

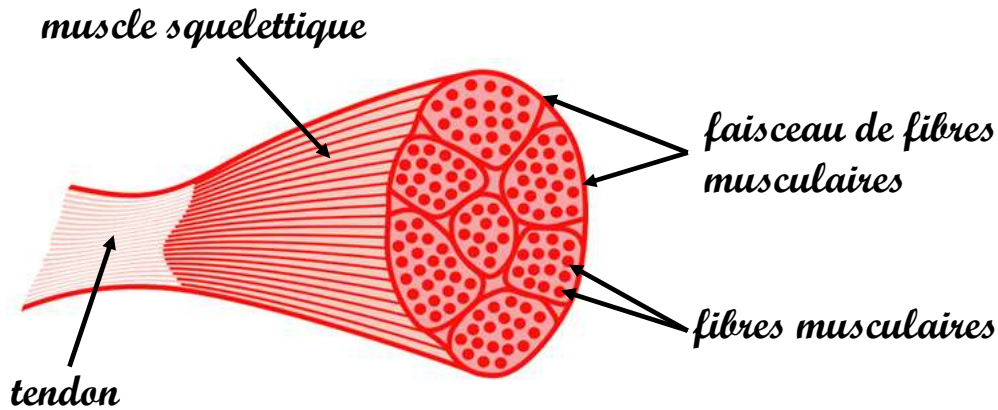
L'activité musculaire

Introduction :

Le message nerveux efférent conduit par les motoneurones α provoquent la contraction du muscle étiré : l'activité électrique (message nerveux) est convertie en une activité mécanique (la contraction)

Comment l'énergie électrique est convertie en une énergie mécanique.

La structure du muscle squelettique



Le muscle squelettique est formé des fibres musculaires cylindriques organisées en faisceaux

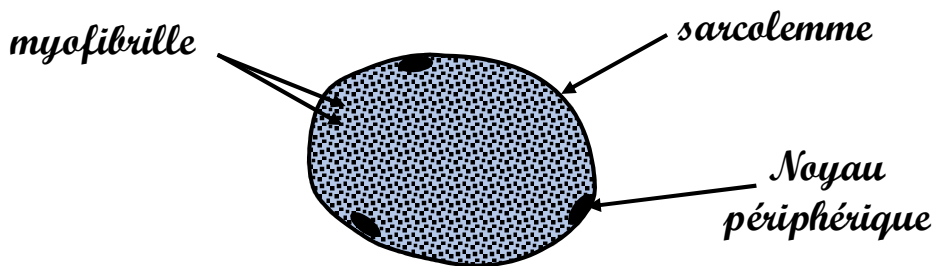
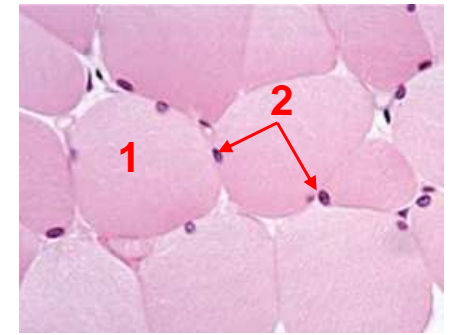
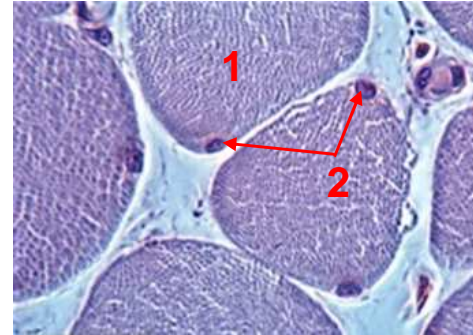
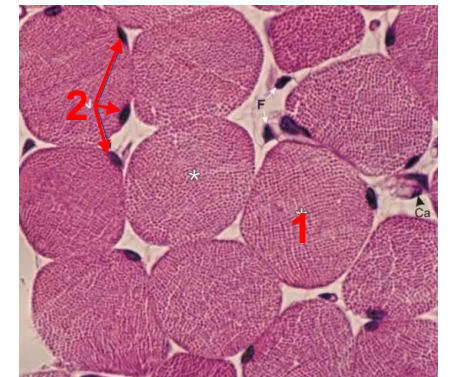


Schéma d'une coupe transversale d'une fibre musculaire

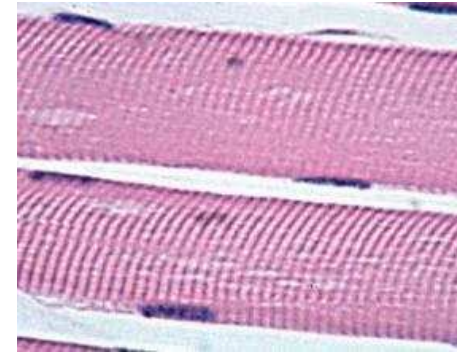
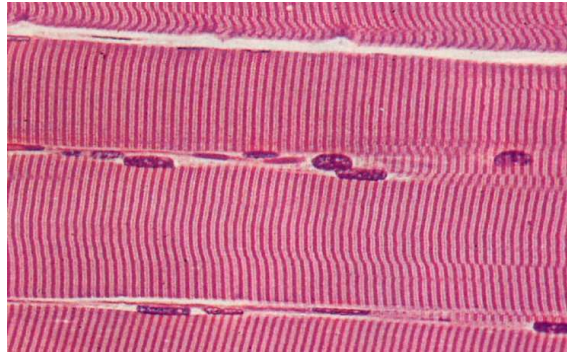
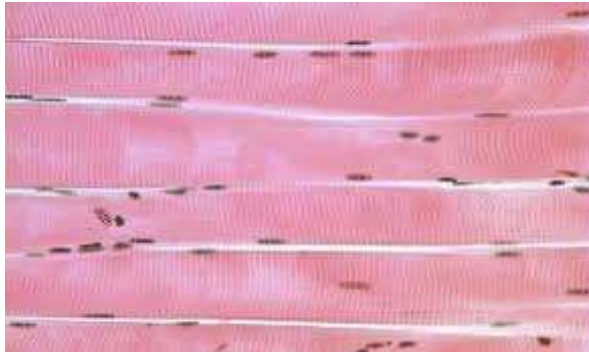


1: fibre musculaire
2: noyaux périphériques



Coupes transversales d'un muscle squelettique

La structure du muscle squelettique



Fibre musculaire

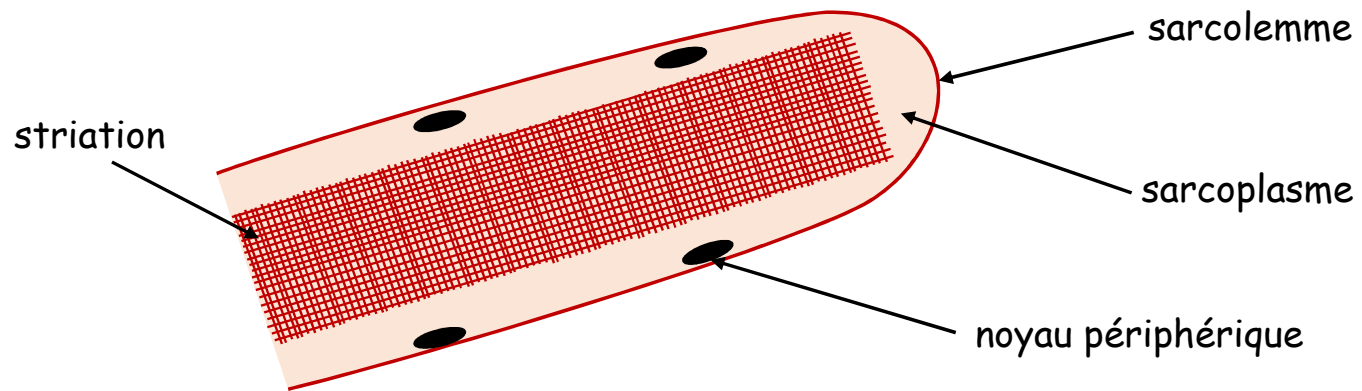
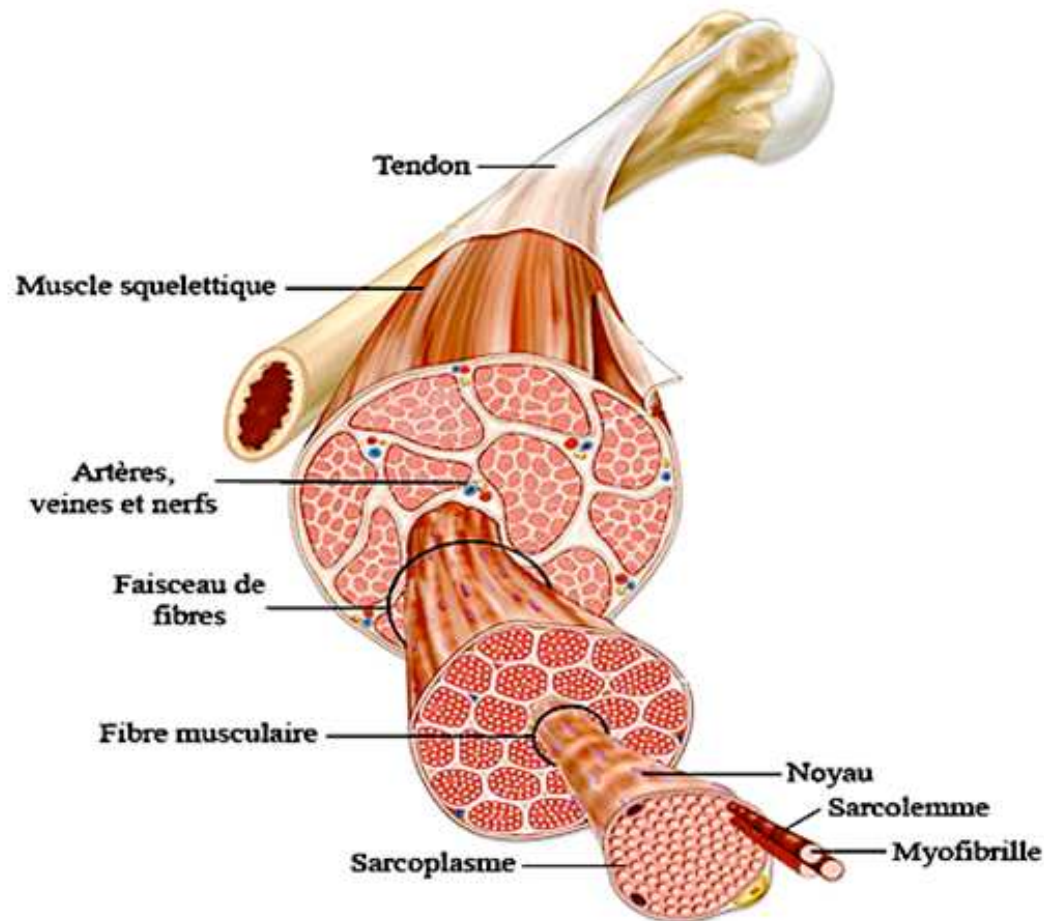


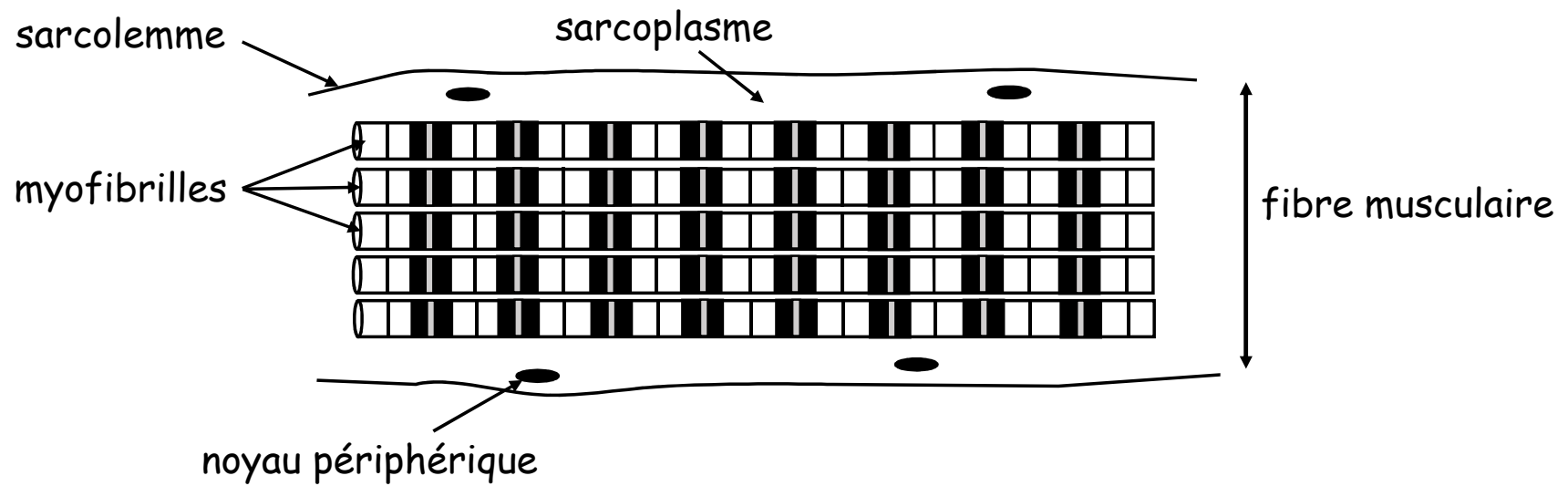
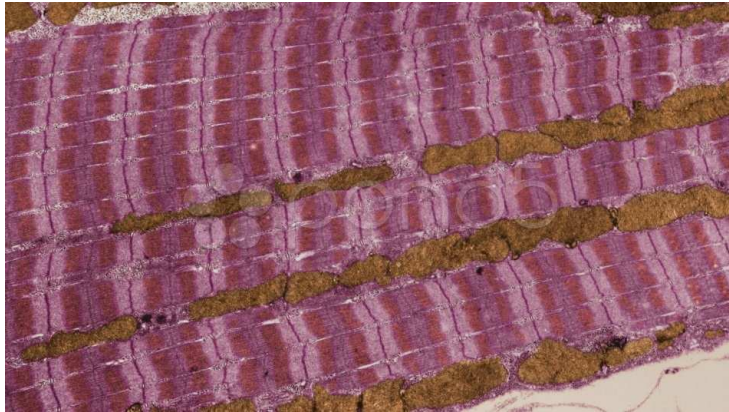
Schéma d'une coupe longitudinale d'une fibre musculaire striée

La structure du muscle squelettique

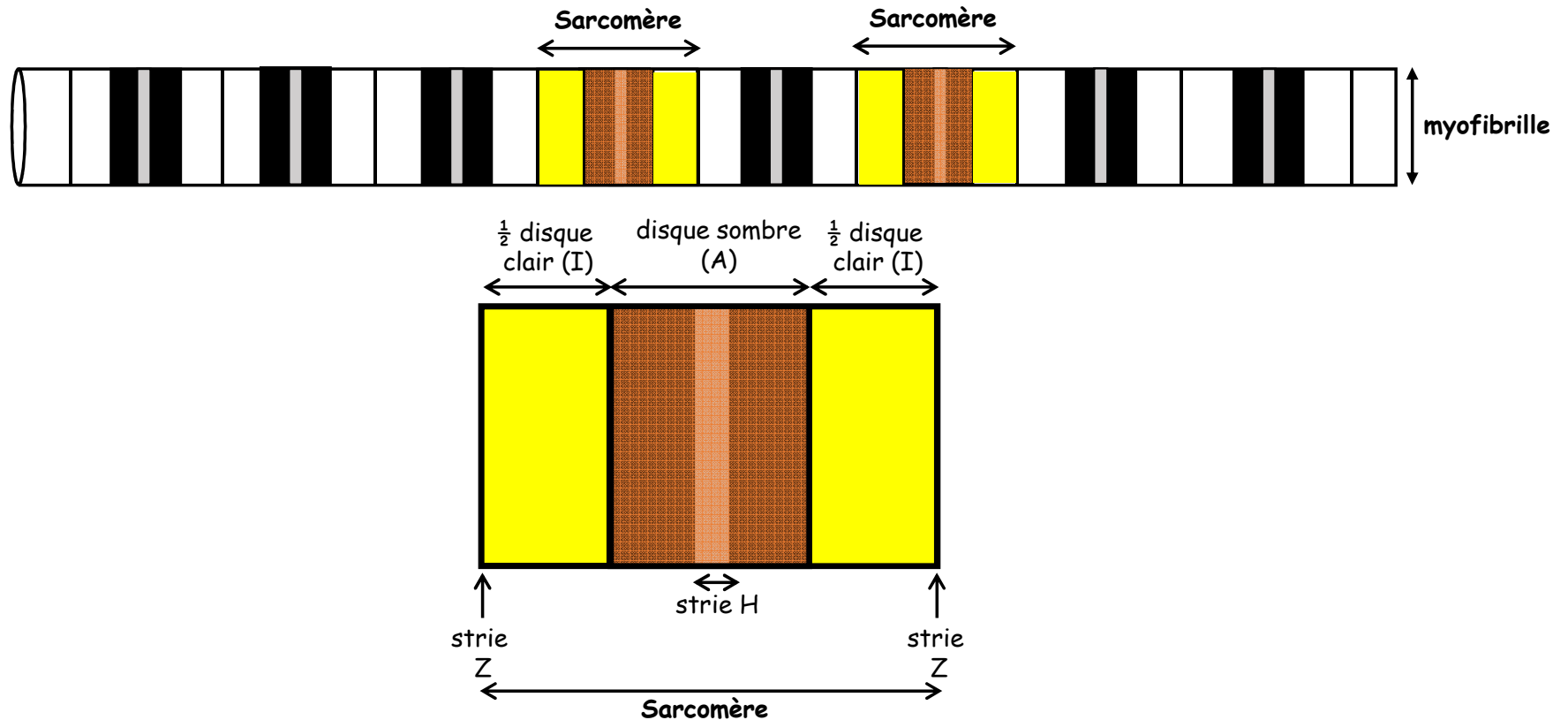


Le muscle squelettique est formé de fibres musculaires. Chaque fibre musculaire est une cellule musculaire constituée d'un cytoplasme appelé sarcoplasme limité d'une membrane appelée sarcolemme. Le sarcoplasme contient des noyaux périphériques et des myofibrilles

La structure du muscle squelettique

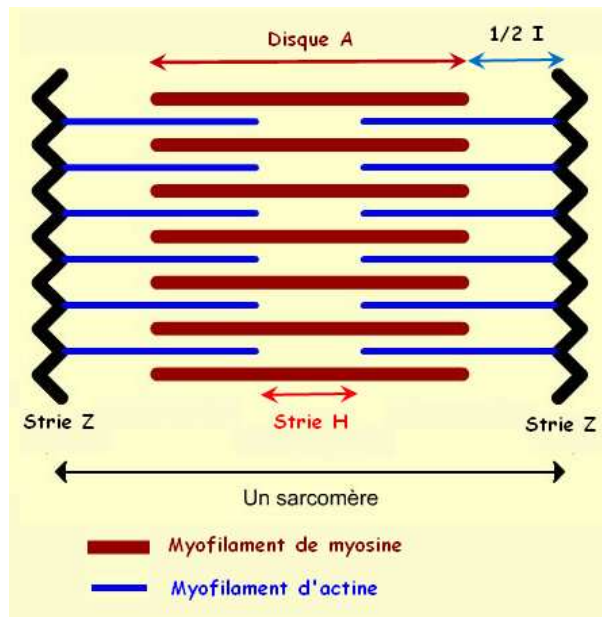
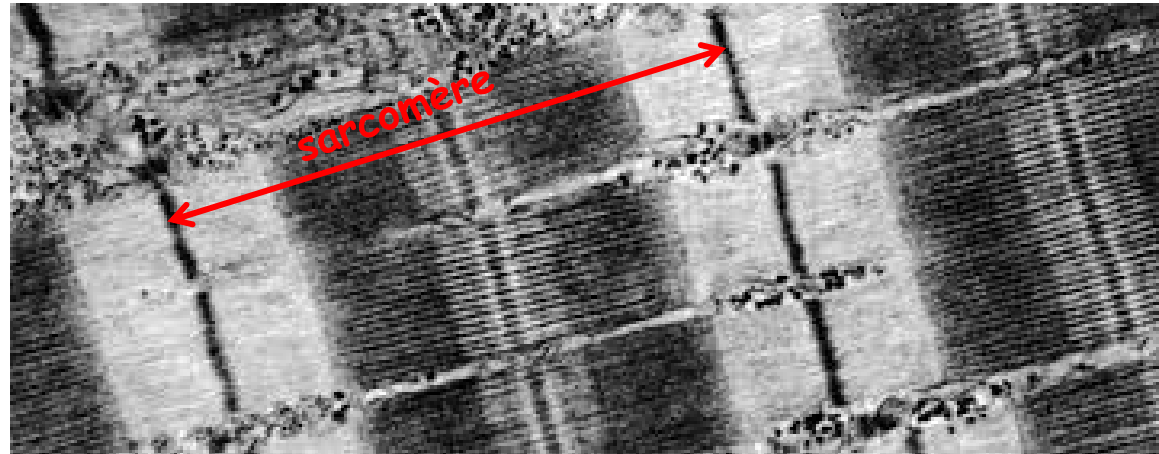
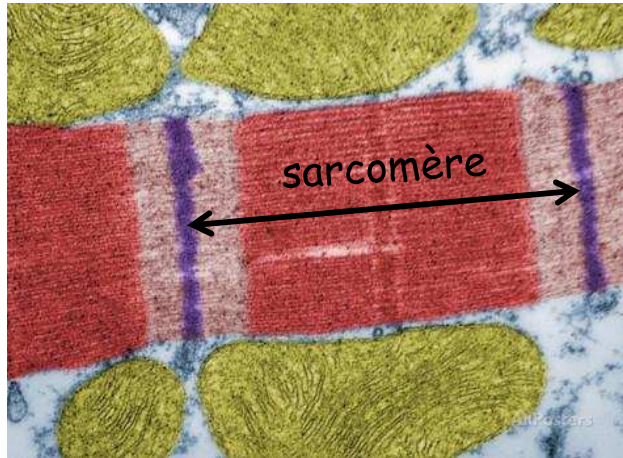


La structure du muscle squelettique



Chaque myofibrille est constituée d'une alternance des disques sombres (bande A) et des disques clairs (bandes I). Chaque disque clair est divisé au milieu par un trait nommé **strie Z**. La zone entre deux stries Z successifs s'appelle un sarcomère. **Le sarcomère ($\frac{1}{2}I + A + \frac{1}{2}I$)** représente **l'unité fonctionnelle** du muscle squelettique

L'ultrastructure du muscle squelettique



Chaque myofibrille est constituée des myofilaments protéiques.

► Les myofilaments épais de myosine sont présents uniquement au niveau des bandes sombres (A)

► Les myofilaments fins d'actine sont absents uniquement au niveau des stries H
Les myofilaments de myosine et d'actines sont disposés selon des hexagones donnant la structure hexagonale du muscle squelettique.

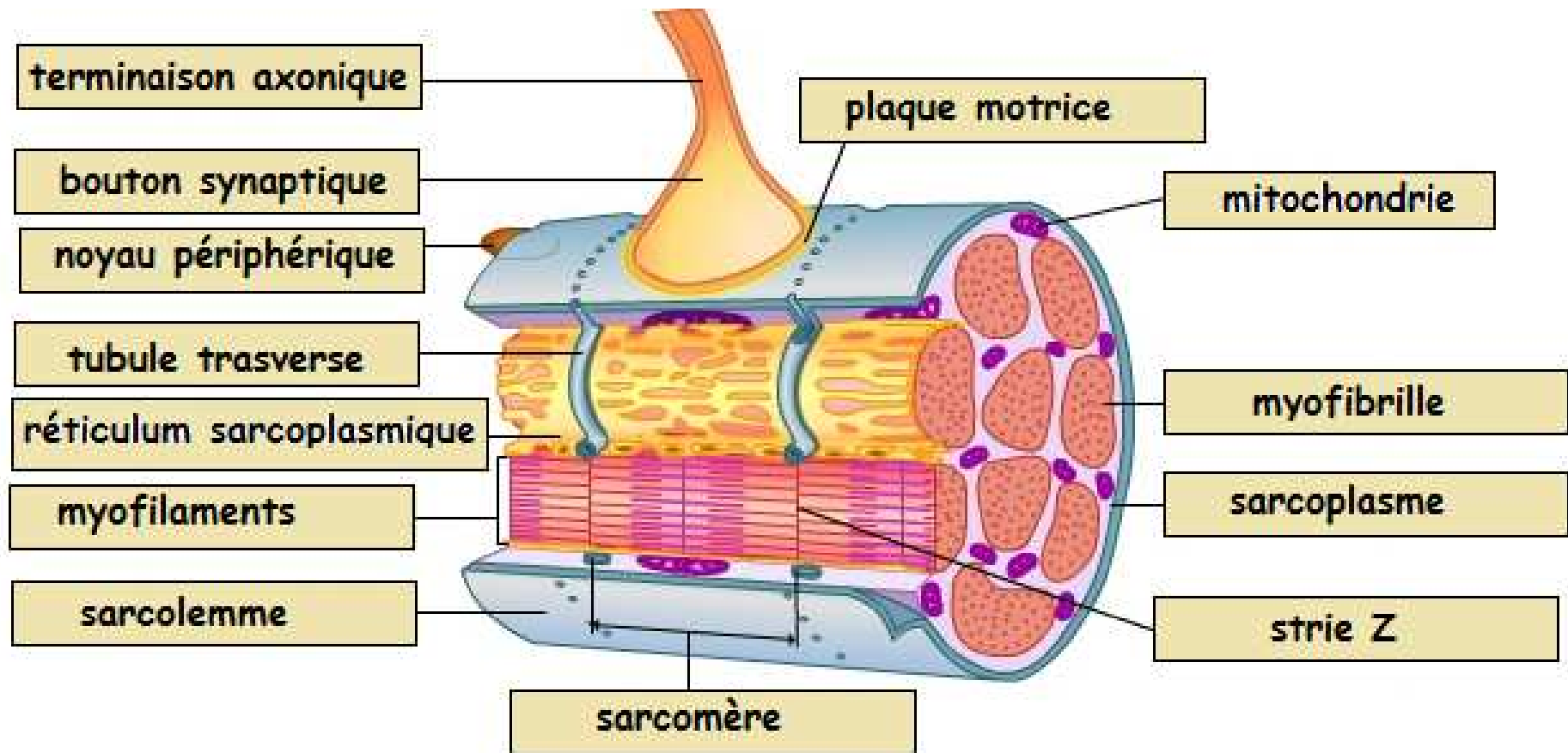
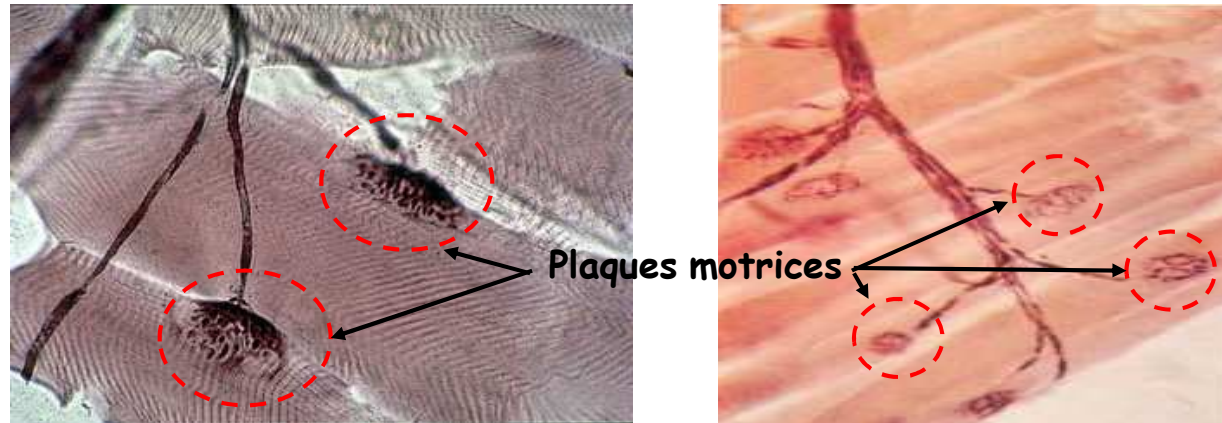
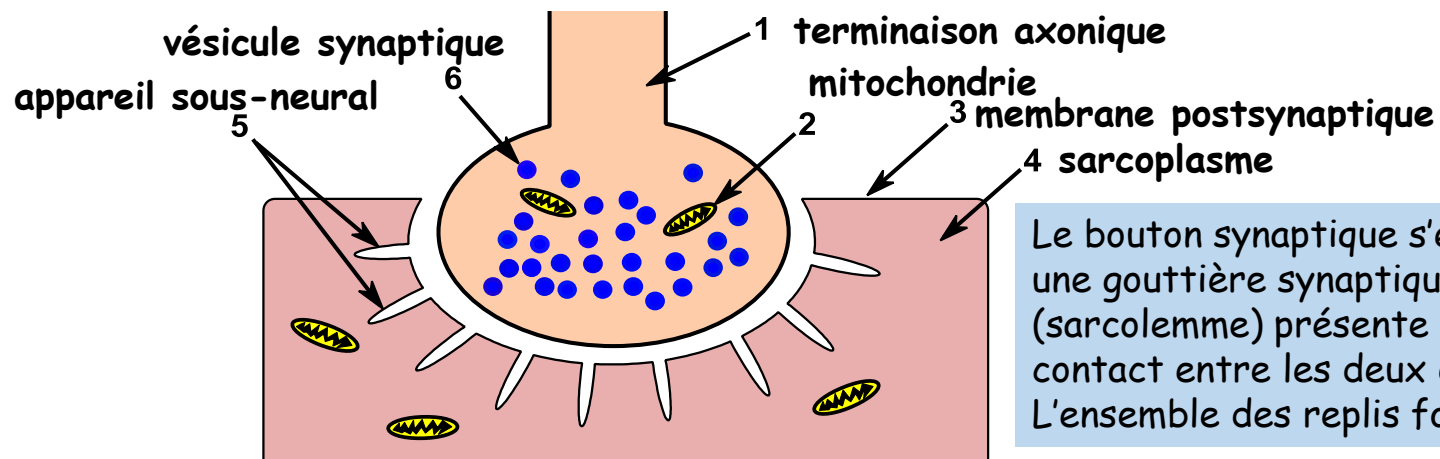


Schéma de l'ultrastructure d'une fibre musculaire squelettique

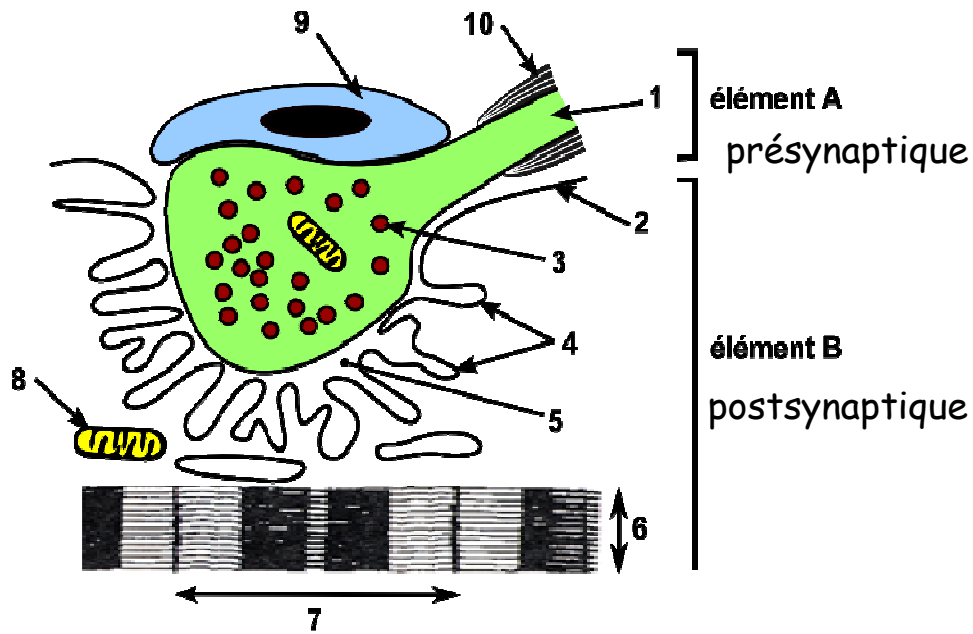
La synapse neuromusculaire ou la plaque motrice



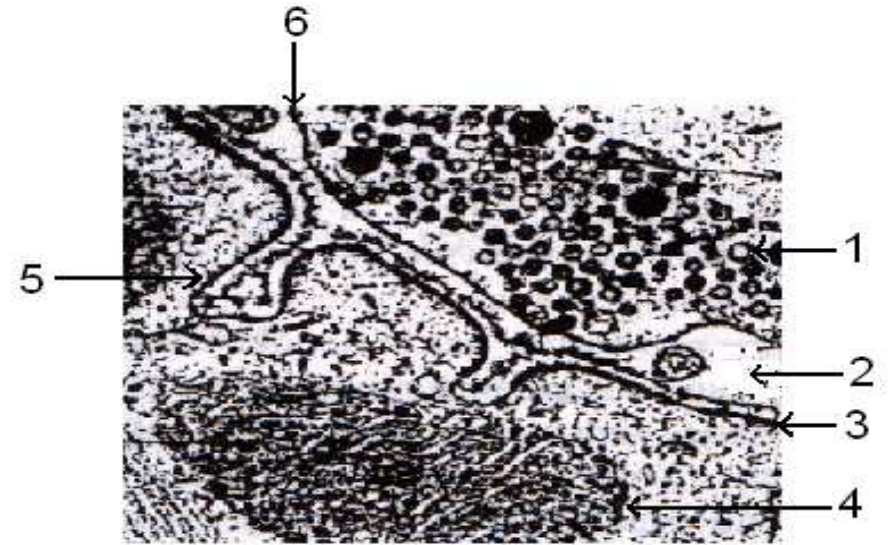
La synapse neuromusculaire ou la plaque motrice est une jonction entre un élément pré-synaptique (bouton synaptique) et un élément post-synaptique (fibre musculaire). La plaque motrice assure la transmission unidirectionnelle de l'influx nerveux de la terminaison nerveuse vers la fibre musculaire.



Le bouton synaptique s'enfonce dans la fibre musculaire formant une gouttière synaptique. La membrane postsynaptique (sarcolemme) présente des replis augmentant la surface de contact entre les deux éléments pré et post-synaptique. L'ensemble des replis forment l'appareil sous-neural

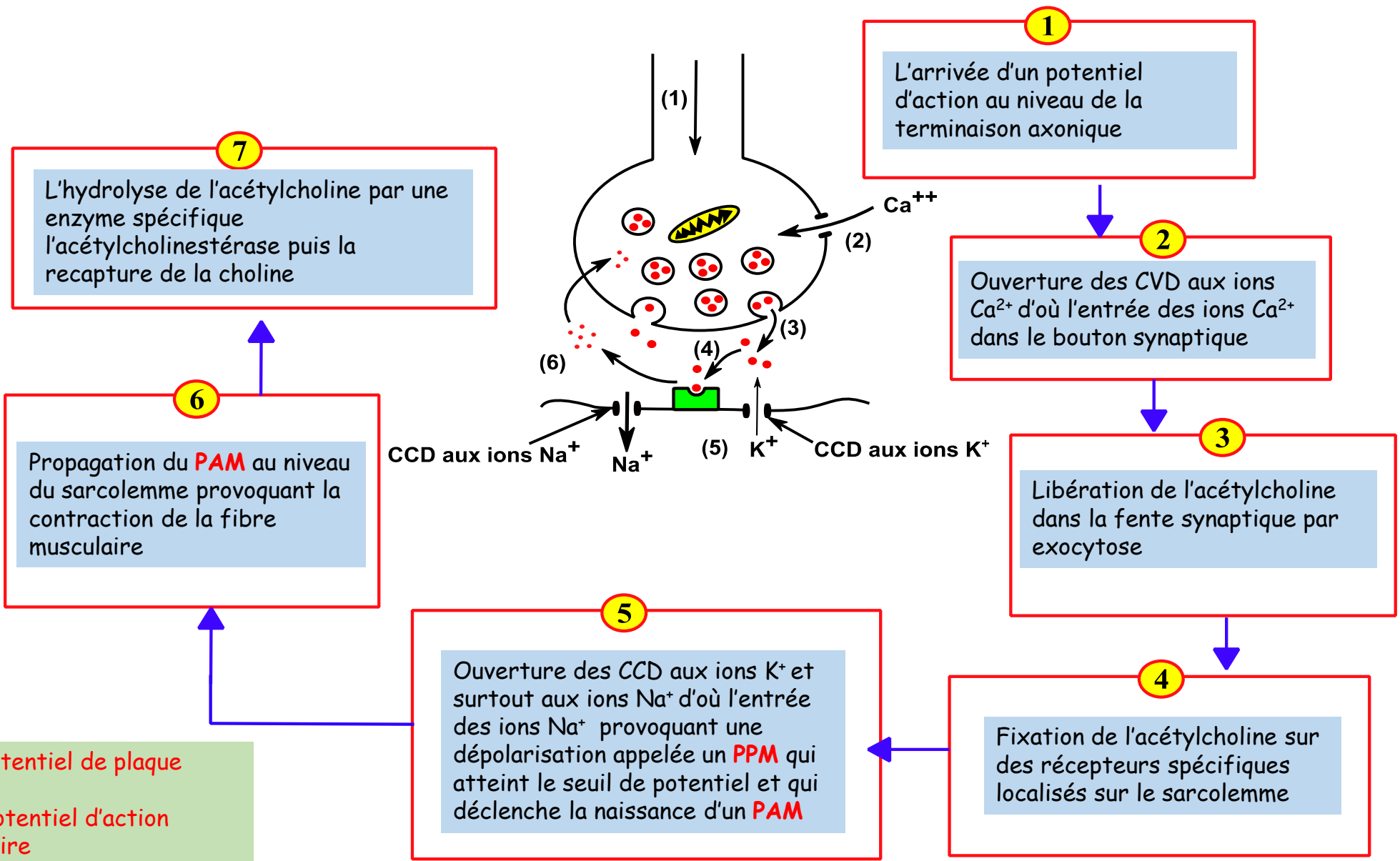


- 1: terminaison axonique; 2: membrane postsynaptique
 3: vésicule synaptique; 4: appareil sous neural
 5: fente synaptique; 6: myofibrille
 7: sarcomère; 8: mitochondrie
 9: gaine de Schwann; 10: gaine de myéline

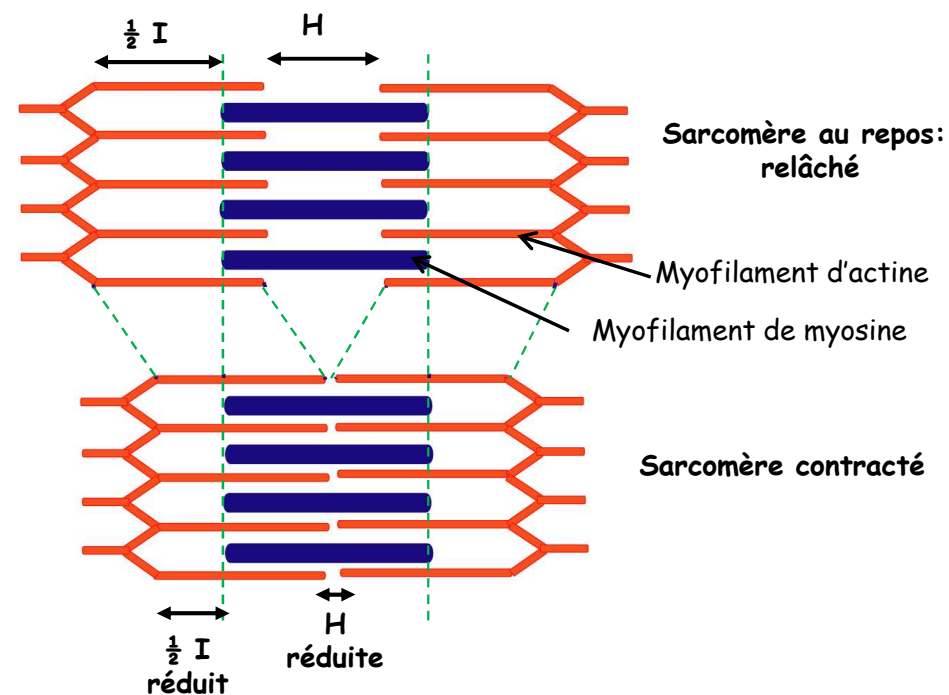
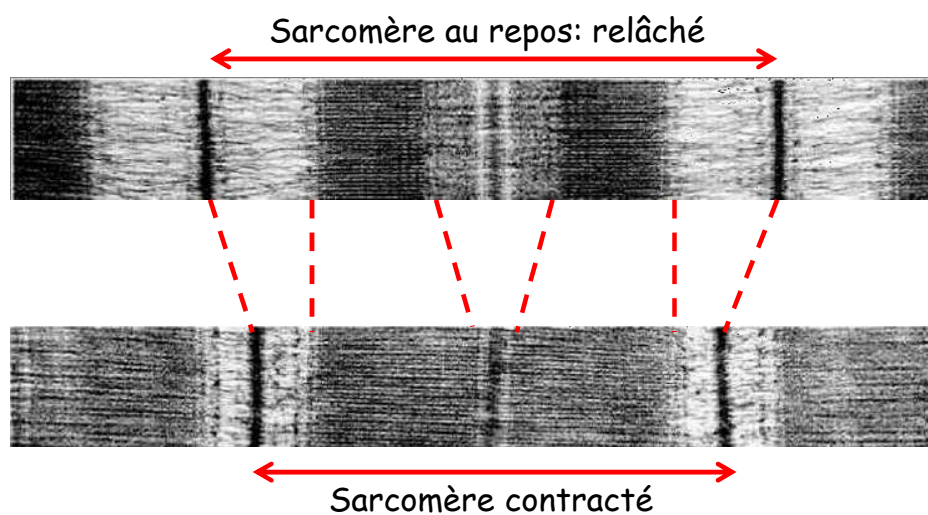


- 1: vésicule synaptique; 2: fente synaptique
 3: membrane postsynaptique; 4: mitochondrie
 5: appareil sous neural; 6: membrane présynaptique

PPM: potentiel de plaque motrice
PAM: potentiel d'action musculaire



Le mécanisme de la contraction à l'échelle d'un sarcomère

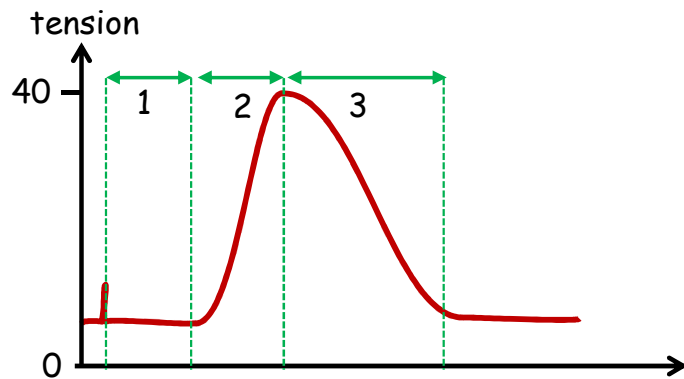


La contraction consiste à un glissement des myofilaments d'actine entre les myofilaments de myosine provoquant:

- ▶ Le raccourcissement du sarcomère
- ▶ La réduction de $\frac{1}{2}$ de I
- ▶ Le rétrécissement de la bande H
- ▶ Le maintien de la bande A intacte

Le rapport entre l'activité électrique et l'activité mécanique du muscle squelettique

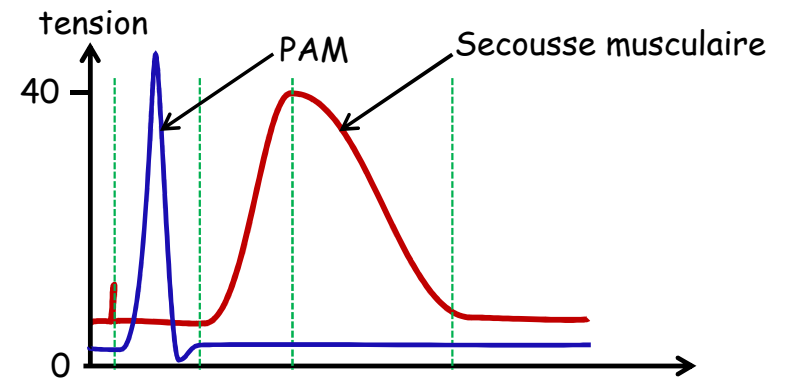
La contraction musculaire représente l'activité mécanique du muscle. On peut enregistrer cette activité mécanique à l'aide d'un myographe, l'enregistrement obtenu s'appelle un myogramme. Le tracé s'appelle une **secousse musculaire**



La secousse musculaire comporte 3 phases

- 1: temps de latence
- 2: phase de contraction: la tension musculaire augmente progressivement et atteint une valeur maximale
- 3: phase de relâchement: la tension musculaire diminue progressivement et retrouve sa valeur initiale

Le potentiel d'action musculaire: PAM représente l'activité électrique du muscle squelettique. On peut enregistrer simultanément le PAM et la secousse musculaire. On obtient le tracé suivant:



Le PAM est toujours enregistré pendant le temps de latence

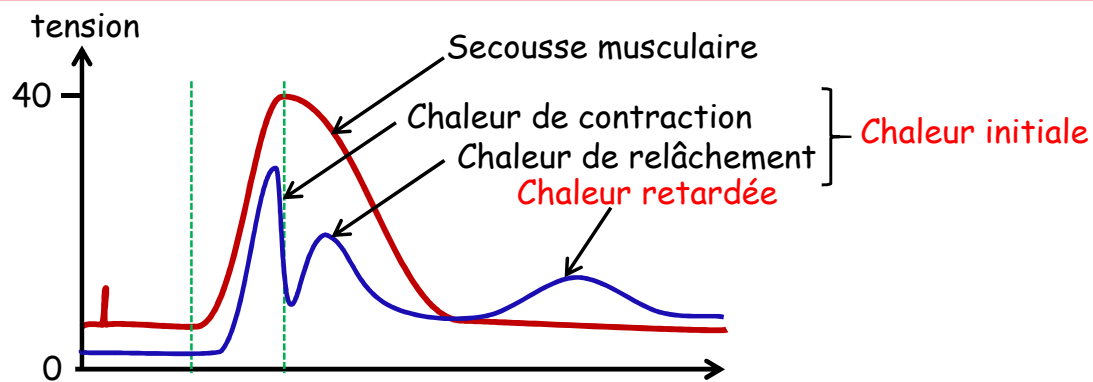
Le PAM précède toujours la secousse musculaire

Donc:

L'activité électrique déclenche l'activité mécanique

L'origine de l'énergie mécanique et calorifique de la contraction musculaire

Toute activité mécanique réchauffe l'organisme: La contraction musculaire est accompagnée d'un dégagement de la chaleur. On peut suivre la quantité de la chaleur dégagée par un muscle au cours et après la contraction, dans deux conditions différentes:



Milieu aérobie

Le dégagement de la chaleur au cours de l'activité mécanique indique que le muscle est le siège des réactions chimiques productrices de la chaleur: réactions exothermiques.

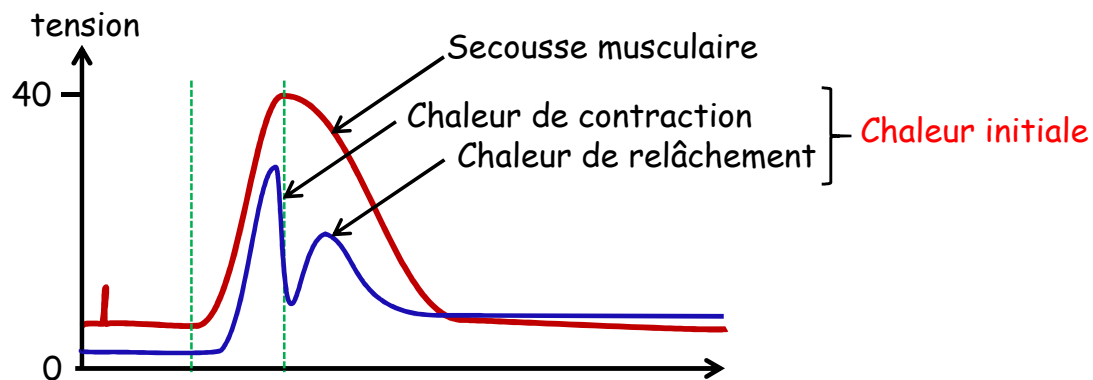
On distingue deux types de chaleur:

- Une chaleur initiale qui ne nécessite pas de l'oxygène
- Une chaleur retardée qui nécessite de l'oxygène

Le muscle est le siège de deux réactions chimiques exothermiques:

- ▶ Des réactions aérobies qui produisent de la chaleur retardée
- ▶ Des réactions anaérobies qui produisent de la chaleur initiale

Milieu anaérobie



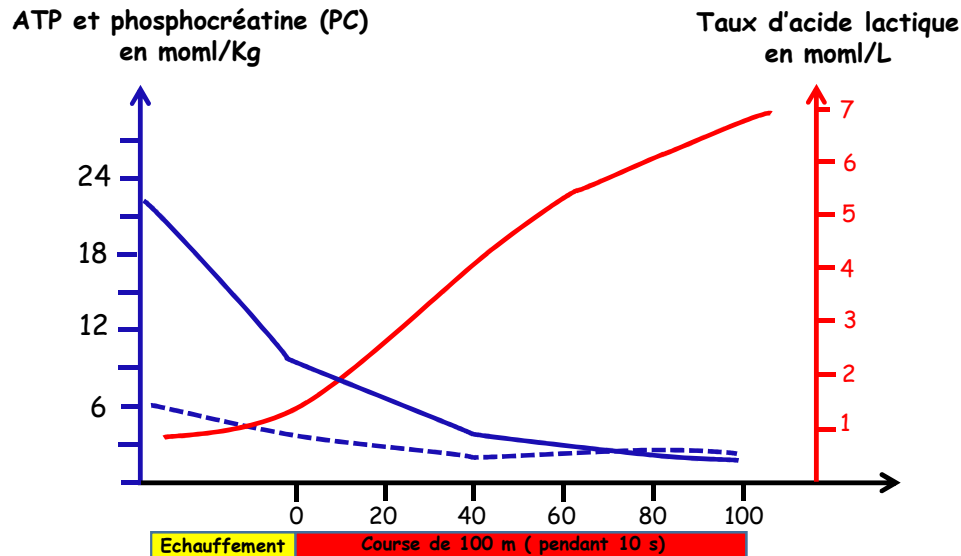
Les origines de l'énergie musculaire

L'ATP: Adénosine TriPhosphate représente la source principale de l'énergie musculaire.

C'est donc l'hydrolyse de l'ATP qui fournit directement aux cellules musculaires l'énergie nécessaire à la contraction. Cependant, les réserves des cellules musculaires en ATP, extrêmement faibles, seraient presque immédiatement épuisées s'il n'existait pas plusieurs mécanismes de régénération de l'ATP

Composées chimiques	Avant la contraction	Après la contraction
Glycogène	10,8 g/Kg	8 g/Kg
ATP	4 - 6 mmol/Kg	4 - 6 mmol/Kg

Au cours de la contraction musculaire, le taux de glycogène diminue par contre le taux de l'ATP reste constant. L'ATP hydrolysée pour produire de l'énergie est régénérée à partir de glycogène.



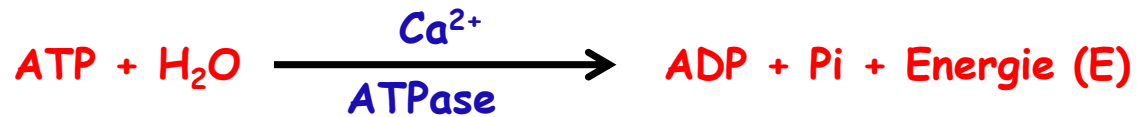
Pendant l'échauffement: Le taux de l'ATP reste constant, le taux de PC diminue considérablement et le taux de l'acide lactique reste négligeable.

Pendant la course: Le taux de l'ATP reste constant, le taux de PC continue à diminuer et le taux de l'acide lactique augmente considérablement.

► À très court terme, l'ATP est régénérée par hydrolyse de PC

► Le muscle a l'avantage de pouvoir procurer rapidement de l'ATP, sans nécessiter d'apport O₂. La glycolyse, réalisée à partir de glucose produit de l'ATP. On parle de métabolisme anaérobie lactique.

Hydrolyse de l'ATP



L'énergie (E) comporte une énergie thermique (chaleur initiale) et une énergie mécanique utilisée dans la contraction musculaire

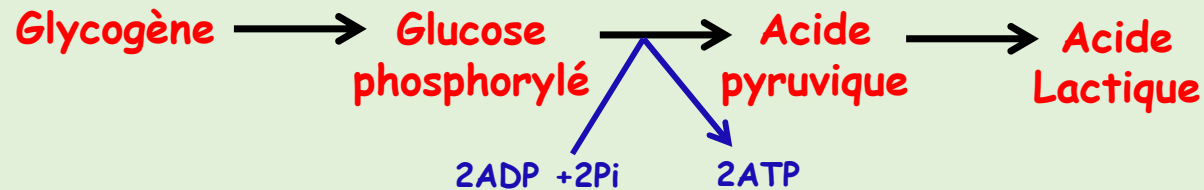
Régénération de l'ATP

Voie
rapide

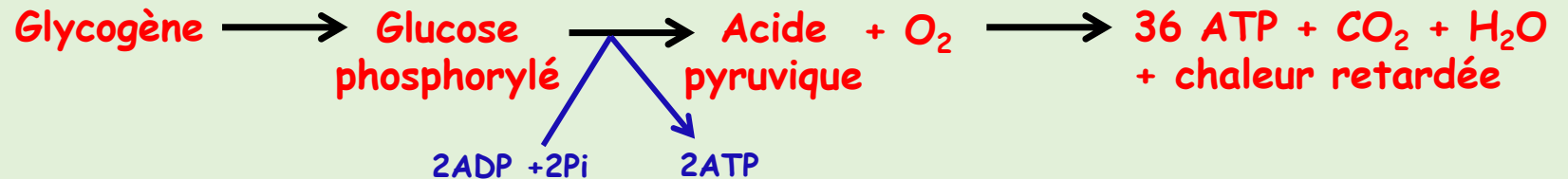


Voie Lente

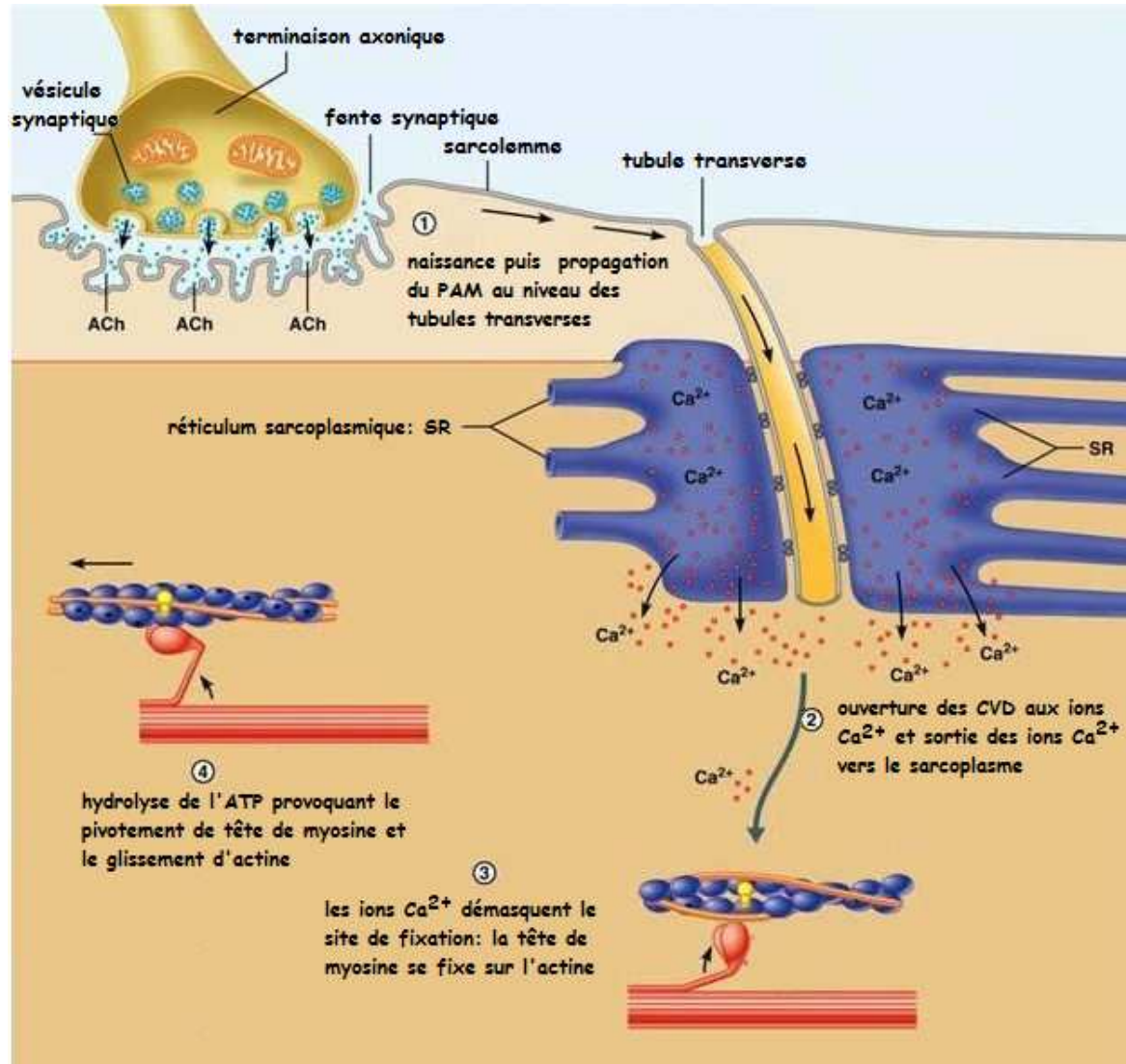
Fermentation
Lactique

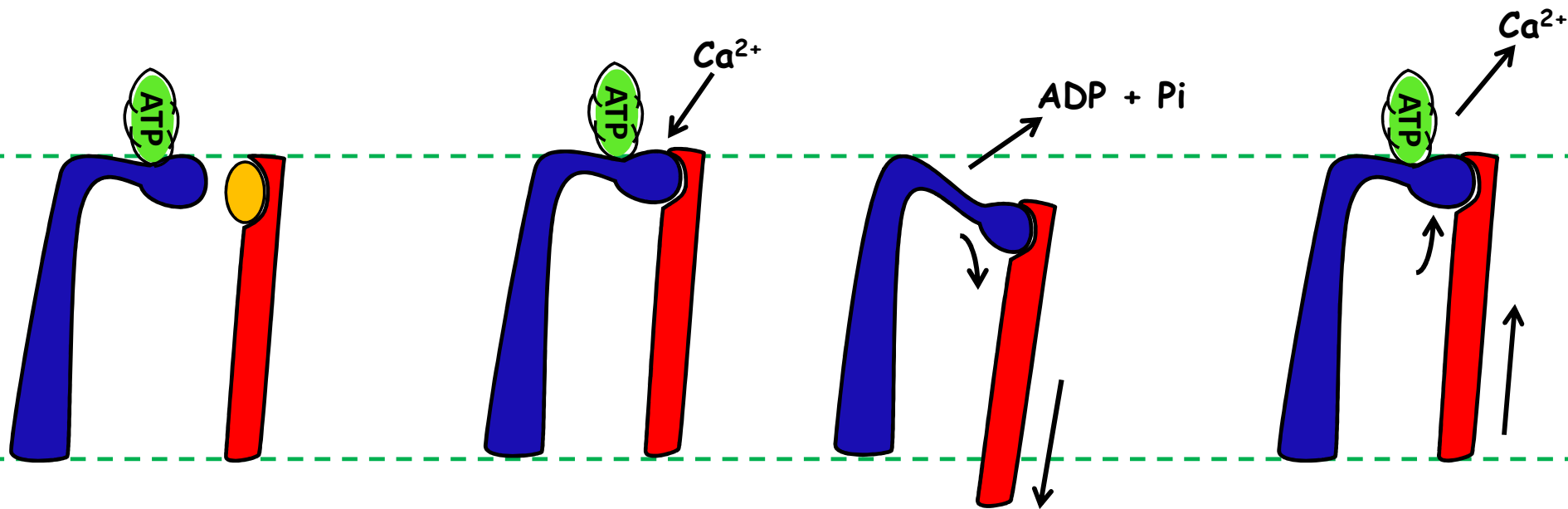


Respiration



La conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique





Repos	contraction		Relâchement
<ul style="list-style-type: none"> • Actine et myosine sont séparés • Les sites de fixation sont masqué par une protéine • L'ATP est fixée sur la tête de myosine 	<ul style="list-style-type: none"> • la sortie des ions Ca^{2+} vers le sarcoplasme • démasquage des sites de fixation • fixation des têtes de myosine sur l'actine: attachement et formation d'un complexe actine-myosine 	<ul style="list-style-type: none"> • hydrolyse de l'ATP • pivotement des têtes de myosine • glissement d'actine par rapport à la myosine 	<ul style="list-style-type: none"> • Fixation de l'ATP sur les têtes de myosine • séparation de actine de la myosine et masquage des sites de fixation • redressement des têtes de myosine et retour de l'actine à la position initiale • retour des ions Ca^{2+} vers les citernes des Réticulum sarcoplasmique