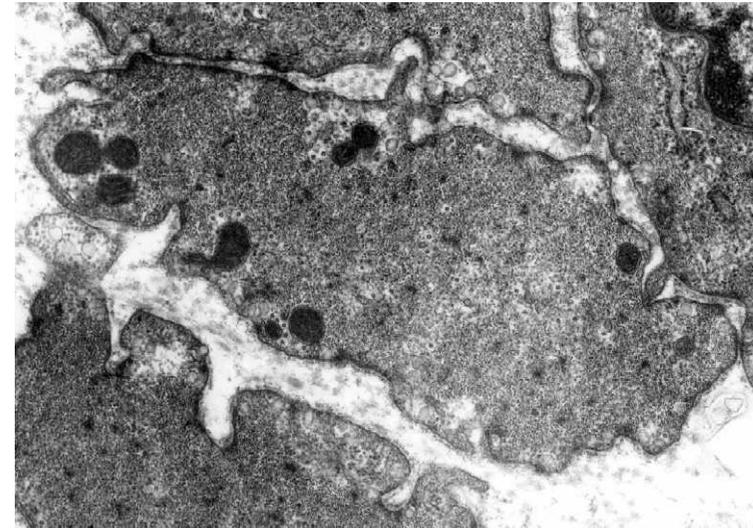
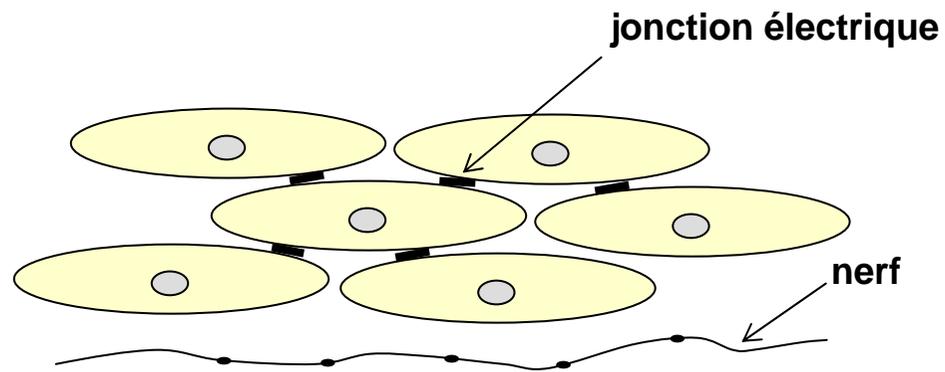
muscle strié cardiaque



- organisation en sarcomères
- cellules mononucléées
- stimulation : système nerveux autonome + hormones
- toutes les cellules ne sont pas innervées
- couplage de cellule à cellule : jonctions serrées (« gap junctions »)

l'organisation du muscle _____ les différents types de muscles

muscle lisse



- pas de sarcomères
- cellules mononucléées
- stimulation : système nerveux autonome + hormones
- couplage de cellule à cellule : jonctions serrées (« gap junctions ») dans certains muscle lisses

les différents types de muscles lisses

les muscles lisses mono-unitaires

toutes les cellules fonctionnent comme une seule unité

présence de jonctions de cellule à cellule

transmission d'un potentiel d'action de cellule à cellule

contraction dit phasique

ex : myocytes responsables du péristaltisme intestinal.

les muscle lisses pluri-unitaires

les cellules fonctionnent comme plusieurs unités distinctes

pas de potentiel d'action

pas de propagation électrique de cellule à cellule

contraction dite tonique

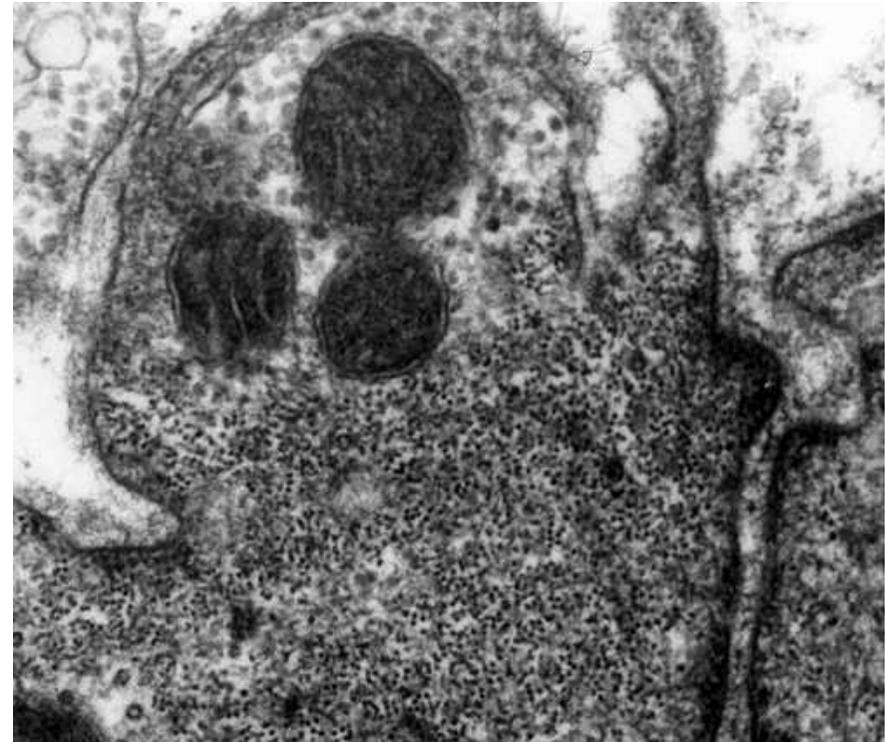
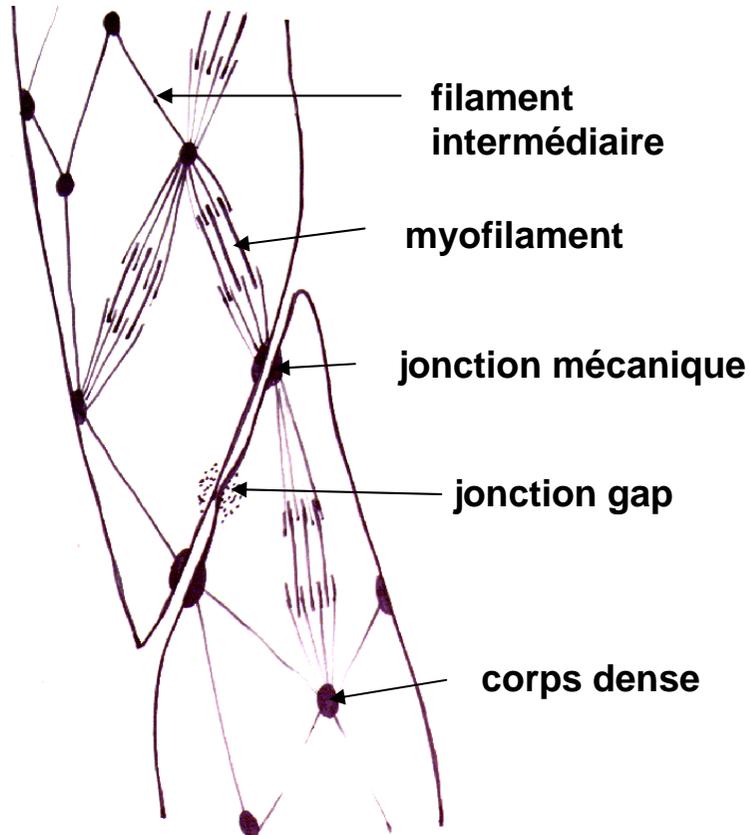
ex : les myocytes responsables de la réactivité bronchique.

NB : muscles lisses intermédiaires entre mono-unitaires et pluri-unitaires

l'organisation du muscle _____ le muscle lisse

l'organisation de la cellule

pas d'organisation en sarcomère

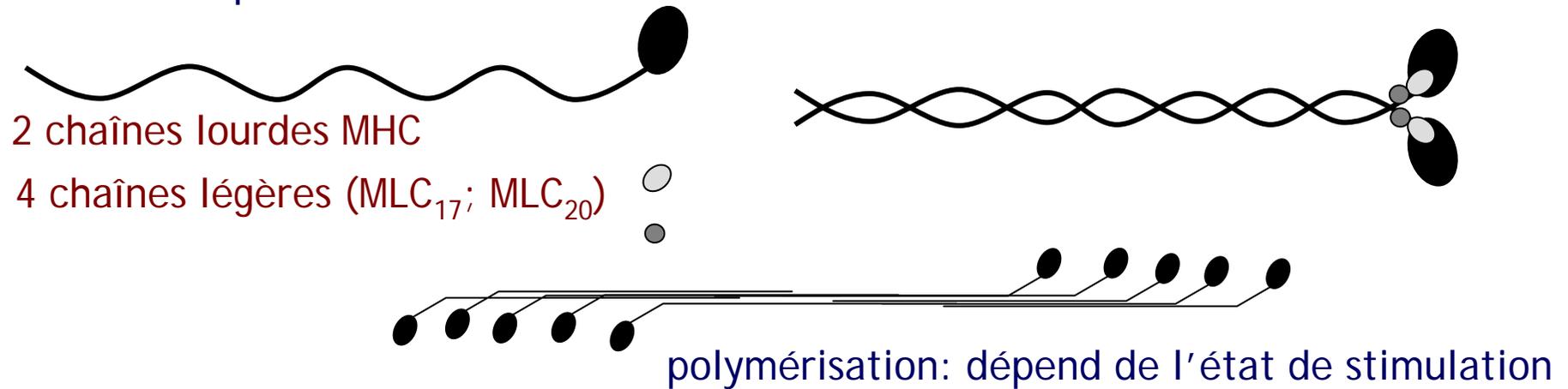


- **cellules mononucléées en fuseau**
- **pas de tubules T**
- **nombreux filaments intermédiaires reliant les corps denses**
- **myofilaments constitués d'actine et de myosine, reliés à des corps denses**

l'appareil contractile

- myofilaments constitués d'actine et de myosine, mais pas de sarcomères
- pas de troponine

◆ filament épais



◆ filament fin

actine

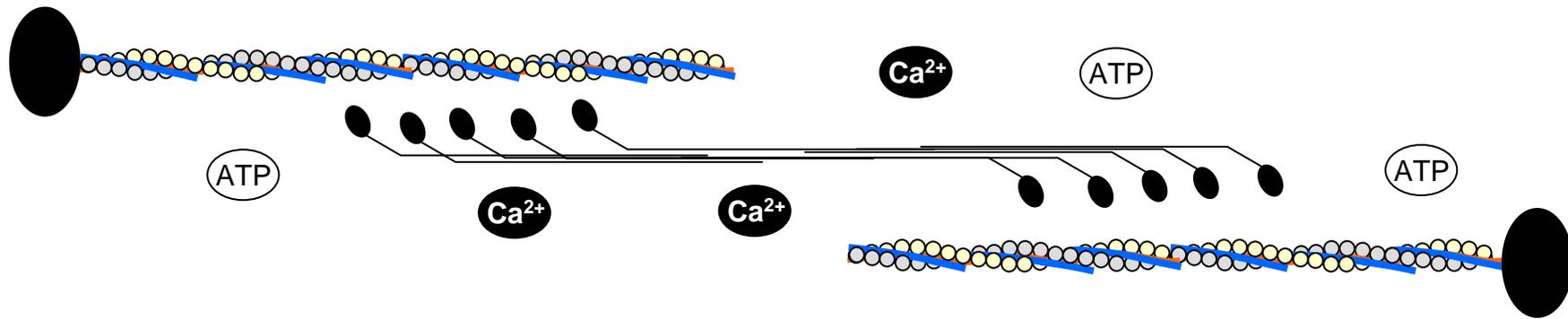
tropomyosine



caldesmone
calponine

l'appareil contractile

- filaments fins accrochés à des corps denses
- organisation polarisée des filaments épais



un filament épais pour 20-30 filaments fins

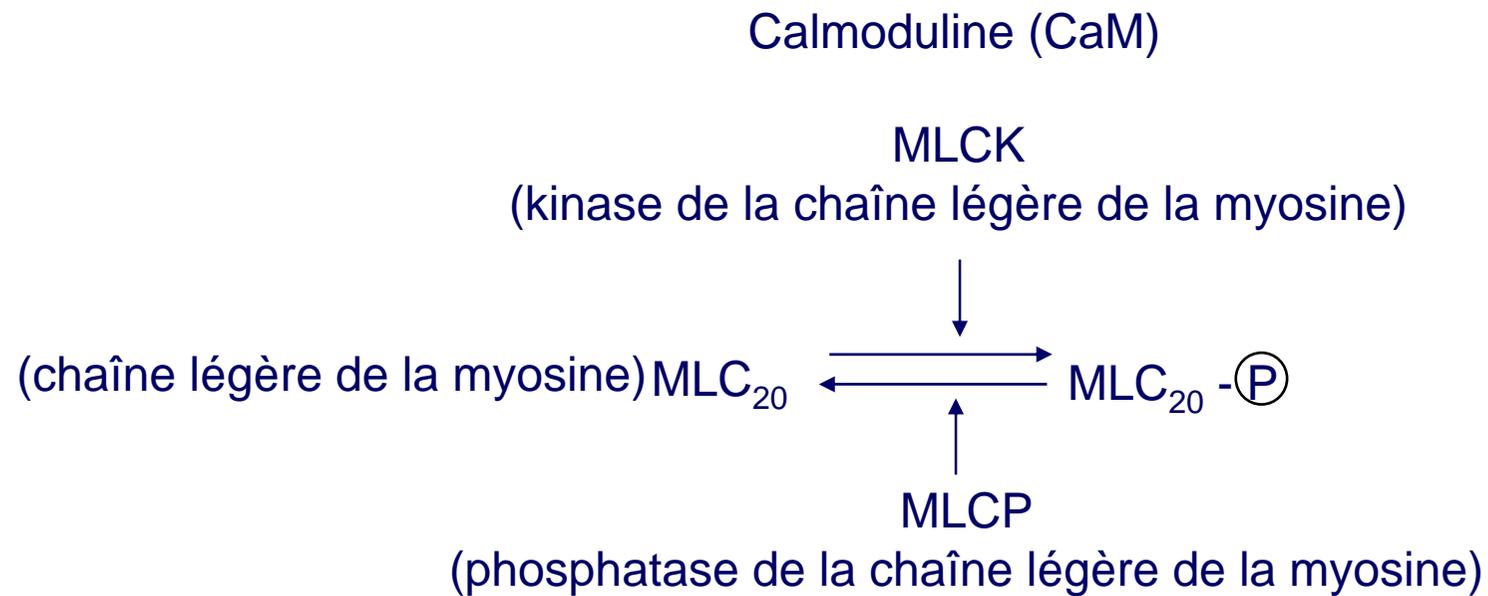
l'organisation du muscle _____ le muscle lisse

l'appareil contractile

● formation du pont actomyosique et activité ATPasique de la myosine :

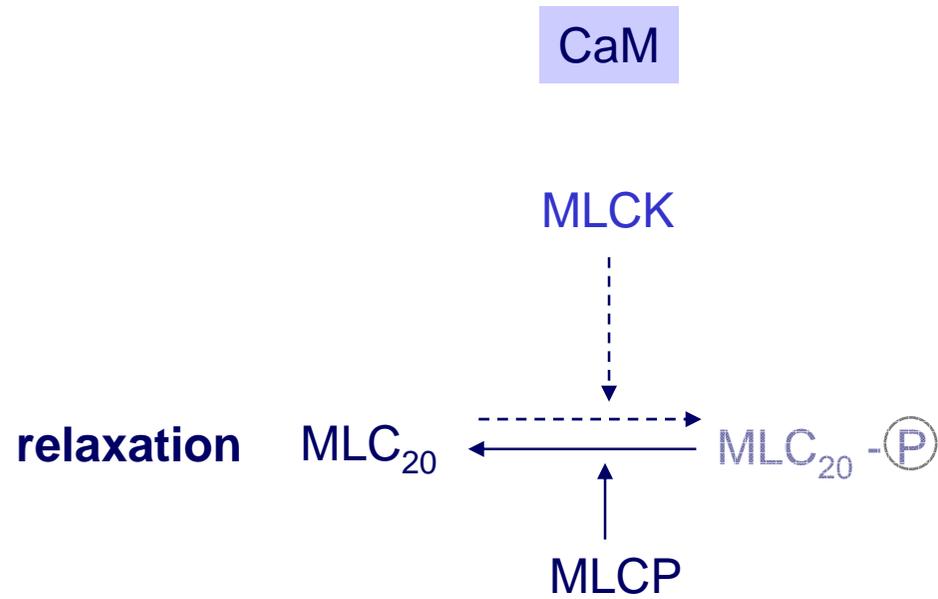
nécessite la phosphorylation de la chaîne légère de 20 kDa de la myosine

système enzymatique :



l'appareil contractile : rôle du calcium

absence de Ca^{2+}
pas d'activation de la MLCK
myosine déphosphorylée
relaxation

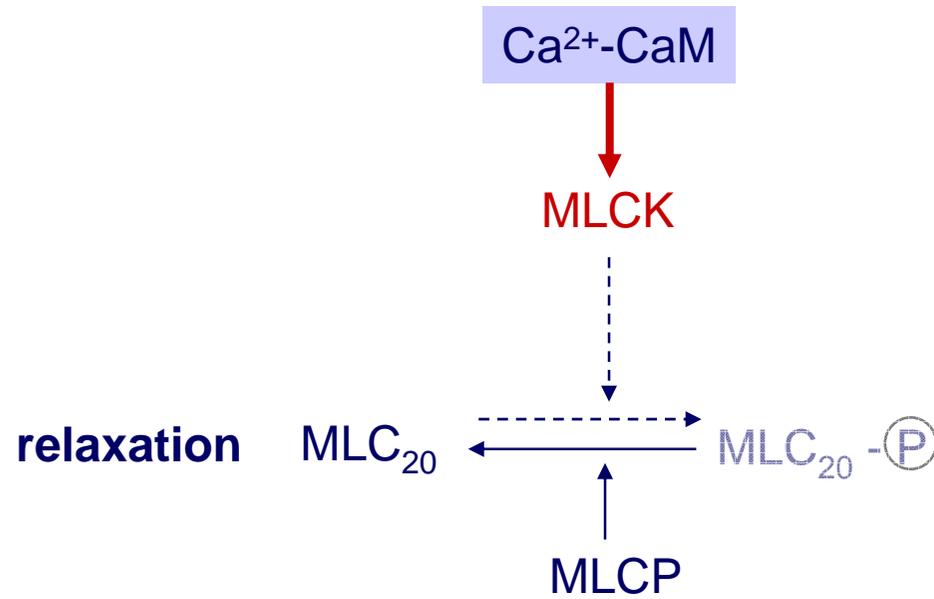


l'appareil contractile : rôle du calcium

présence de Ca^{2+}

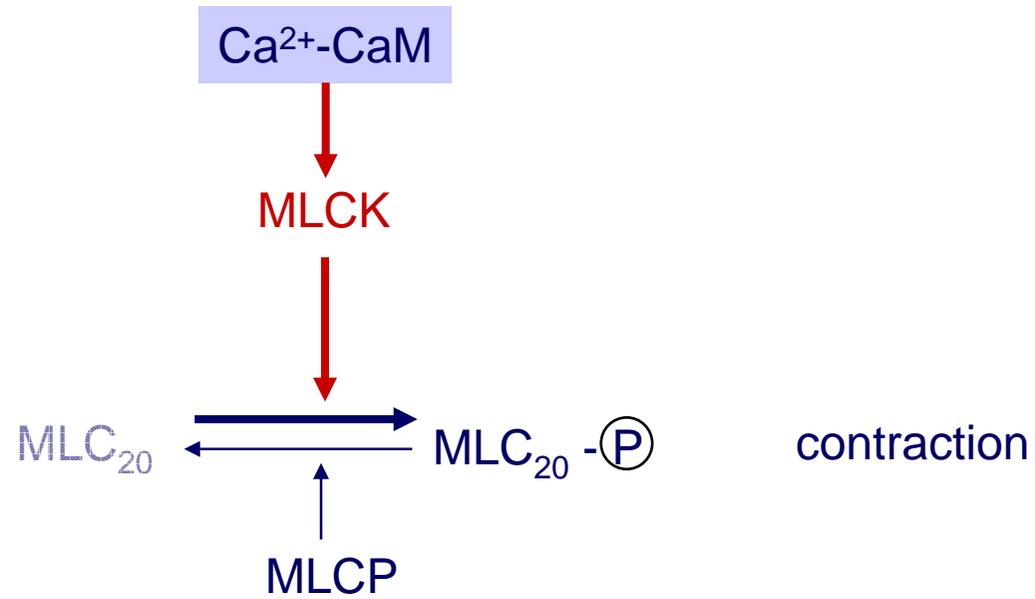
complexe Ca^{2+} -calmoduline

activation de la MLCK



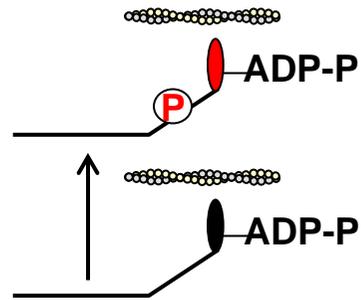
l'appareil contractile : rôle du calcium

- présence de Ca^{2+}
- complexe Ca^{2+} -calmoduline
- activation de la MLCK
- myosine phosphorylée
- contraction



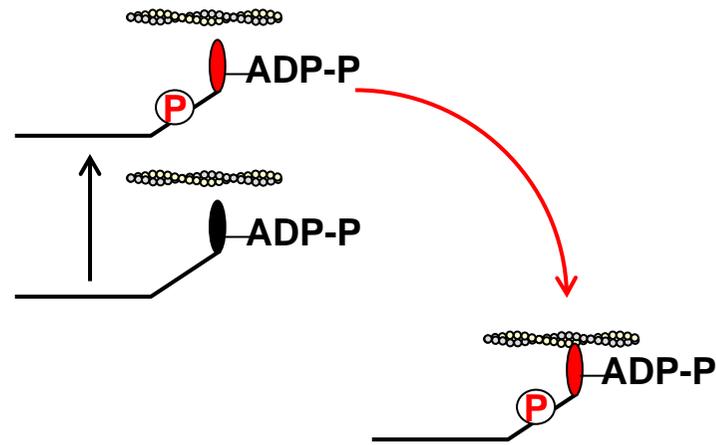
l'appareil contractile : les cycles de contraction

**cycle phosphorylé
phosphorylation**



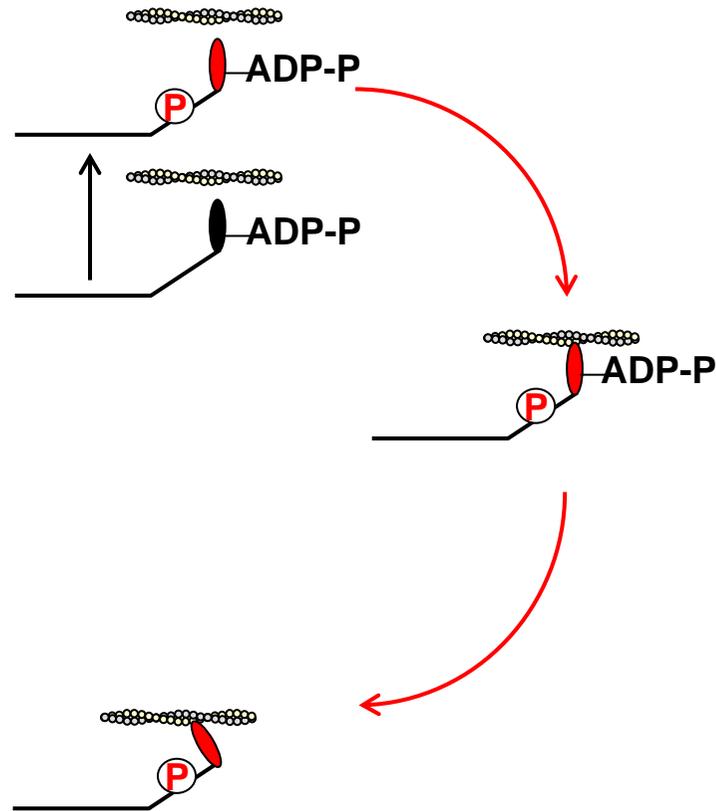
l'appareil contractile : les cycles de contraction

cycle phosphorylé
formation du pont actomyosique



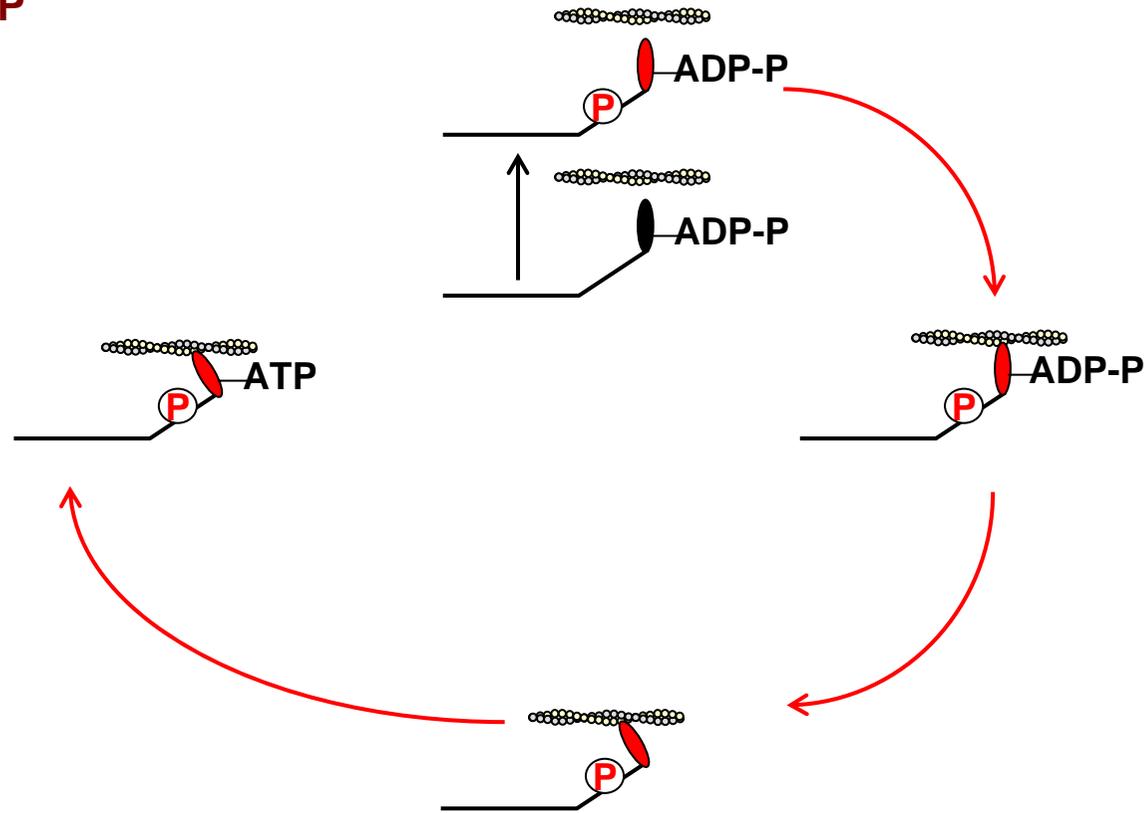
l'appareil contractile : les cycles de contraction

**cycle phosphorylé
rotation de la tête de myosine**



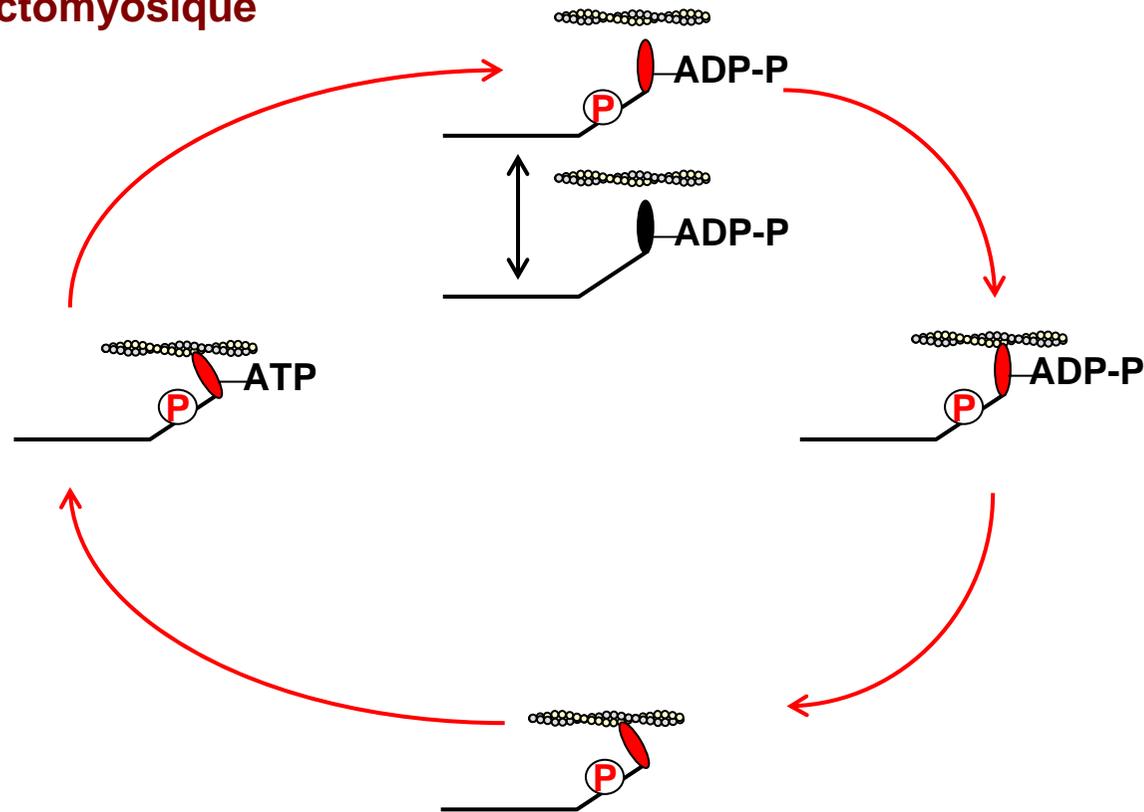
l'appareil contractile : les cycles de contraction

**cycle phosphorylé
hydrolyse de l'ATP**



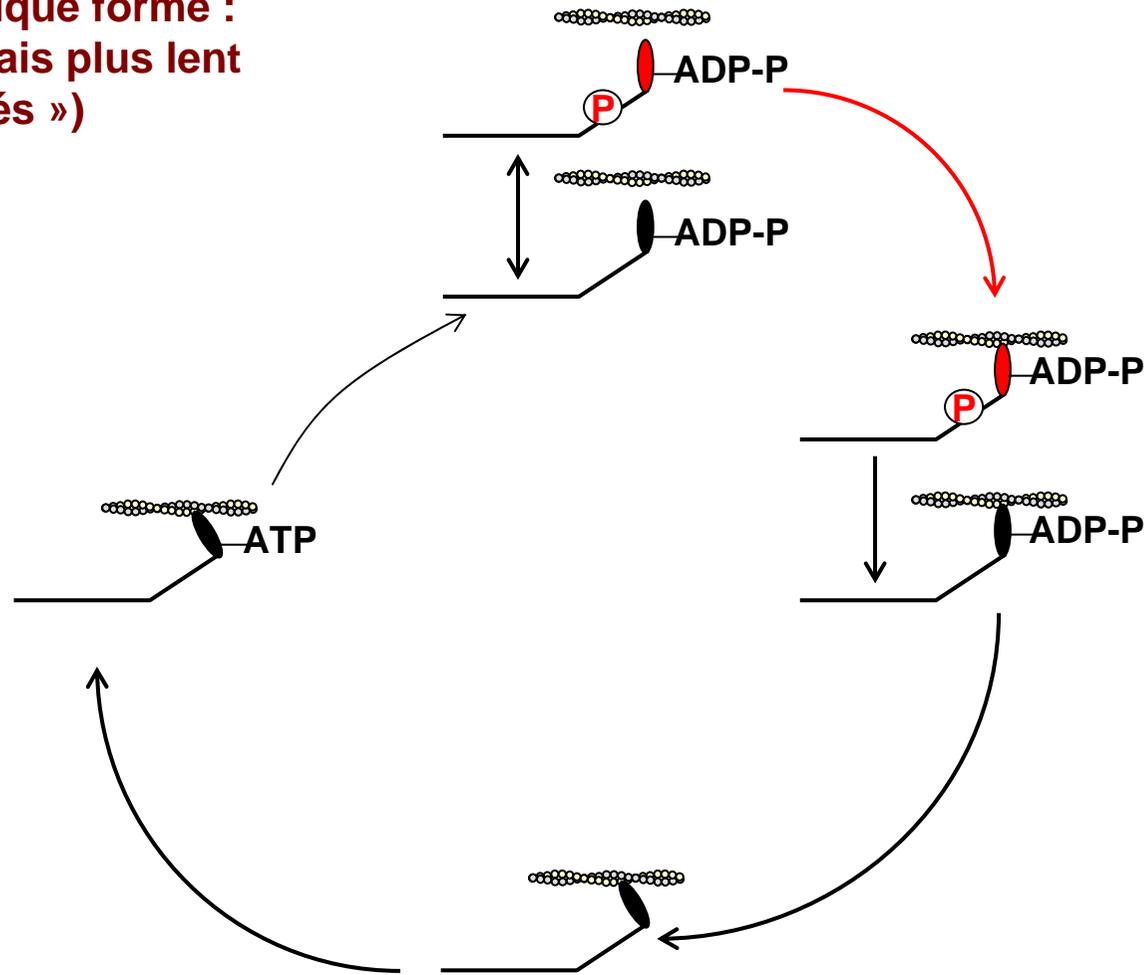
l'appareil contractile : les cycles de contraction

cycle phosphorylé
rupture du pont actomyosique



l'appareil contractile : les cycles de contraction

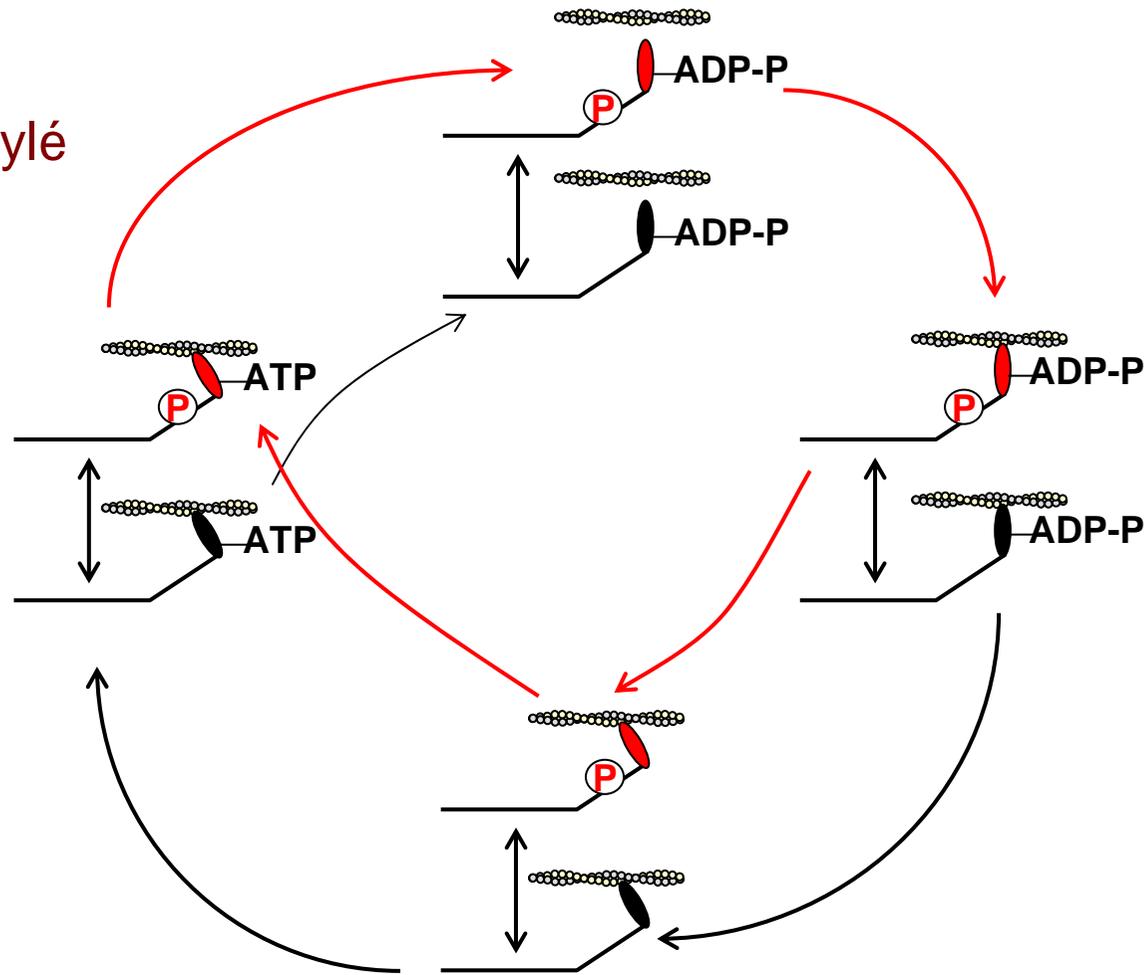
cycle partiellement déphosphorylé
si pont actomyosique formé :
cycle possible, mais plus lent
(ponts « verrouillés »)



l'appareil contractile : les cycles de contraction

cycle partiellement déphosphorylé

↕
cycle phosphorylé



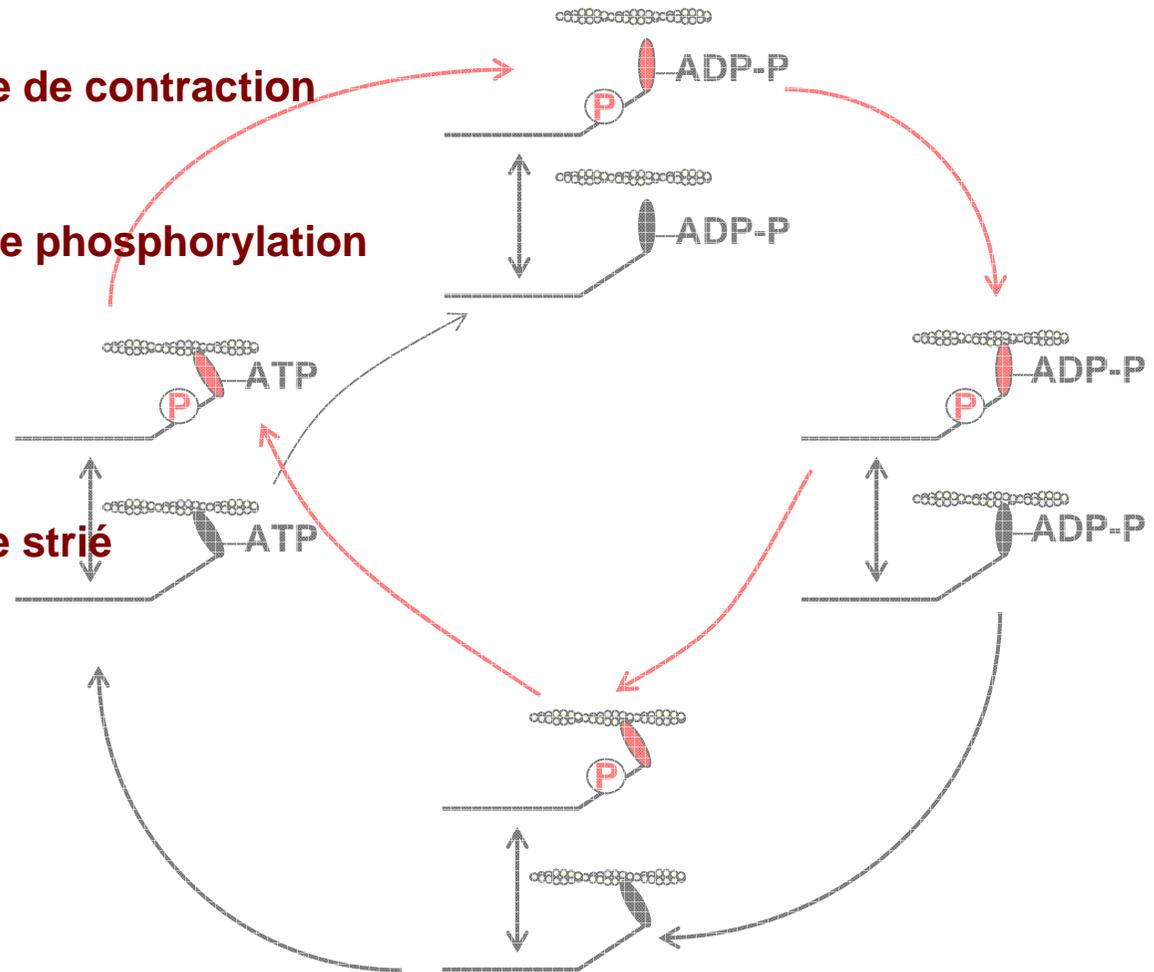
consommation d'ATP

● activité ATPasique de la MLC
→ un ATP consommée par cycle de contraction

● phosphorylation de la MLC
→ un ATP consommée à chaque phosphorylation

consommation d'ATP

● par cycle de contraction
muscle lisse > muscle strié



consommation d'ATP

● activité ATPasique de la MLC
 → un ATP consommée par cycle de contraction

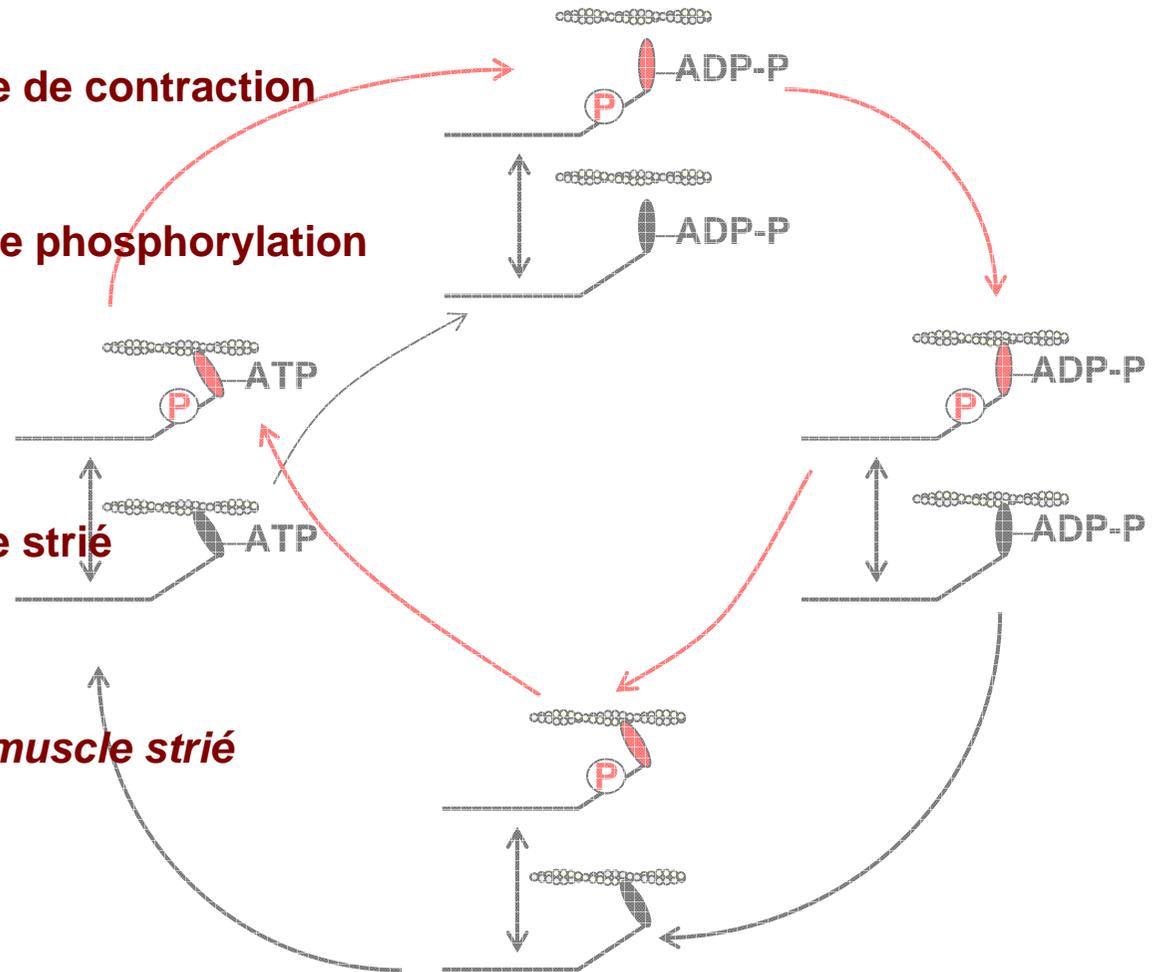
● phosphorylation de la MLC
 → un ATP consommée à chaque phosphorylation

consommation d'ATP

● par cycle de contraction
 muscle lisse > muscle strié

MAIS

vitesse muscle lisse < vitesse muscle strié



consommation d'ATP

● activité ATPasique de la MLC
 → un ATP consommée par cycle de contraction

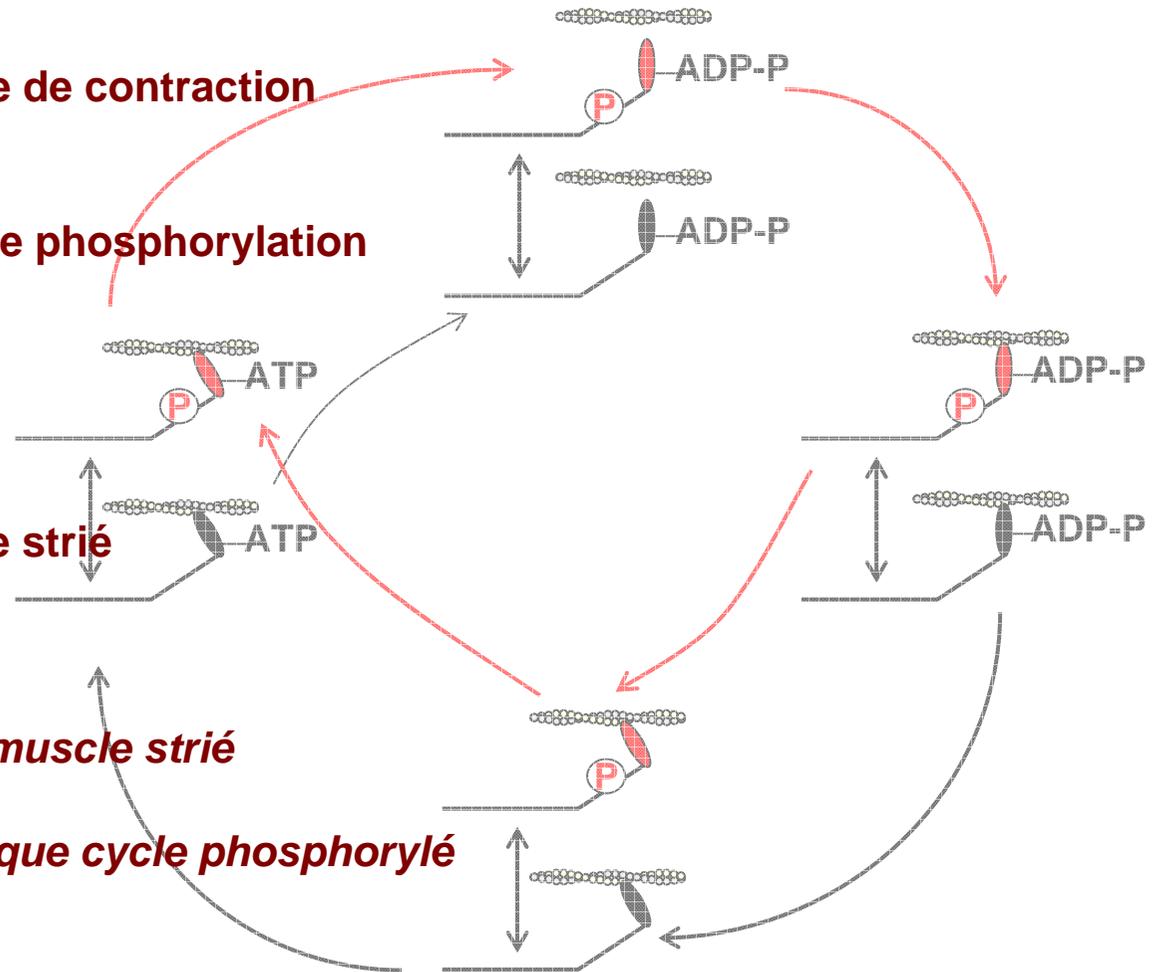
● phosphorylation de la MLC
 → un ATP consommée à chaque phosphorylation

consommation d'ATP

● par cycle de contraction
 muscle lisse > muscle strié

MAIS

vitesse muscle lisse < vitesse muscle strié
 &
cycle déphosphorylé plus lent que cycle phosphorylé



consommation d'ATP

● activité ATPasique de la MLC
→ un ATP consommée par cycle de contraction

● phosphorylation de la MLC
→ un ATP consommée à chaque phosphorylation

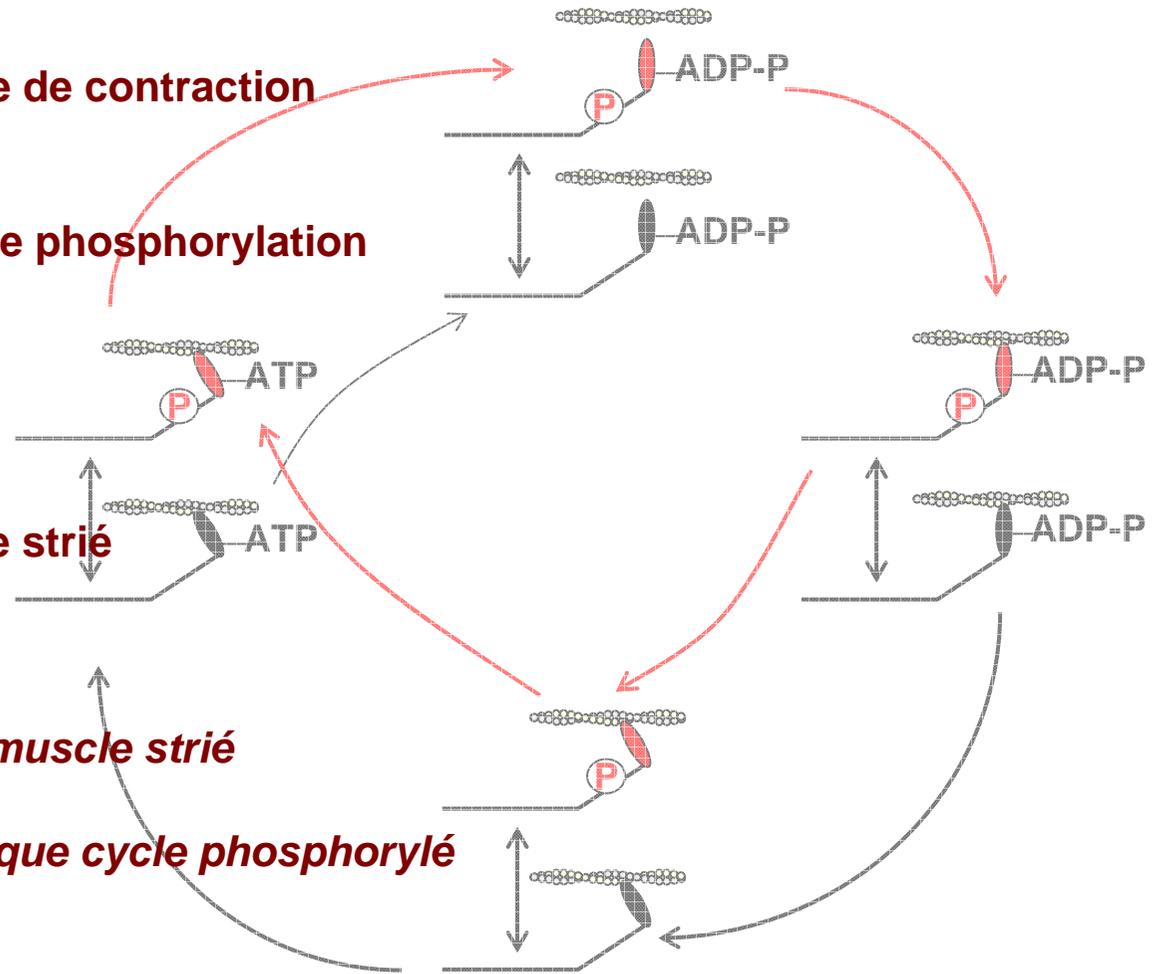
consommation d'ATP

● par cycle de contraction
muscle lisse > muscle strié

MAIS

vitesse muscle lisse < vitesse muscle strié
&
cycle déphosphorylé plus lent que cycle phosphorylé

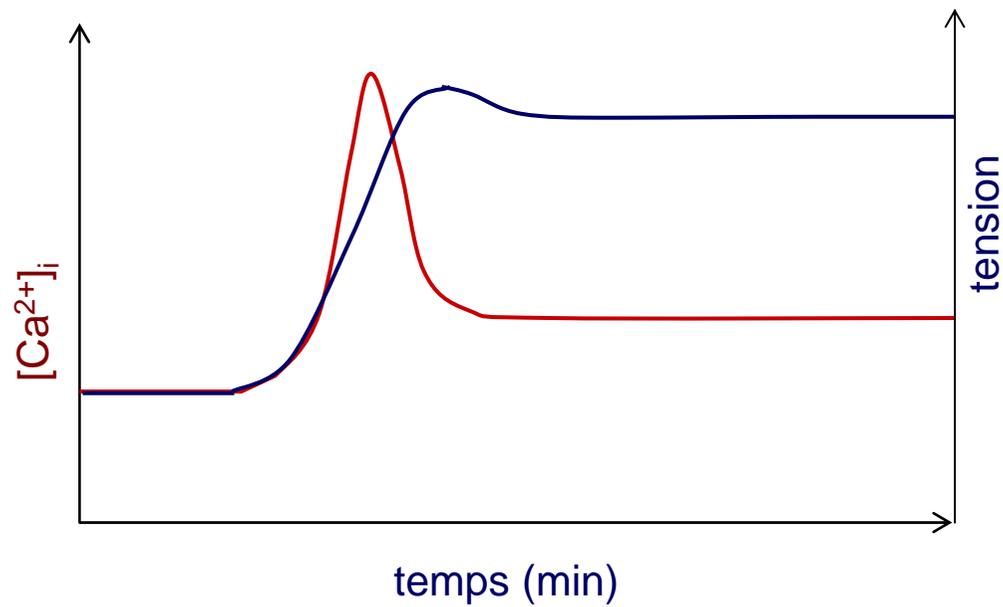
● par unité de temps
muscle lisse < muscle strié



l'organisation du muscle _____ le muscle lisse

rôle du Ca^{2+}

$[\text{Ca}^{2+}]_i \rightarrow$ proportion de cycle phosphorylé / déphosphorylé



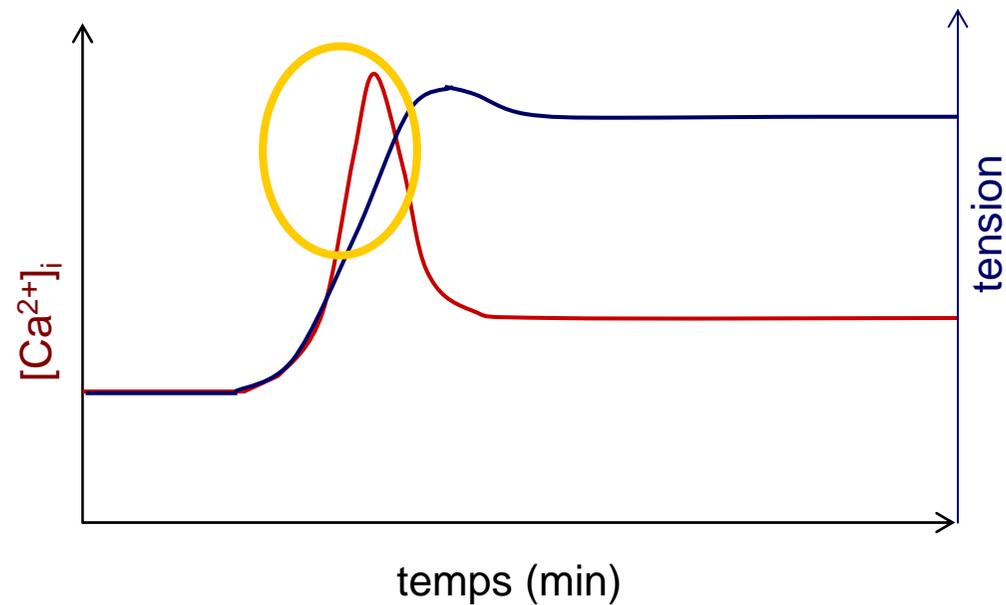
mesure simultanée de la contraction et de la $[\text{Ca}^{2+}]_i$

l'organisation du muscle _____ le muscle lisse

rôle du Ca^{2+}

$[\text{Ca}^{2+}]_i$ → proportion de cycle phosphorylé / déphosphorylé

$[\text{Ca}^{2+}]_i$ élevée : cycle phosphorylé :
→ élévation rapide de la contraction
→ consommation importante d'ATP
ponts actomyosiques « labiles »



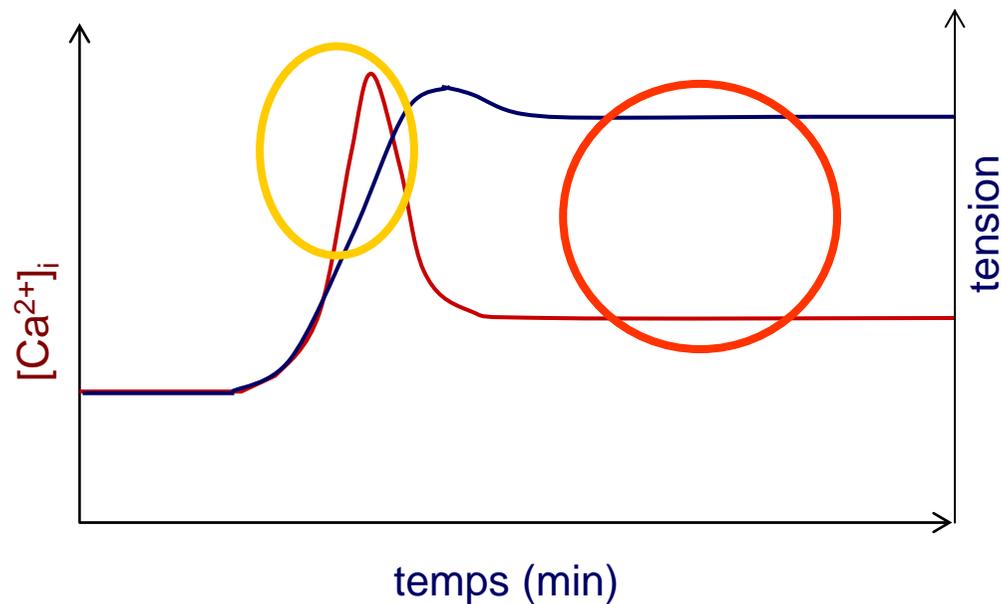
mesure simultanée de la contraction et de la $[\text{Ca}^{2+}]_i$

l'organisation du muscle _____ le muscle lisse

rôle du Ca^{2+}

$[\text{Ca}^{2+}]_i$ → proportion de cycle phosphorylé / déphosphorylé

$[\text{Ca}^{2+}]_i$ élevée : cycle phosphorylé :
→ élévation rapide de la contraction
→ consommation importante d'ATP
ponts actomyosiques « labiles »



$[\text{Ca}^{2+}]_i$ faible : cycle déphosphorylé
→ maintien de la contraction
→ consommation faible d'ATP
ponts actomyosiques « verrouillés »

mesure simultanée de la contraction et de la $[\text{Ca}^{2+}]_i$

physiologie du muscle lisse

- mécanisme d'action du Ca^{2+} : activation enzymatique (Ca-Cam + MLCK)
 - **possibilité de modulation de la contraction : balance MLCK / MLCP**
- existence de cycles phosphorylé / partiellement déphosphorylé
 - **modulation de la vitesse de contraction**
 - **modulation de la consommation d'ATP**
 - **maintien de la contraction avec une faible consommation d'ATP**
(ponts actomyosiques « verrouillés »)

physiologie du muscle lisse

● mécanisme d'action du Ca^{2+} : activation enzymatique (Ca-Cam + MLCK)

→ possibilité de modulation de la contraction : balance MLCK / MLCP

● existence de cycles phosphorylé / partiellement déphosphorylé

→ modulation de la vitesse de contraction

→ modulation de la consommation d'ATP

→ maintien de la contraction avec une faible consommation d'ATP
(ponts actomyosiques « verrouillés »)

NB : l'hypothèse des ponts verrouillés non formellement démontrée.

(pont actomyosique verrouillé non isolé biochimiquement)

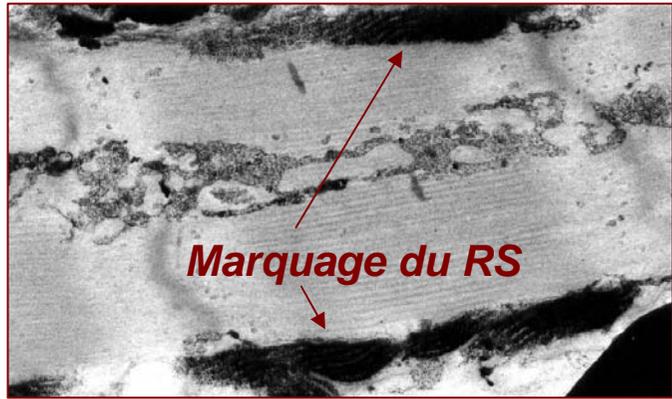
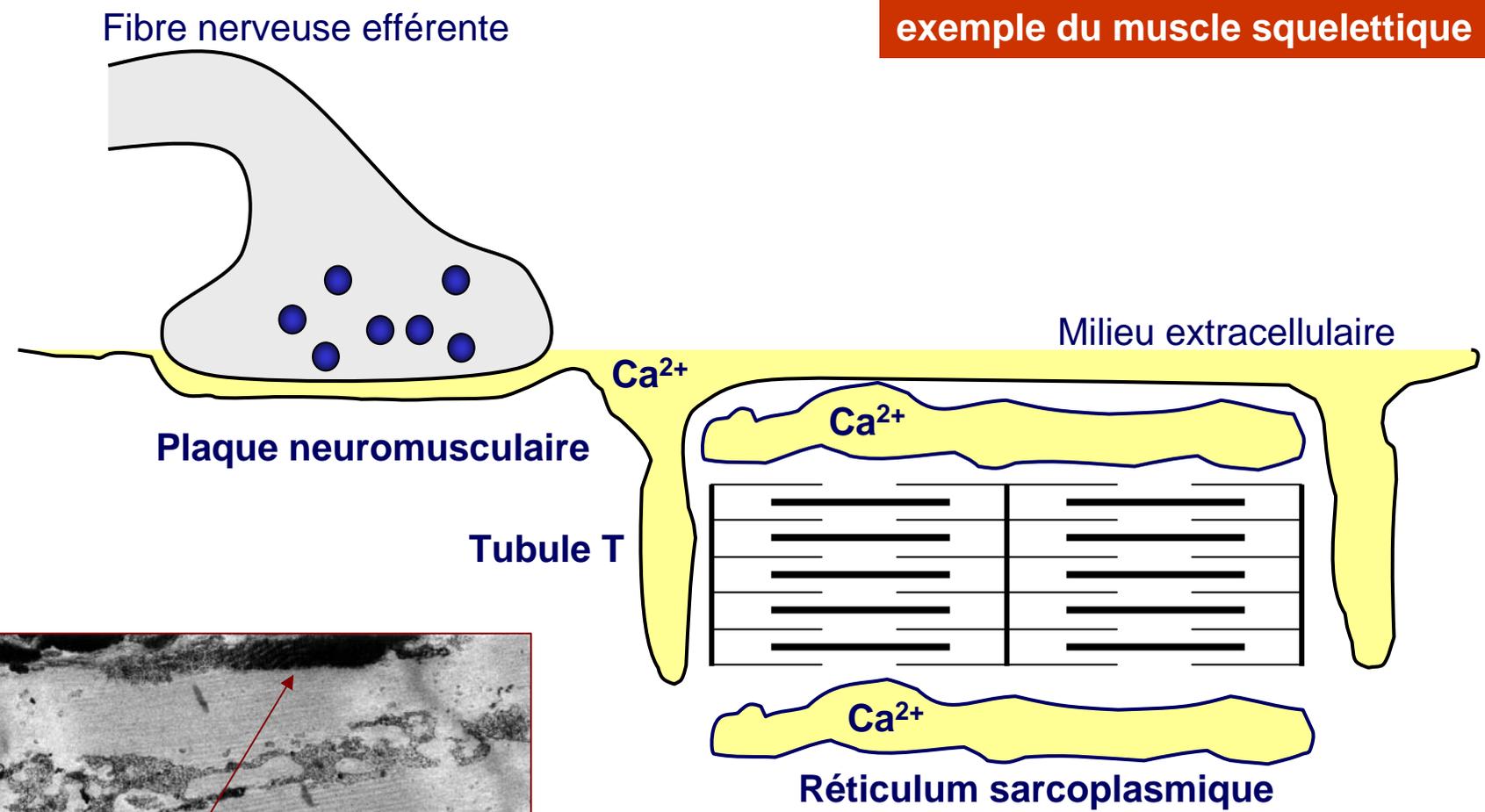
autres explications possibles à l'existence de cycles de contraction déphosphorylés :

- *modulation par caldesmone (CD) et calponine (CP), protéines associées au filament fin*
- *protéine Rho et MLC17 : contraction sans phosphorylation*

Le couplage excitation-contraction _____ structures impliquées

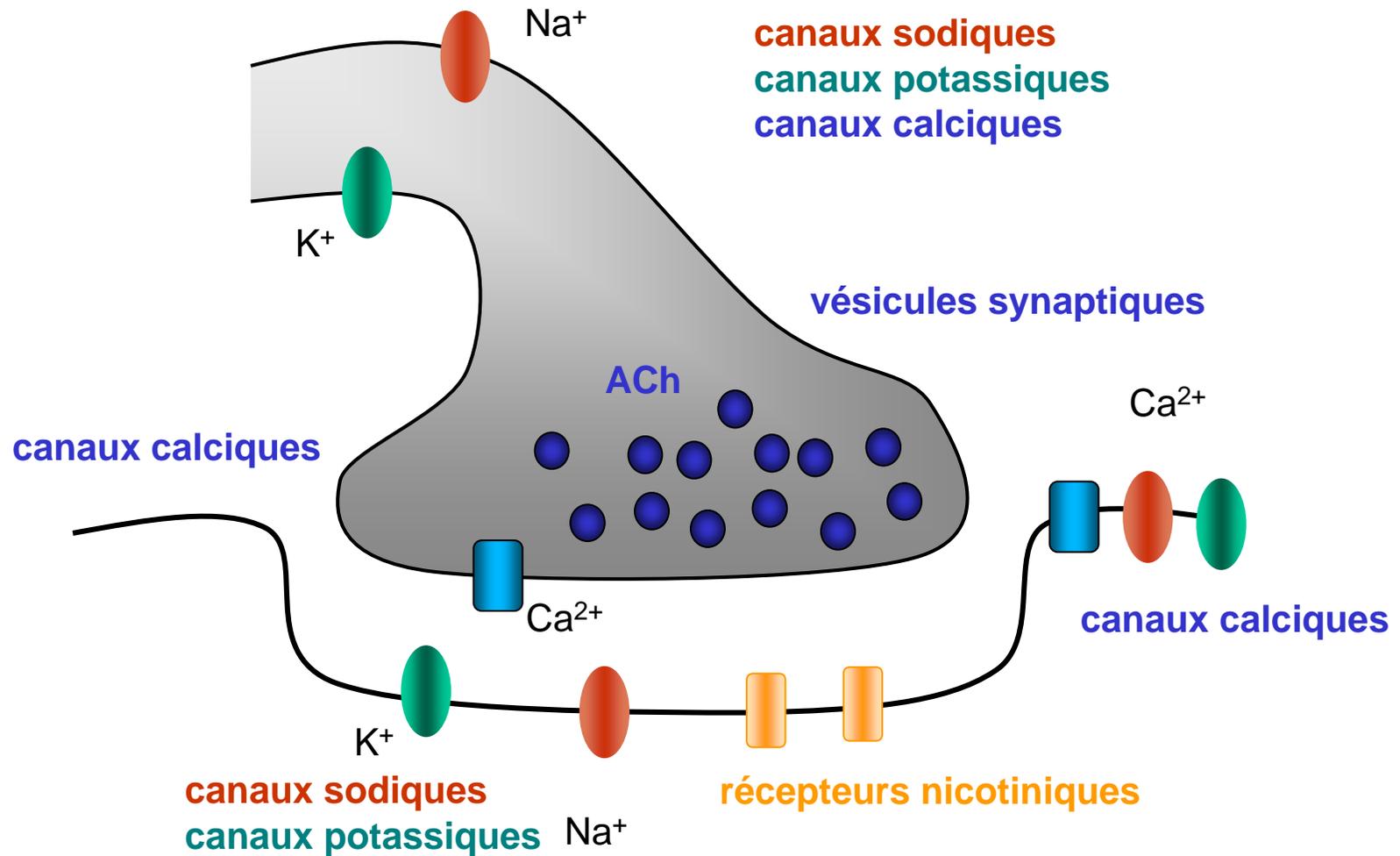
structure impliquée dans l'élévation de la $[Ca^{2+}]_i$

exemple du muscle squelettique



Le couplage excitation-contraction _____ structures impliquées

jonction neuromusculaire

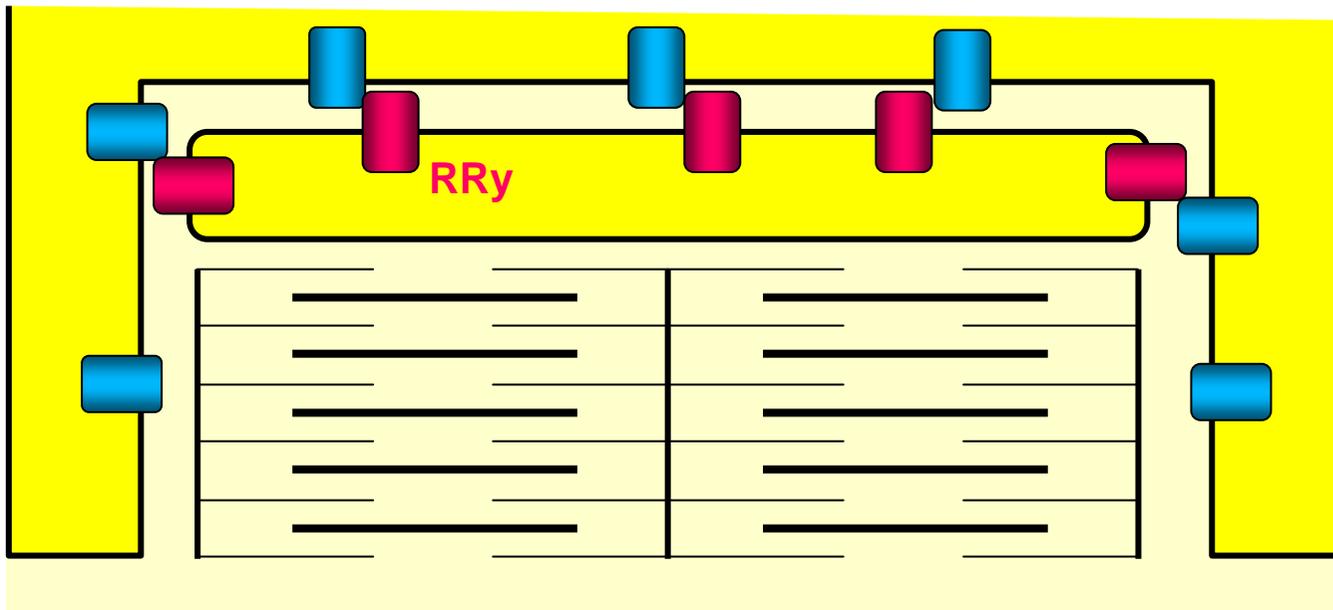


Le couplage excitation-contraction _____ structures impliquées

Tubule T et réticulum sarcoplasmique

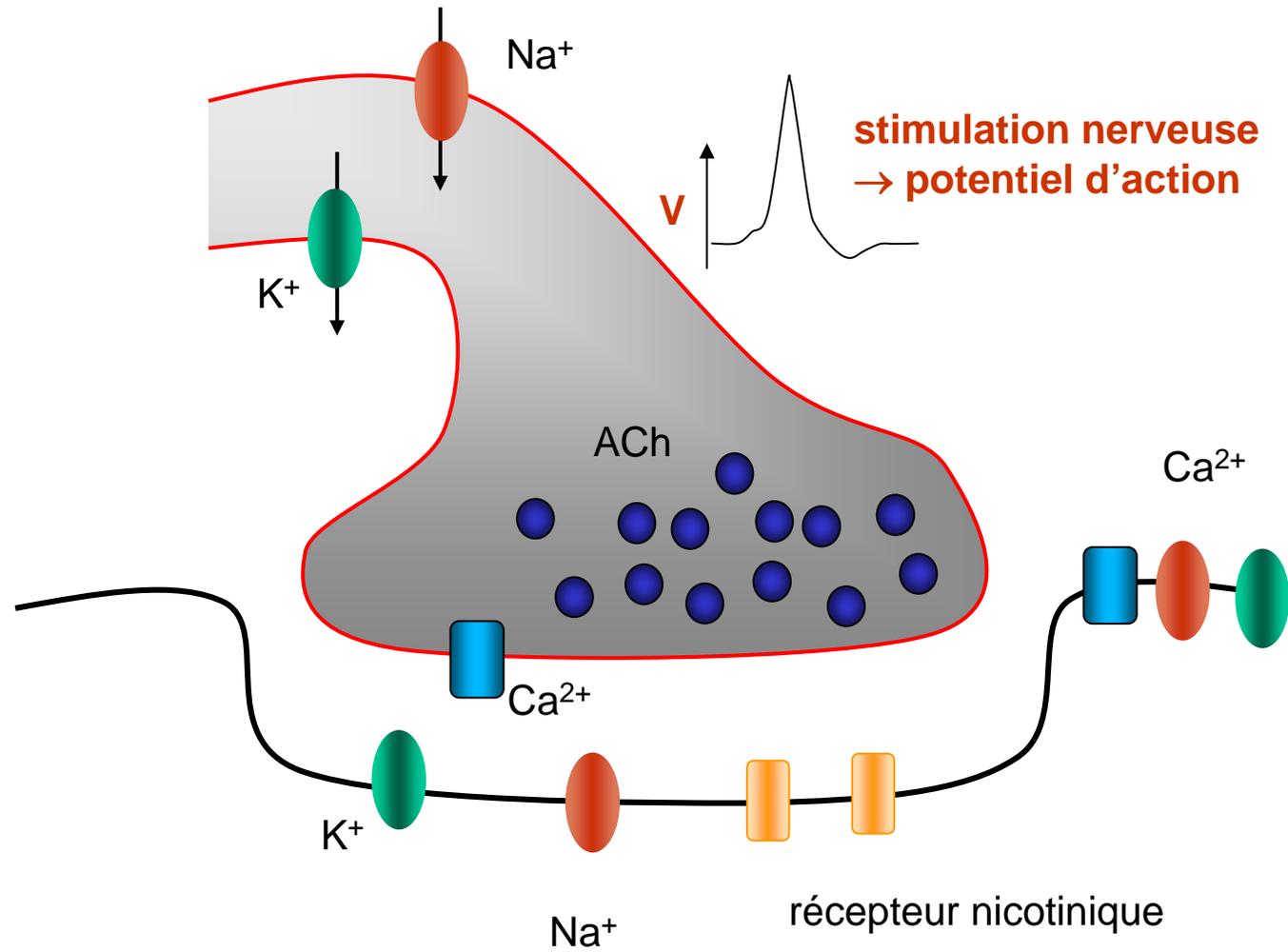
VOC : canaux calciques de la MP dépendant du potentiel (voltage-operated channel)

RRy : canaux calciques du RS sensibles à la ryanodine activés par :
élévation de la $[Ca^{2+}]_i$ couplage aux VOC



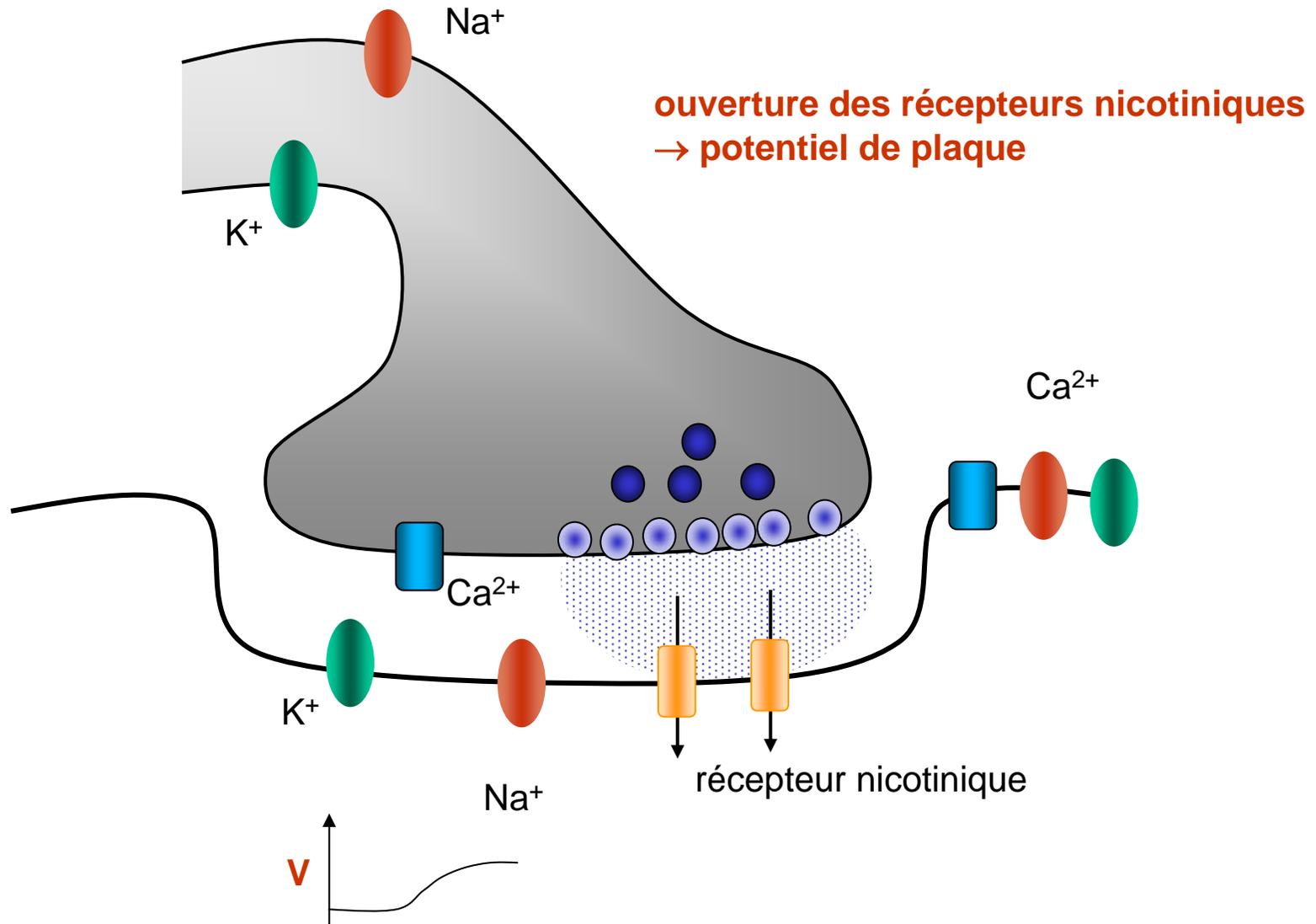
Le couplage excitation-contraction _____ mécanismes

excitation-contraction



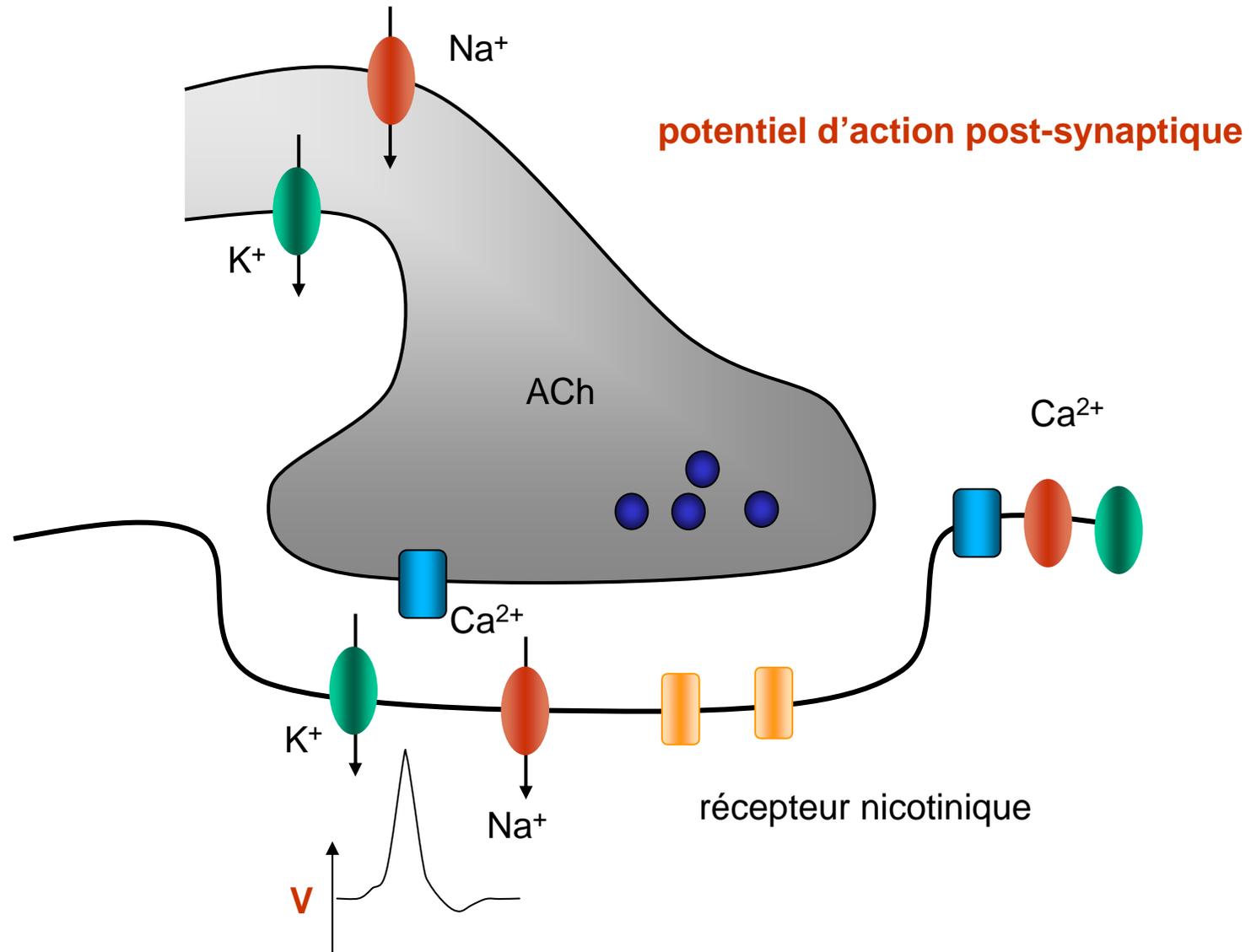
Le couplage excitation-contraction _____ mécanismes

excitation-contraction



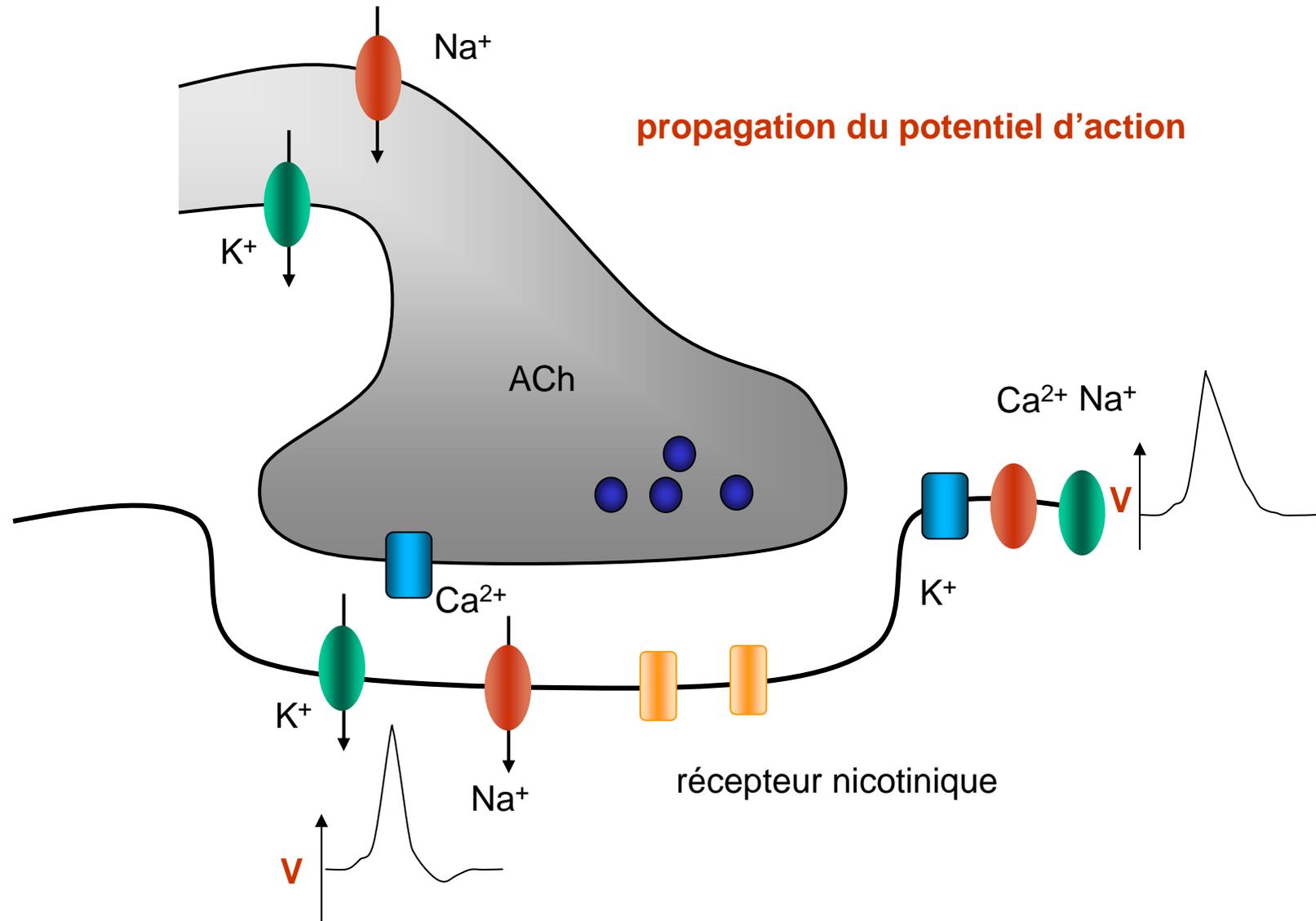
Le couplage excitation-contraction _____ mécanismes

excitation-contraction



Le couplage excitation-contraction _____ mécanismes

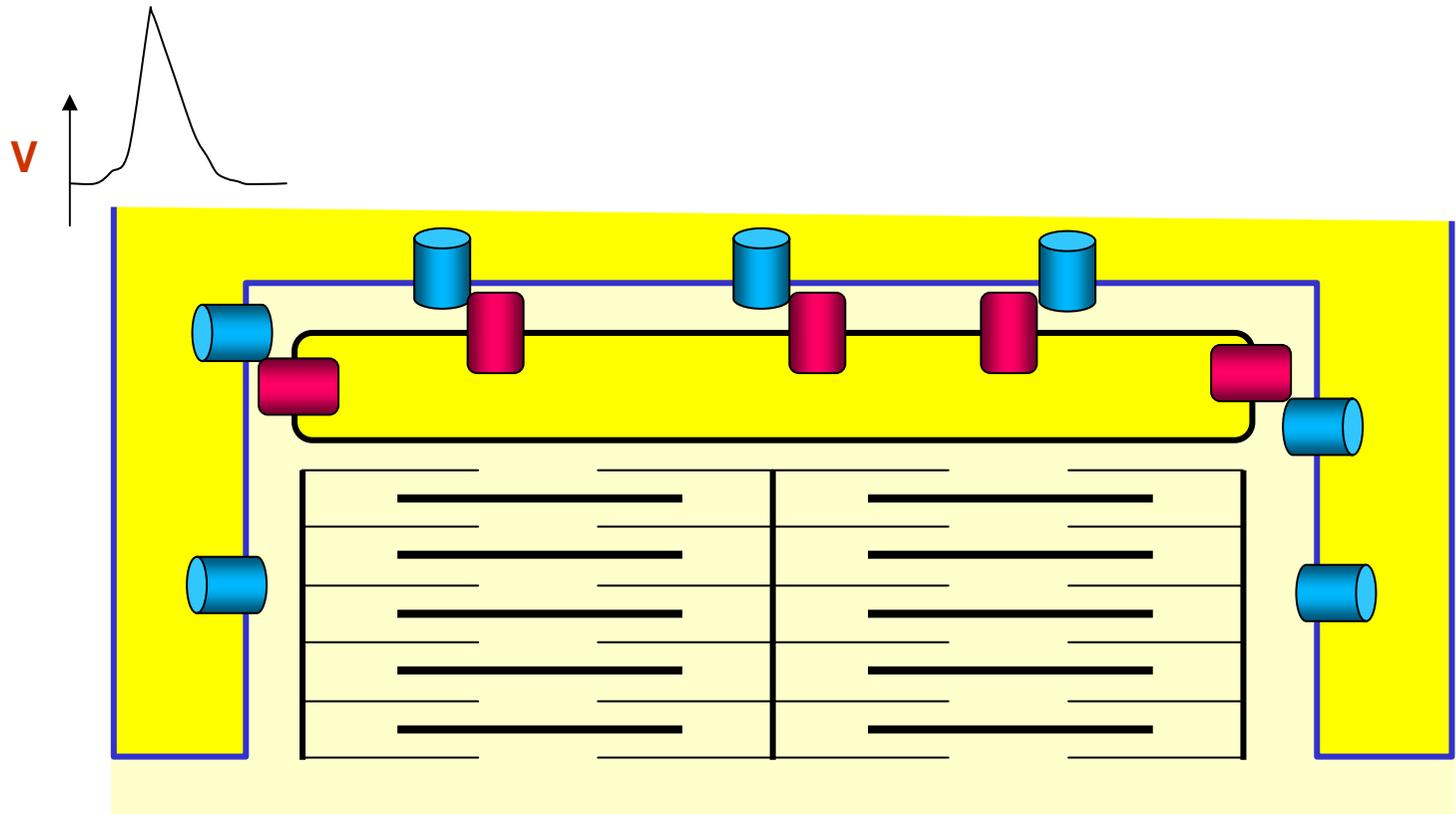
excitation-contraction



Le couplage excitation-contraction _____ mécanismes

excitation-contraction

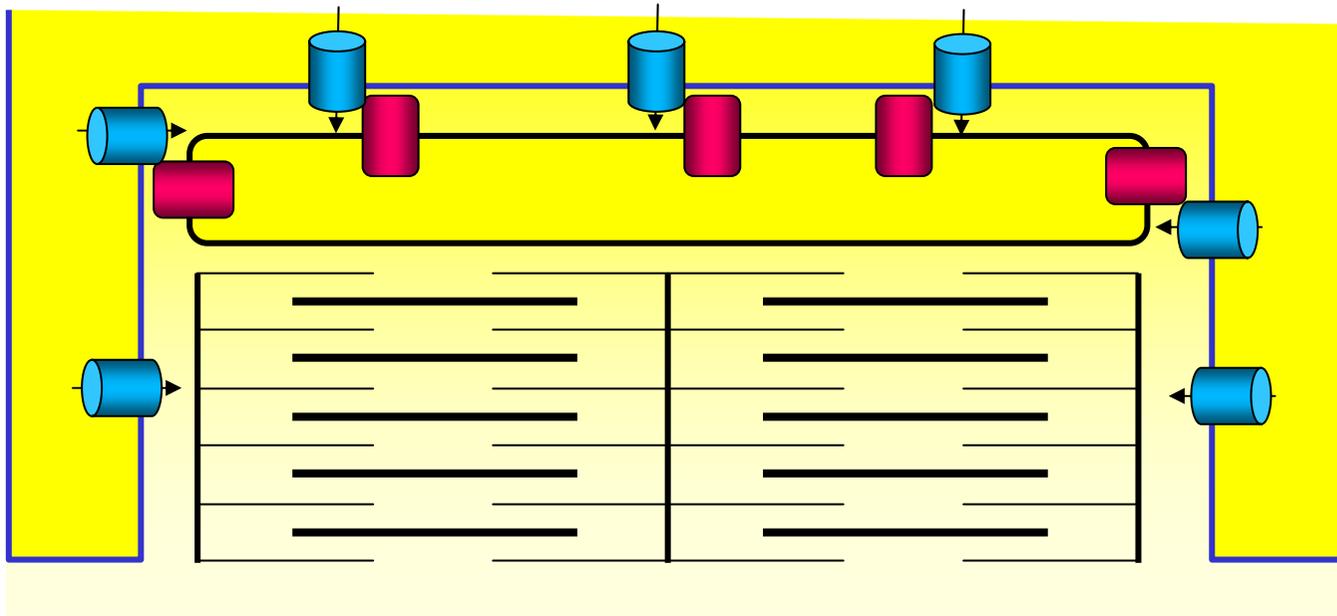
potentiel d'action → ouverture des VOC



Le couplage excitation-contraction _____ mécanismes

excitation-contraction

stimulation → potentiel d'action → ouverture des VOC
→ entrée de Ca^{2+} dans la cellule



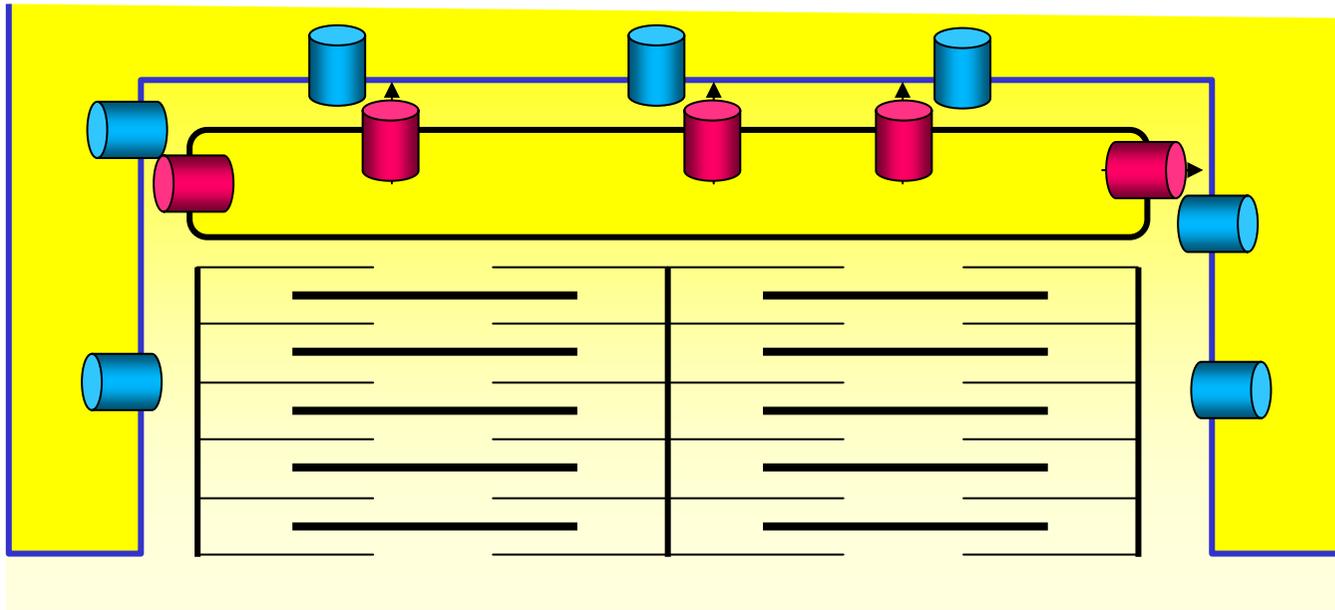
Le couplage excitation-contraction _____ mécanismes

excitation-contraction

stimulation → potentiel d'action → ouverture des VOC

→ entrée de Ca^{2+} dans la cellule

→ ouverture des R Ry



muscle squelettique : couplage direct des R Ry aux VOC

muscle cardiaque : R Ry activés par l'élévation de la $[\text{Ca}^{2+}]_i$

Le couplage excitation-contraction _____ mécanismes

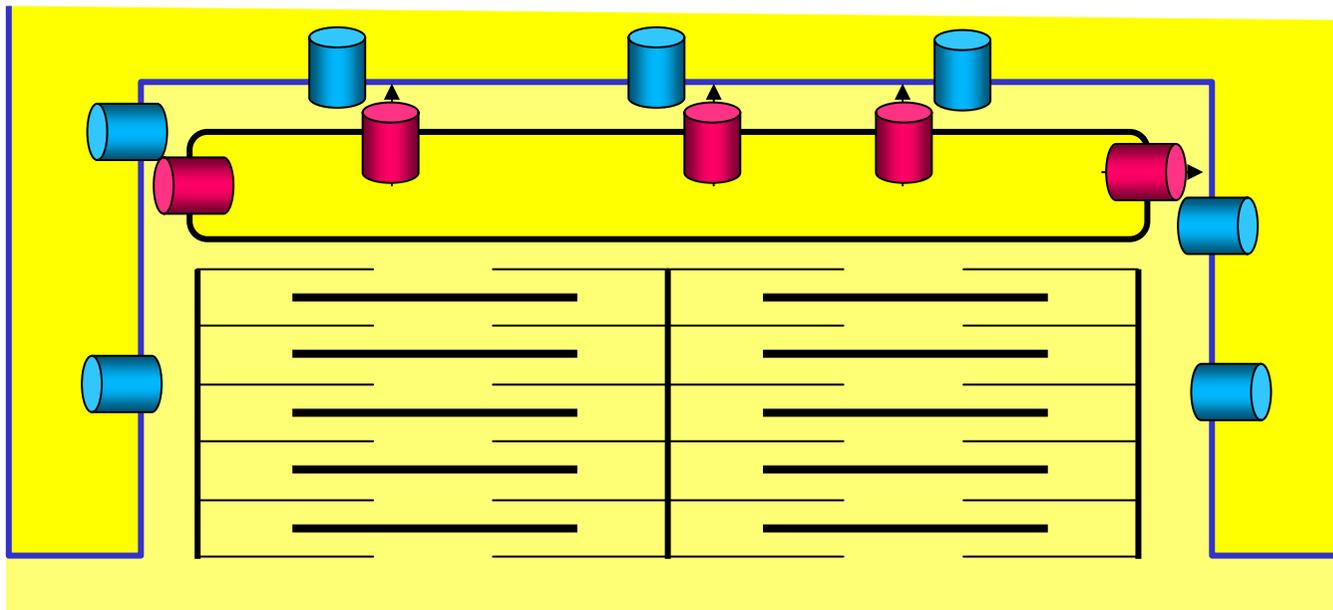
excitation-contraction

stimulation → potentiel d'action → ouverture des VOC

→ entrée de Ca^{2+} dans la cellule

→ ouverture des RRY

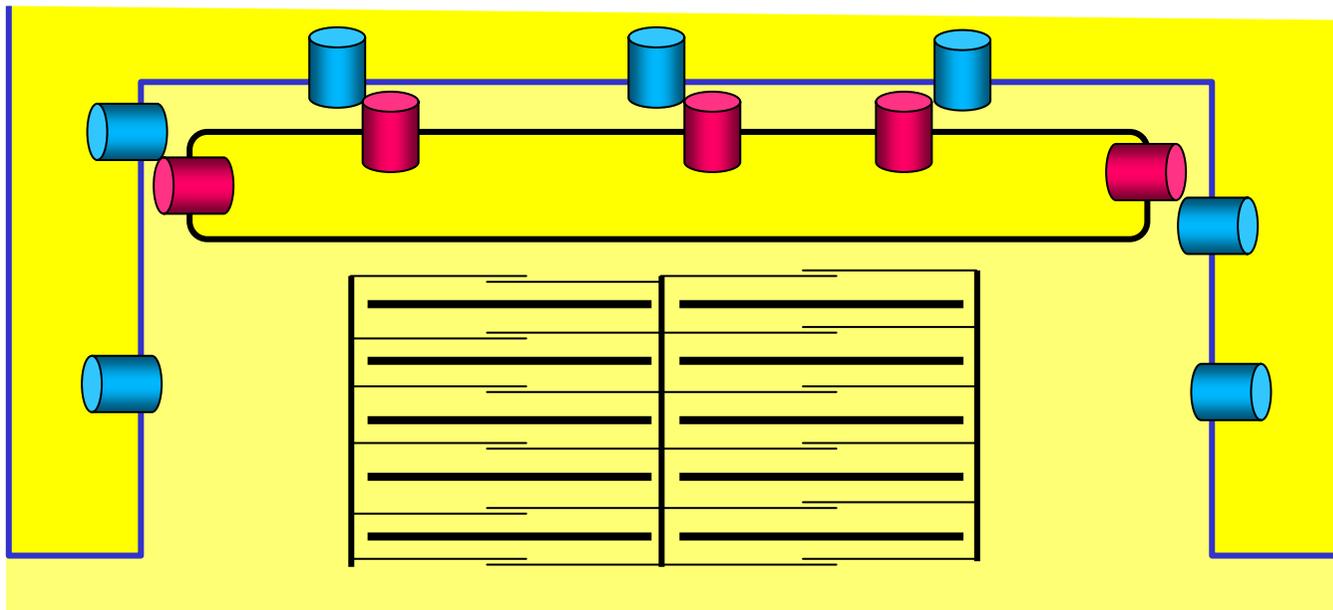
→ libération de calcium du RS



Le couplage excitation-contraction _____ mécanismes

excitation-contraction

- stimulation → potentiel d'action → ouverture des VOC**
- entrée de Ca^{2+} dans la cellule**
- ouverture des RRY**
- libération de calcium du RS**
- contraction**



Le couplage excitation-contraction _____ muscle cardiaque & muscle lisse

muscle cardiaque

**jonctions serrées : transmission du PA de cellule à cellule
potentile d'action calcique**

libération du Ca^{2+} du RS :

pas de couplage direct VOC-RRy

activation des RRy par l'élévation initiale de Ca^{2+} due aux VOC

modulation neurohormonale de l'intensité de la contraction

Le couplage excitation-contraction _____ muscle cardiaque & muscle lisse

muscle lisse

muscle mono-unitaire

jonctions serrées : transmission du PA de cellule à cellule

muscle pluri-unitaire

dépolarisation mais pas de potentiel d'action

couplage électromécanique

stimulation

- dépolarisation membranaire (avec ou sans PA)
- ouverture des canaux calciques sensibles au potentiel
- ouverture des VOC et des R_{Ry}

couplage pharmacomécanique

stimulation

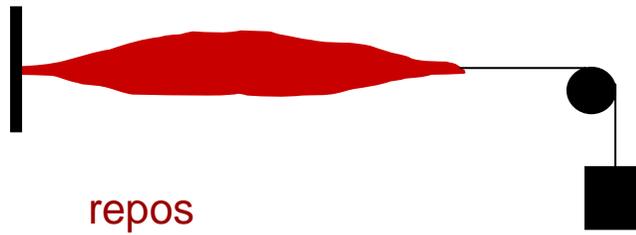
- activation d'un récepteur membranaire
- réaction enzymatique et production de messagers intercellulaires
- libération de Ca²⁺ du RS et/ou influx de Ca²⁺ extracellulaire

modulation neurohormonale de l'intensité de la contraction

biophysique de la contraction _____ les différents types de contraction

les différents types de contraction

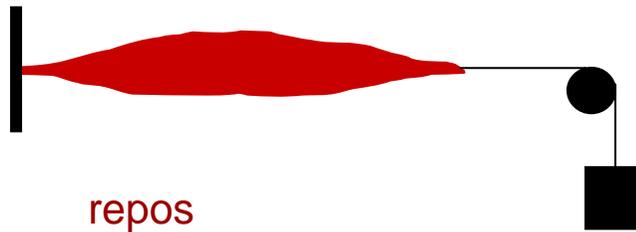
contraction isométrique : contraction qui s'effectue à longueur constante



biophysique de la contraction _____ les différents types de contraction

les différents types de contraction

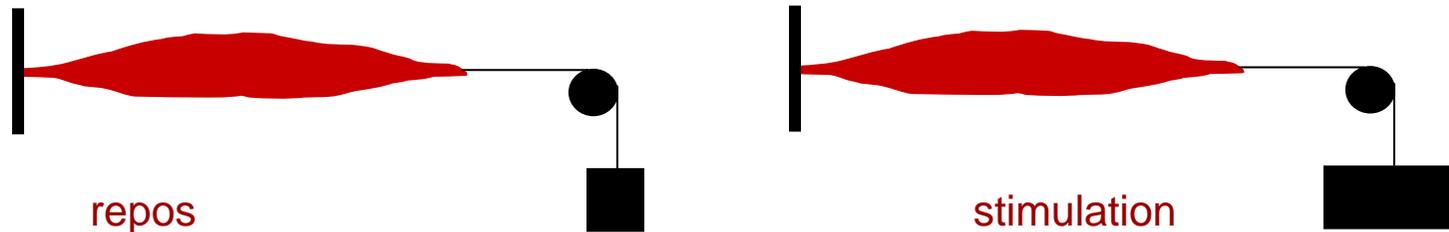
contraction isométrique : contraction qui s'effectue à longueur constante



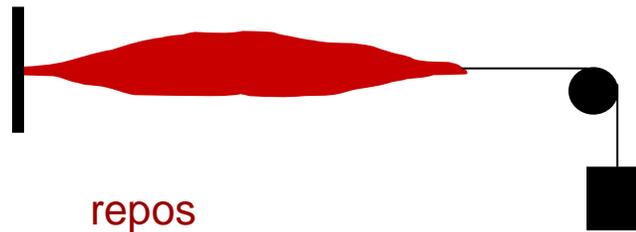
biophysique de la contraction _____ les différents types de contraction

les différents types de contraction

contraction isométrique : contraction qui s'effectue à longueur constante



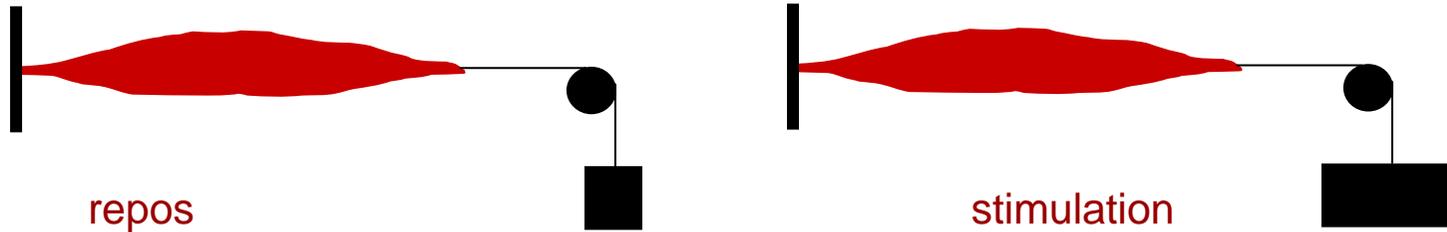
contraction isotonique : contraction qui s'effectue à charge constante



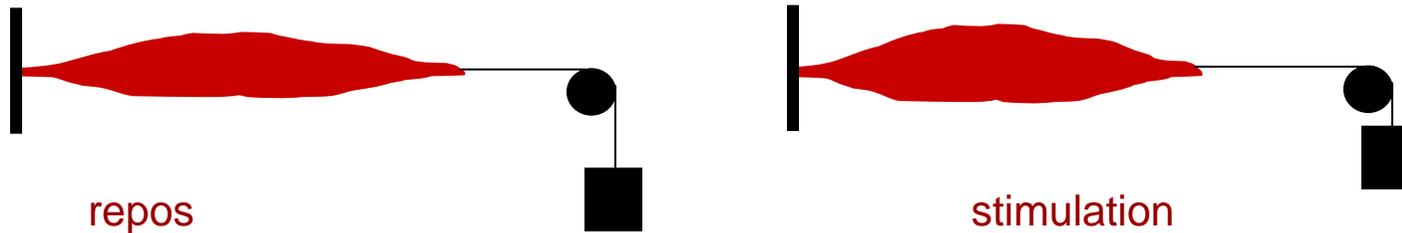
biophysique de la contraction _____ les différents types de contraction

les différents types de contraction

contraction isométrique : contraction qui s'effectue à longueur constante

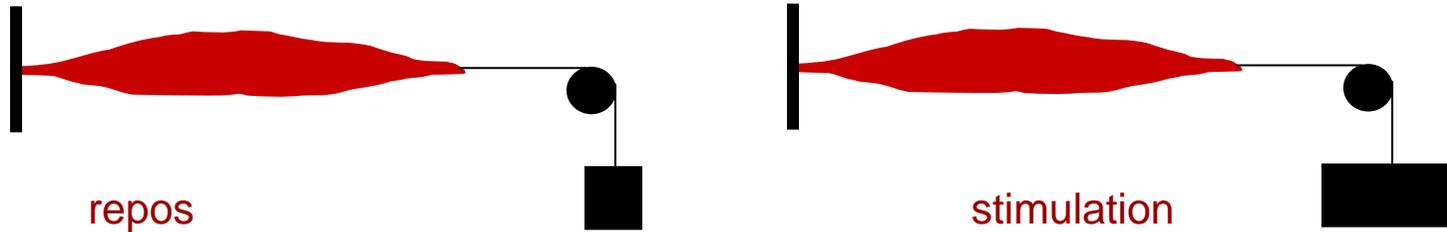


contraction isotonique : contraction qui s'effectue à charge constante

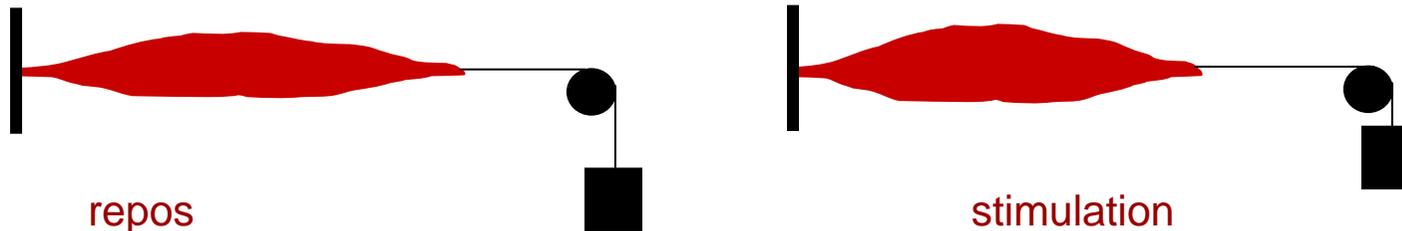


les différents types de contraction

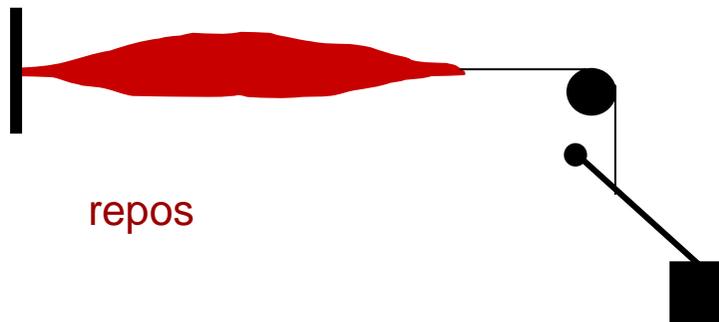
contraction isométrique : contraction qui s'effectue à longueur constante



contraction isotonique : contraction qui s'effectue à charge constante

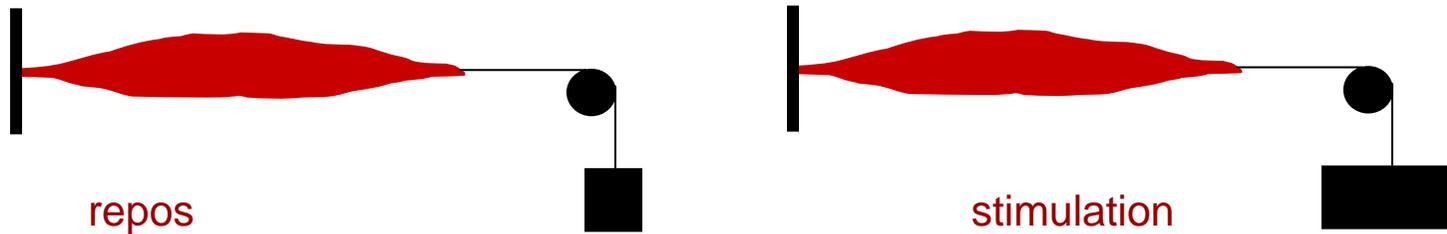


contraction auxotonique : contraction qui s'effectue à charge et longueur variables

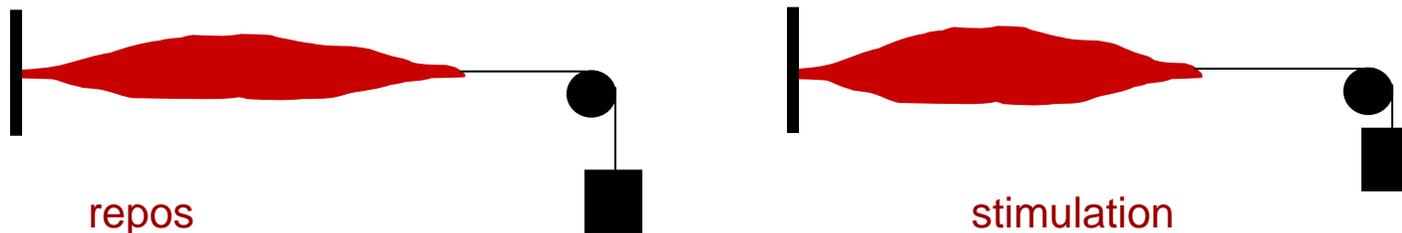


les différents types de contraction

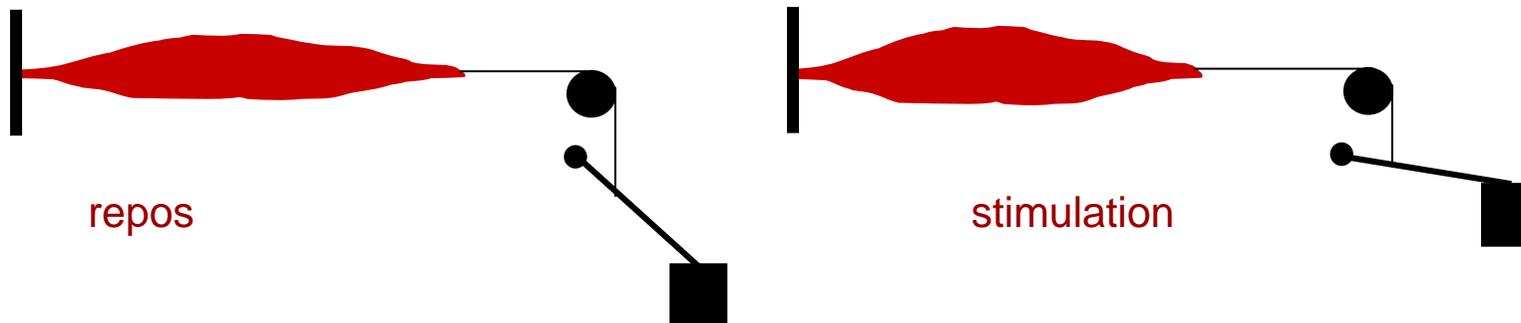
contraction isométrique : contraction qui s'effectue à longueur constante



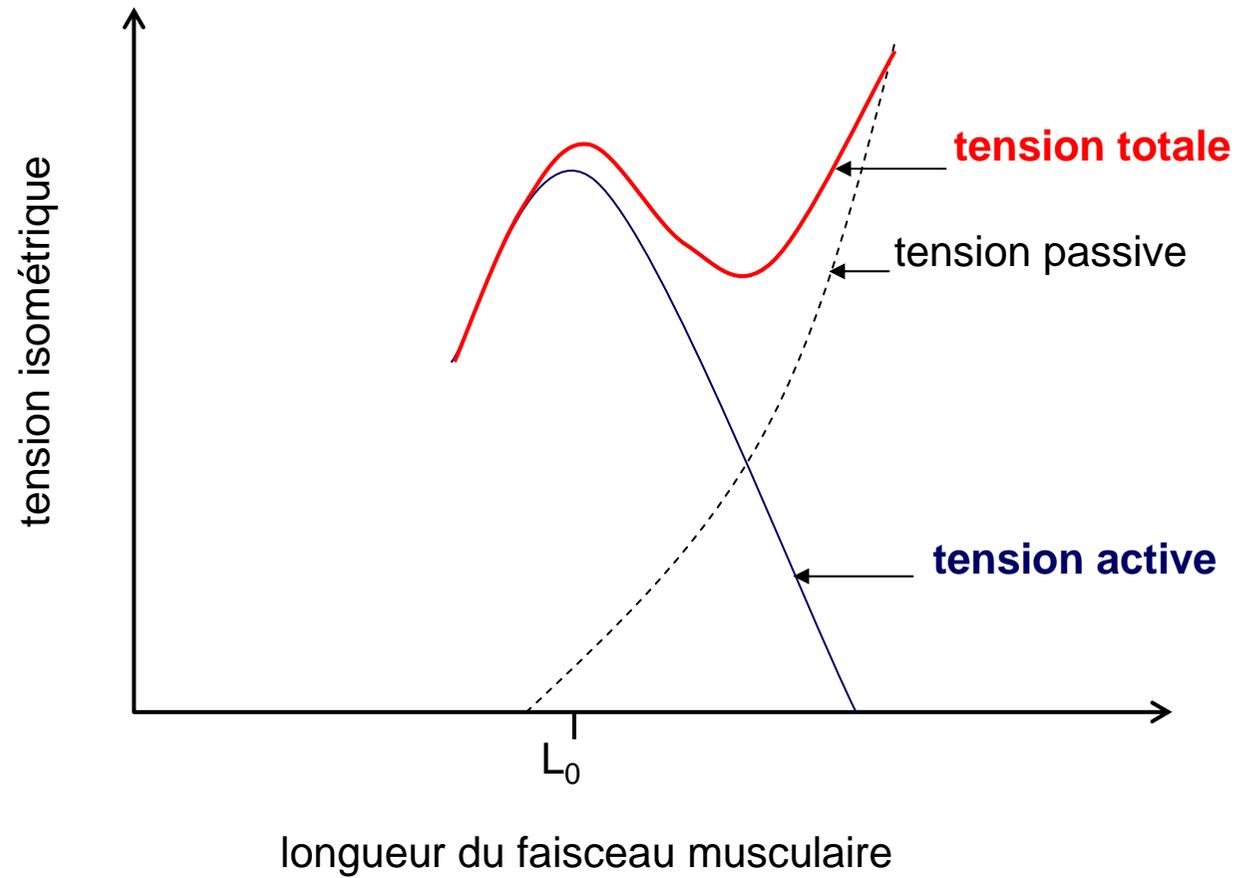
contraction isotonique : contraction qui s'effectue à charge constante



contraction auxotonique : contraction qui s'effectue à charge et longueur variables



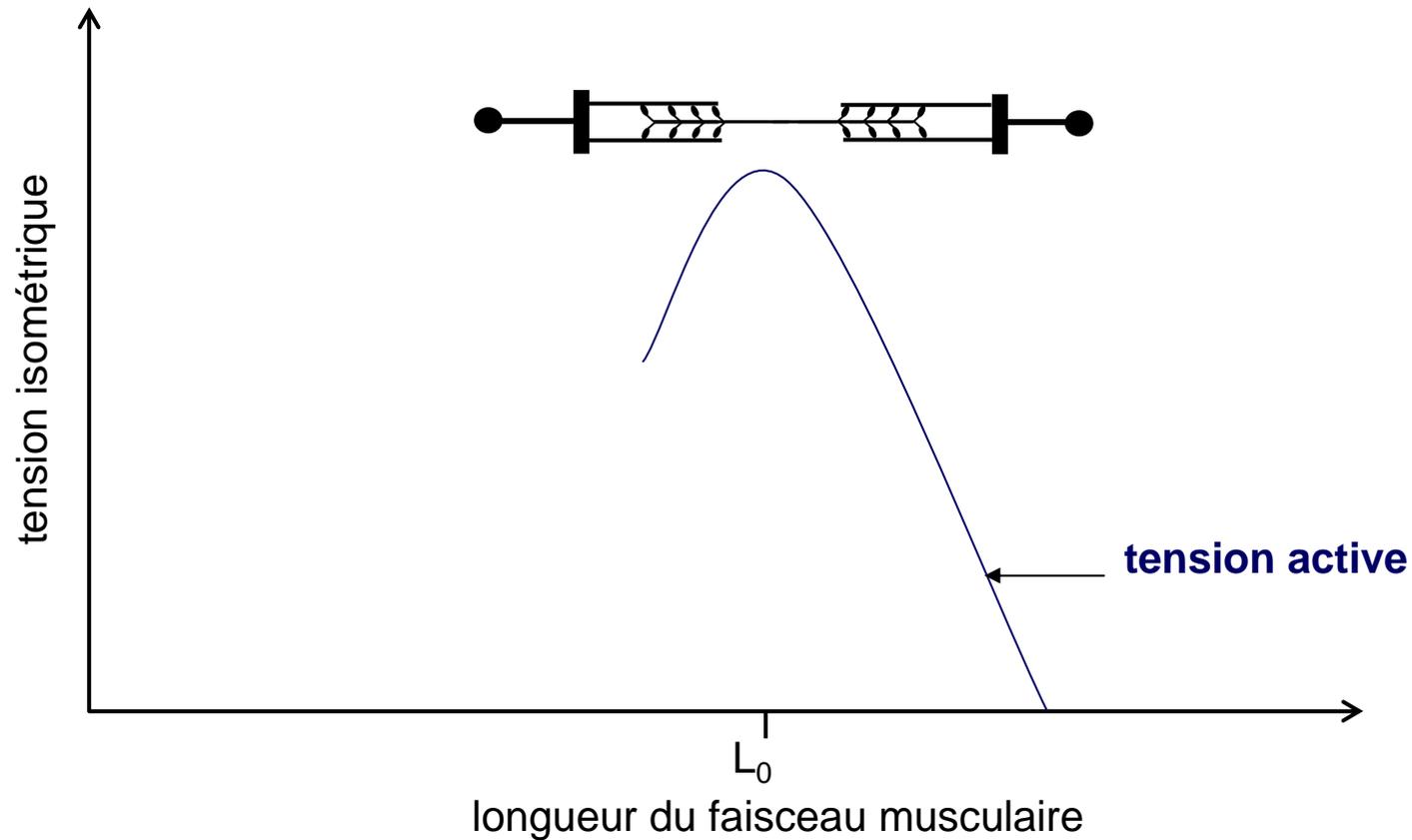
biophysique de la contraction _____ relation longueur-tension



L_0 : longueur du muscle pour lequel la tension générée est maximale

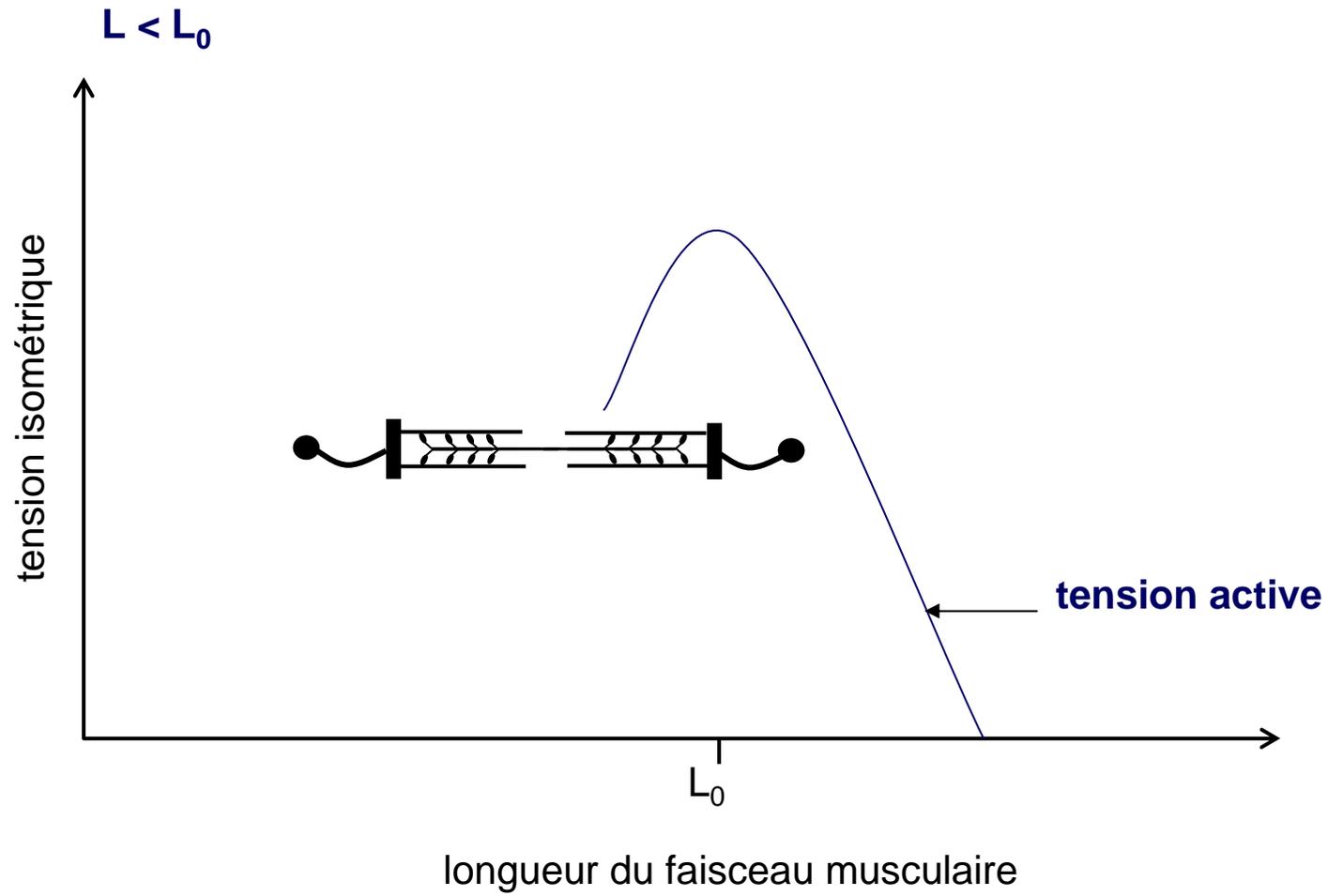
biophysique de la contraction _____ relation longueur-tension

L_0 : longueur du muscle pour lequel la tension générée est maximale



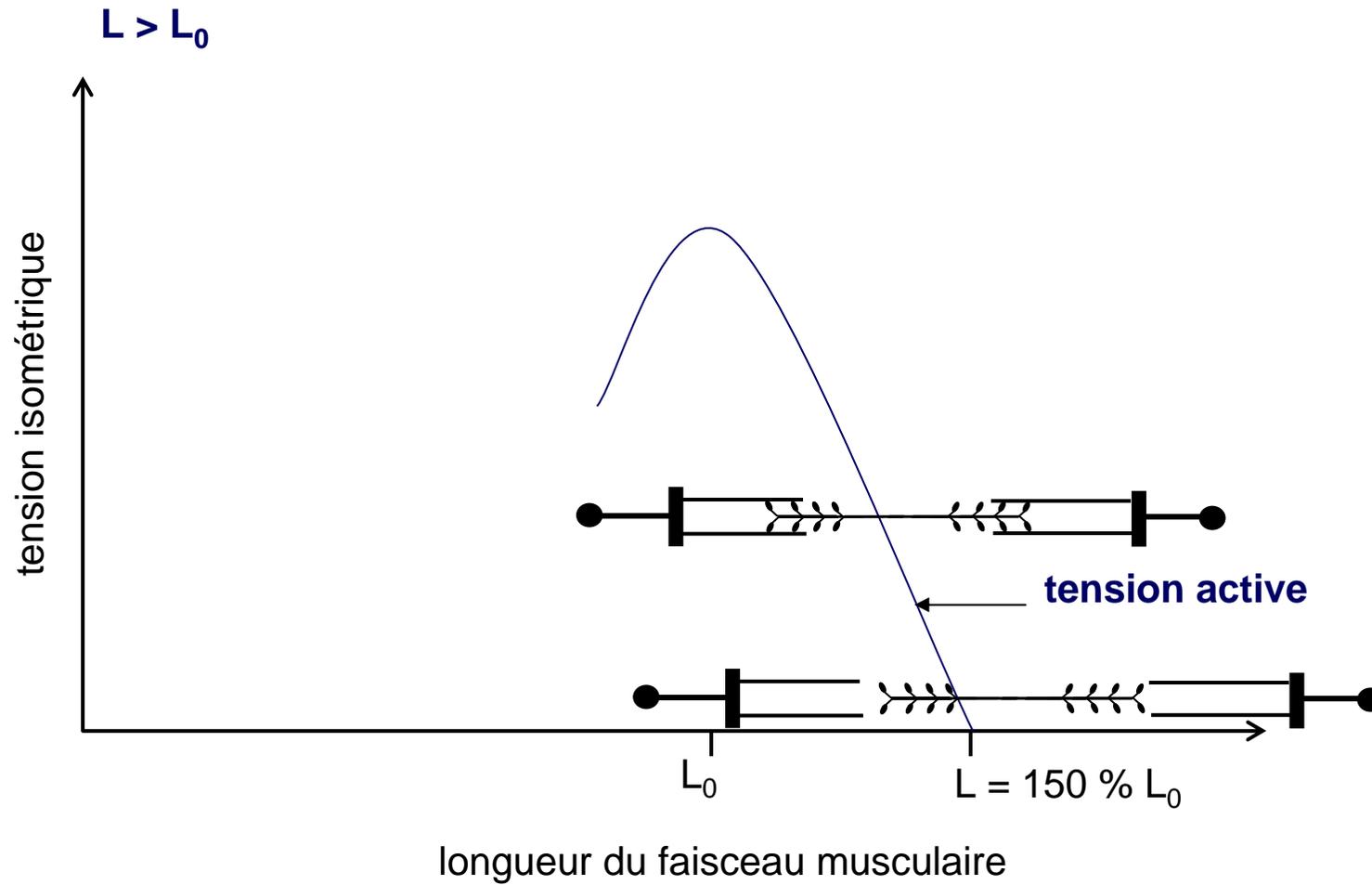
**les éléments élastiques sont sous tension
toutes les têtes de myosine peuvent se lier à l'actine**

biophysique de la contraction _____ relation longueur-tension



les éléments élastiques ne sont pas sous tension

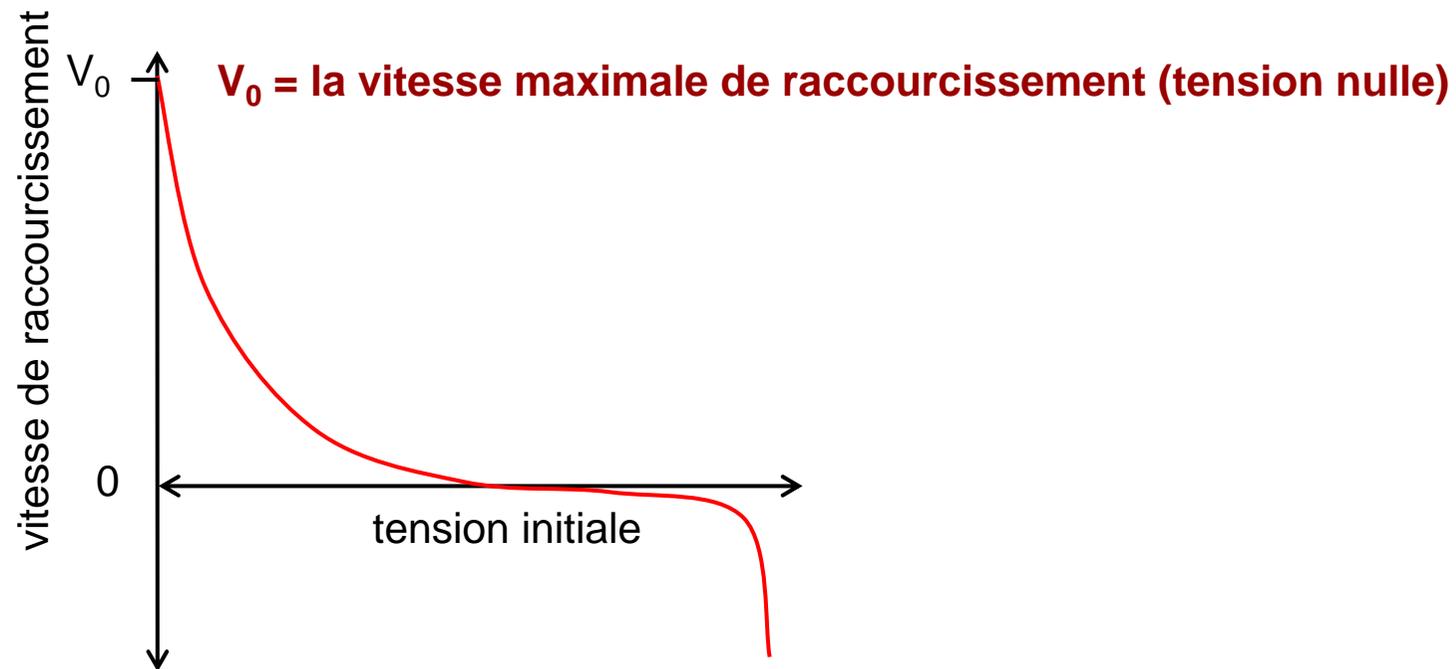
biophysique de la contraction _____ relation longueur-tension



toutes les têtes de myosine ne peuvent pas se lier à l'actine

biophysique de la contraction __ relation tension-vitesse de raccourcissement

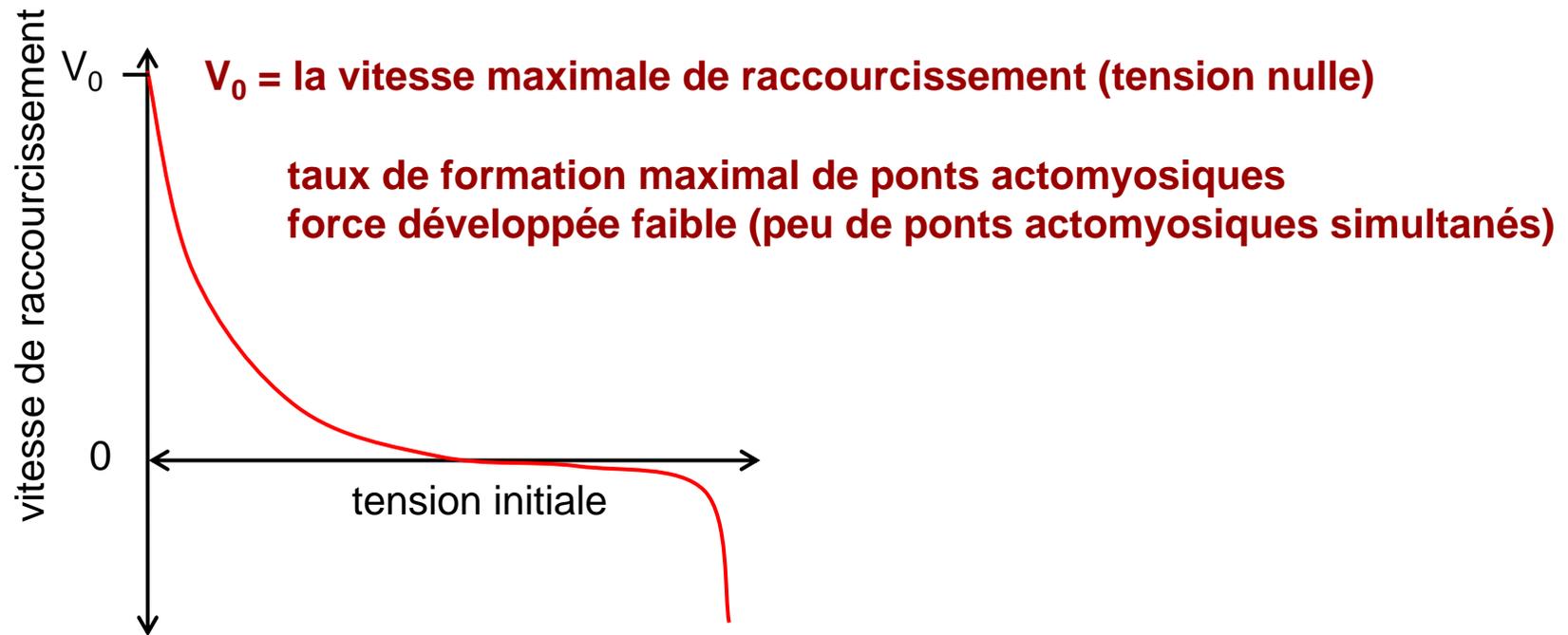
vitesse de raccourcissement V dépend de la tension passive exercée sur le muscle



V : dépend du nombre de sarcomères en série
→ V exprimée par longueur de demi-sarcomère

biophysique de la contraction __ relation tension-vitesse de raccourcissement

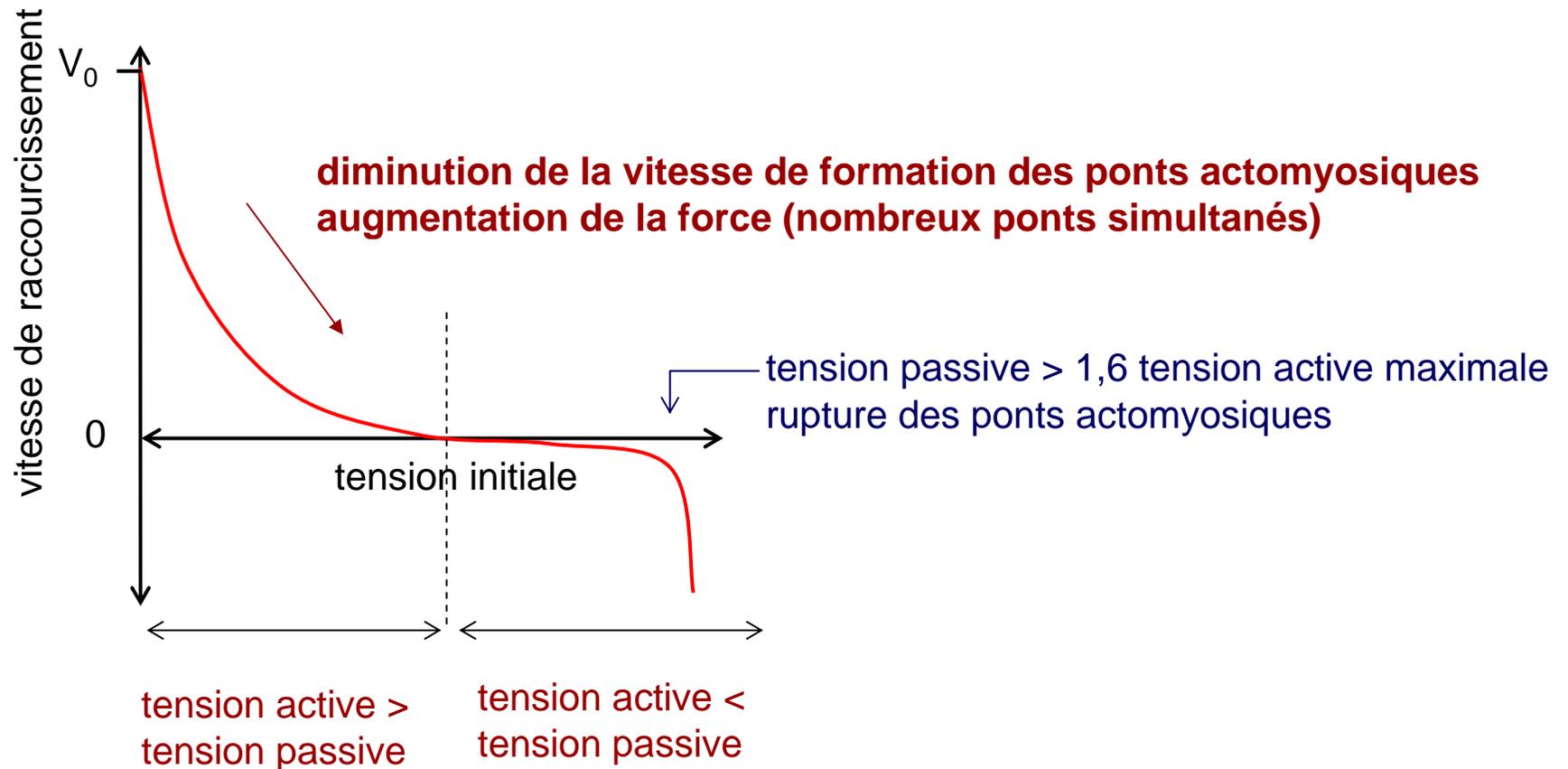
vitesse de raccourcissement V dépend de la tension passive exercée sur le muscle
vitesse d'hydrolyse de l'ATP dépend de la tension passive exercée sur le muscle



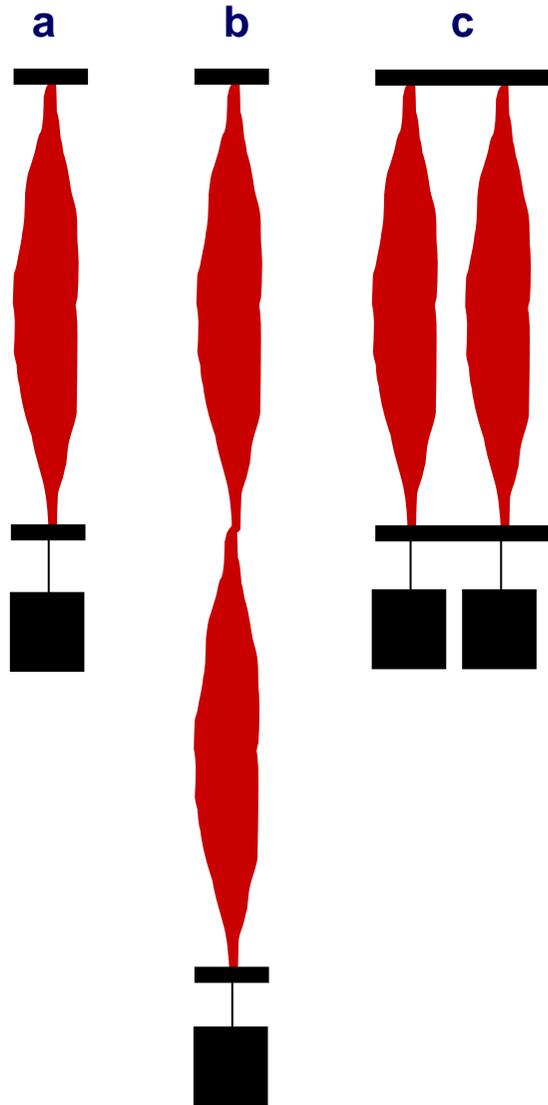
V : dépend du nombre de sarcomères en série
→ V exprimée par longueur de demi-sarcomère

biophysique de la contraction __ relation tension-vitesse de raccourcissement

vitesse de raccourcissement V dépend de la tension passive exercée sur le muscle



biophysique de la contraction _____ force, travail, puissance



force

proportionnelle à la densité de ponts actomyosique

densité des filaments contractiles par surface de section musculaire = constante

la longueur d'un sarcomère = constante (2,5 μm)

→ proportionnelle à l'aire de section d'un muscle
39,3 à 49 N/cm²

→ force a = force b = 1/2 force c

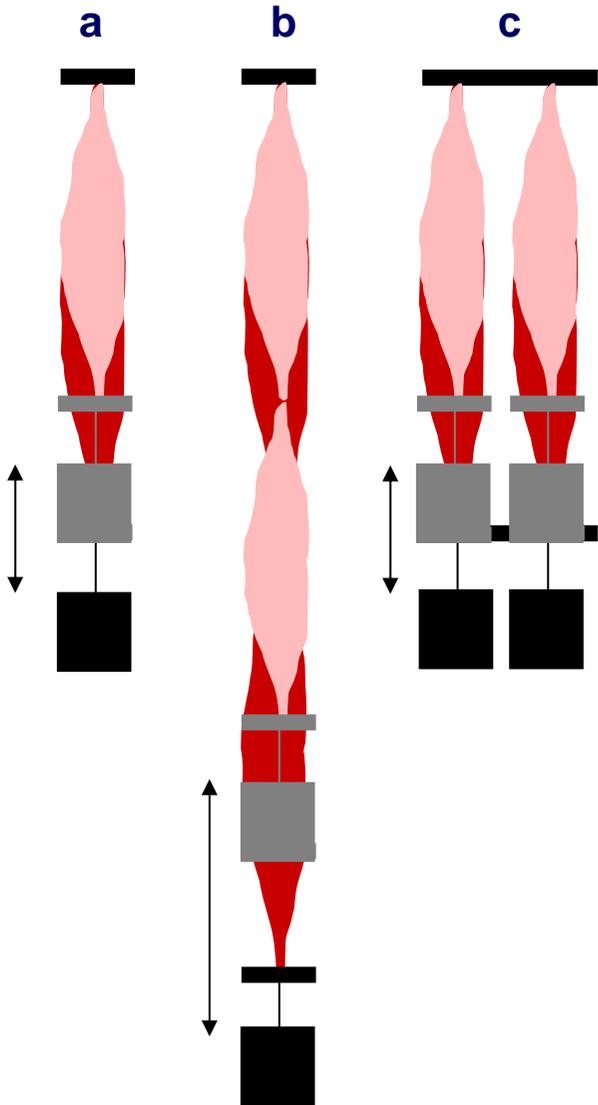
muscle rétracteur de la moule

sarcomère = 25 μm

force maximale générée = 100 N/cm²

biophysique de la contraction _____ force, travail, puissance

travail



travail = force x distance de déplacement

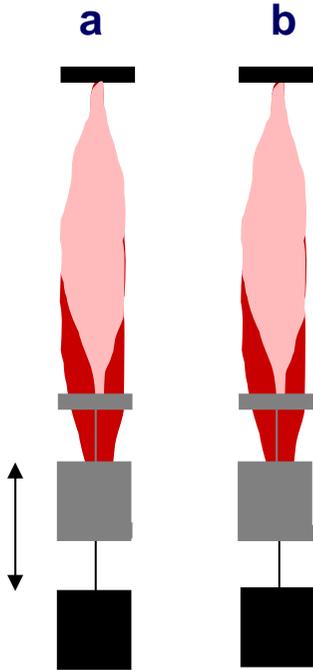
→ travail a = ½ travail b = ½ travail c

travail maximal : généré pour une force équivalent à 40 % de la forece maximale

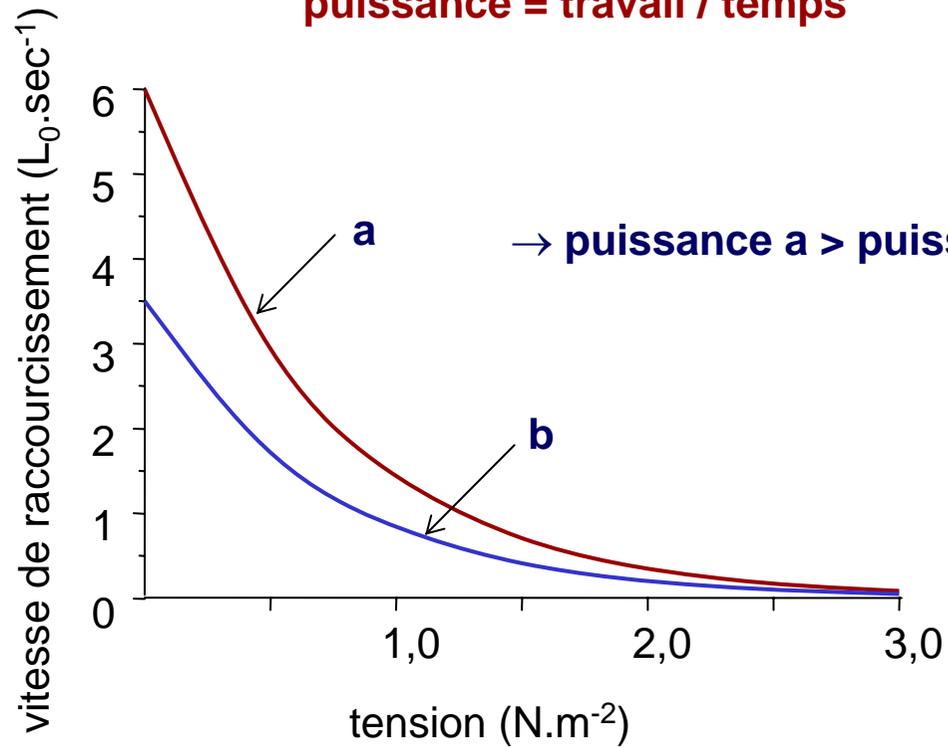
(si la force augmente, le raccourcissement diminue)

biophysique de la contraction _____ force, travail, puissance

puissance

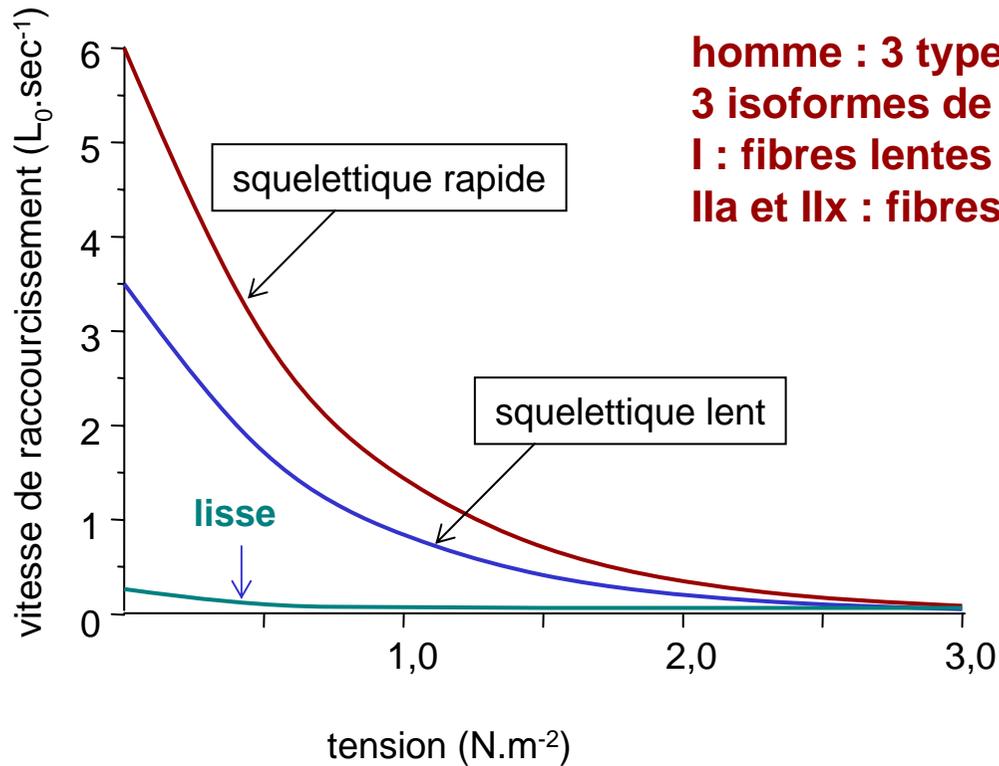


puissance = force x vitesse de raccourcissement
puissance = travail / temps



fibres lentes, fibres rapides

vitesse de contraction : cinétique de l'activité ATPasique de la myosine



homme : 3 types de fibres musculaires squelettiques
3 isoformes de la myosine
I : fibres lentes
IIa et IIx : fibres rapides (IIx > IIa)

fibres lentes, fibres rapides

facteurs génétiques

plasticité musculaire

entraînement : IIX → IIA + hypertrophie musculaire

exercice intensif : I → IIA

innervation : paralysie → disparition des fibres lentes

âge : fibres rapides → fibres lentes

fibres ($\mu\text{m}^2/\text{fibre}$)	I	IIa	IIx
marathoniens	4800	4500	4600
sprinters	5000	7300	5900