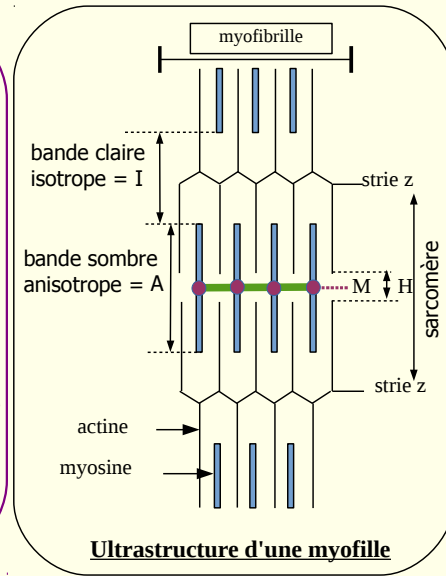
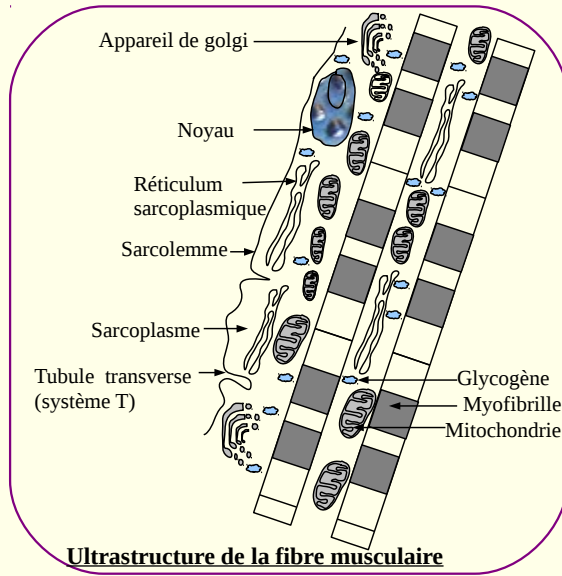
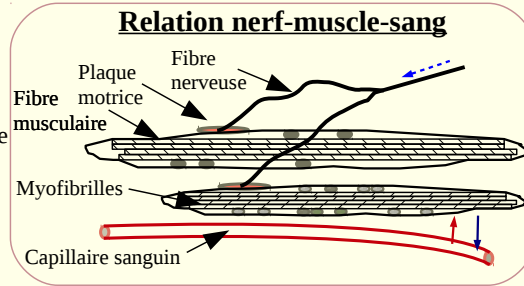


LE MUSCLE : STRUCTURE & ULTRASTRUCTURE

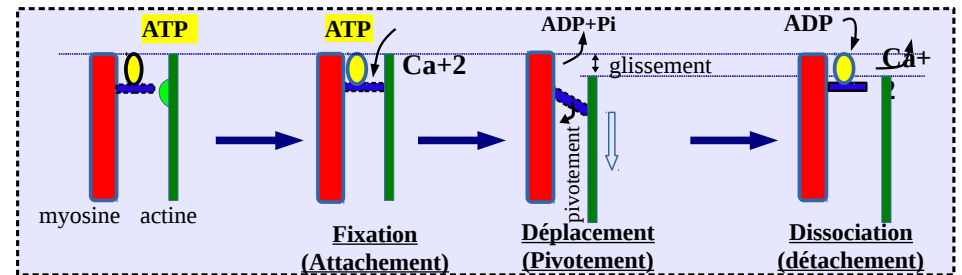
- le **muscle** = Σ fibres musculaires, la **fibre musculaire** = la cellule musculaire.
- La cellule musculaire est une cellule **géante pluri-nucléées** contenant des **myofibrilles** dont le cytoplasme = **sarcoplasme** et la membrane plasmique = **sarcolemme**.
- La **myofibrille** = Σ myofilaments **épais** (myosine) + myofilaments **fin** (actine)
- Myofilaments **épais** = filaments de **myosine**
- Myofilaments **fins** = **actine + troponine + tropomyosine**.



LE MÉCANISME DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

La contraction musculaire nécessite du Ca^{2+} et de l'ATP passe par les étapes suivantes :

- **Libération** du Ca^{2+} du **réticulum sarcoplasmique** (Réticulum Endoplasmique Lisse) ;
- **Fixation** du Ca^{2+} à la troponine ce qui va relâcher la tropomyosine donc facilitera la **formation** du complexe **acto-myosine** (attachement) entre les têtes de la myosine et l'actine (=pont acto-myosine).
- **Hydrolyse** de l'ATP avec libération d'énergie et dissociation de l'ADP et du P_i . Le complexe acto-myosine jouant le rôle d'une enzyme l'**ATPase**.
- **Pivotement (glissement)** des têtes de myosine (changement d'angle de 90° à 45°) donc **glissement** (déplacement) de l'actine vers le centre du sarcomère.
- **Fixation** d'une **nouvelle** ATP sur la tête de la myosine et **retour** du Ca^{2+} au (R.E.L) entraîne la **dissociation** (détachement) du complexe acto-myosine (retour de l'angle à 90°).

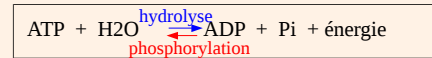


Particularité énergétique du muscle en ATP

Pendant l'activité musculaire, l'ATP est consommée en grande quantité. Celle-ci obéit à 4 règles :

- Règle 1 : La **source directe** de l'énergie est **uniquement** l'ATP ;
- Règle 2 : La capacité de **stockage** de l'ATP est **limitée** ;
- Règle 3 : La quantité d'énergie consommée **dépasse** celle que peut fournir l'ATP ;
- Règle 4 : La quantité d'ATP est **constante** dans le muscle **malgré sa consommation** permanente.

Donc : L'ATP est continuellement **renouvelée** (= **régénérée**) dans le muscle.



LA CONTRACTION MUSCULAIRE

Pendant la **contraction** musculaire, on constate une :

- **diminution** du sarcomère ;
- **diminution** des bandes claires (I) ;
- **diminution** de la région H ;
- **constance** des myofilaments épais (myosine) ;
- **constances** des myofilaments fins (actine) ;
- **constance** des bandes sombres (A).

Donc : la contraction est un **glissement** entre les **myofilaments** d'actine et de myosine.

Les voies du renouvellement (de régénération) de l'ATP

La voie métabolique **lente aérobie** de la **respiration cellulaire**
 $(C_6H_{10}O_5)_n \Rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 38(ADP+P_i) \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 38(ATP) + \text{chaleur retardée}$
 Glycogène Glucose

La voie métabolique **lente anaérobie** de la **fermentation lactique**
 $(C_6H_{10}O_5)_n \Rightarrow C_6H_{12}O_6 + 2(ADP+P_i) \rightarrow 2CH_3-CHOH-COOH + 2(ATP) + \text{chaleur}$
 Glycogène Glucose Lactate => fatigue musculaire

La voie métabolique **rapide anaérobie** de la **créatine phosphate (CP)**
 $CP + ADP \rightarrow C + (ATP) + \text{Chaleur initiale}$

La voie métabolique **rapide anaérobie** de l'ADP (négligeable)
 $ADP + ADP \rightarrow AMP + (ATP)$

COMPARAISON ÉNERGÉTIQUE CHEZ LES SPORTIFS

Effort faible à moyen + longue durée : Le marathon, la course du 10000m, le football ...

- + régénération d'ATP par la **voie aérobie** (Respiration cellulaire)
- + La fibre musculaire est caractérisée par : **plus mitochondries, plus de vascularisation, plus de myoglobine mais moins de fatigabilité (lactates)**. Il s'agit de la fibre musculaire de **type I**.

Effort intense + courte durée : Le lancer, la course du 100m, du 200m ...

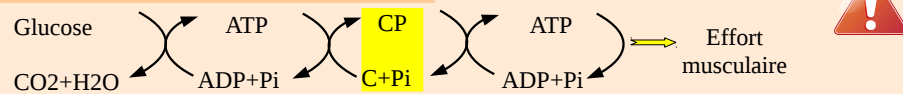
- + Régénération d'ATP par la **voie anaérobie** (CP, fermentation lactique)
- + La fibre musculaire est caractérisée par : **moins mitochondries, moins de vascularisation, moins de myoglobine mais plus de fatigabilité (lactates)**. Il s'agit de la fibre musculaire de **type II**.

Remarque : Le muscle contient les deux types de fibres !

Récupération et dette d'oxygène

Après un effort, l'**augmentation** du rythme **respiratoire** a pour but de fournir de l'**O2 supplémentaire** (= **dette d'oxygène**) pour reconstituer la **CP** de réserve et activer l'**élimination** du lactate.

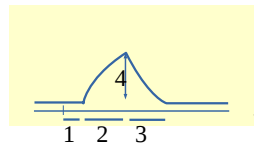
Place de la CP dans le métabolisme musculaire



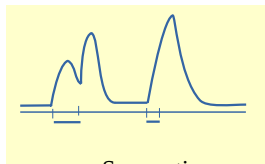
Activité calorifique musculaire

- Hydrolyse d'ATP + hydrolyse de CP → chaleur initiale de la contraction.
- Glycolyse anaérobie (fermentation) → chaleur initiale du relâchement.
- Glycolyse aérobie (respiration) → chaleur retardée

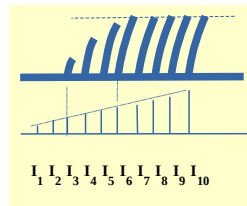
ANALYSE DES MYOGRAMMES



Secousse musculaire

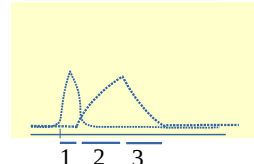


Sommation (fusion partielle et totale)

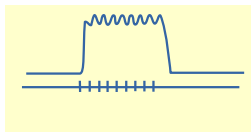


Recrutement

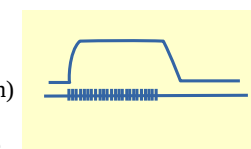
- Stimulations infraliminaire (réponses 0)
- Stimulation supraliminaire (réponses ↗ puis =)
- Seuil



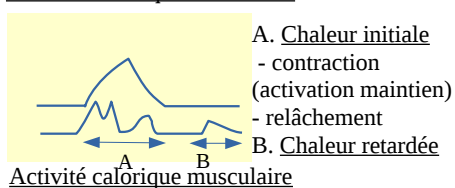
Activité électrique musculaire



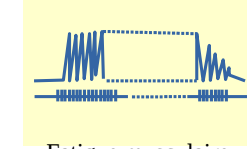
Tétanos imparfait



Tétanos parfait

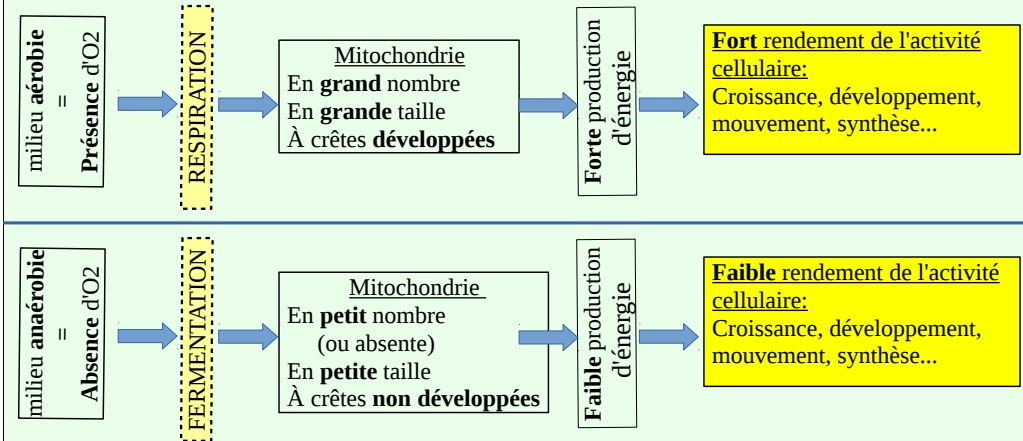


Activité calorifique musculaire



Fatigue musculaire (Accumulation du lactate)

La problématique du métabolisme de respiration et de fermentation



N.B : Chez certains êtres vivants comme certaines souches de **levures**, la fermentation et la respiration ne sont pas **conditionnées** par l'absence ou la présence de l'oxygène. **Comment ?**

• Chez certaines souches s'il y a une **grande** concentration de glucose dans le milieu, c'est la **fermentation** qui est préférée même en **présence d'O2**.

• Chez certaines autres souches les mitochondries sont **totalemment absentes** de façon naturelle, donc la **fermentation est permanente** en toutes conditions.

La problématique du métabolisme musculaire

Dans les conditions physiologiques **normales** : on **constate** que la quantité d'ATP est relativement **CONSTANTE** si l'on compare sa quantité avant et après l'effort musculaire (bien qu'elle soit continuellement hydrolysée et **consommée** par le muscle). **Donc** elle est **renouvelée** en permanence dans la cellule.

Le renouvellement de l'ATP se fait selon **deux voies** :

- La voie **aérobie** = la **respiration** cellulaire qui prévaut dans les sports **d'endurance** (longue durée, moyenne intensité). Cette voie est sous la responsabilité des fibres de **type I**.
- la voie **anaérobie** = **Fermentation** et **CP** qui prévaut dans les sports de **vitesse** (courte durée, forte intensité). Cette voie est sous la responsabilité des fibres de **type II**.

Le **débit** du renouvellement de l'ATP ne se fait pas à la même vitesse :

- Respiration : Débit faible mais grande quantité ;
- Fermentation : Débit moyen et quantité moyenne ;
- CP : débit important mais faible quantité.