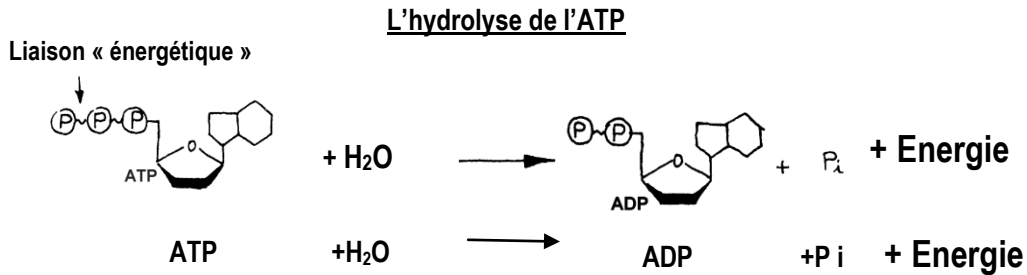


BILAN 4- CONSOMMATION ET REGENERATION DE L'ATP DANS LA CELLULE MUSCULAIRE

La vie cellulaire est attestée par diverses manifestations qui nécessitent un travail cellulaire. On peut citer en particulier quelques cas de des mouvements :- **flagelles** des cellules douées de mobilité (unicellulaires aquatiques, spermatozoïdes), **cils vibratiles** (surface des poumons, cils branchiaux) **contraction musculaire**, déplacement des chromosomes en division par le **fuseau de division**.

Les mouvements nécessitent la **transformation** par les cellules, **de l'énergie chimique des molécules organiques** (ex : glucose) **en énergie mécanique**. Cette **conversion énergétique** est permise par un intermédiaire métabolique, l'ATP.

L'utilisation de l'ATP correspond à l'**hydrolyse** des liaisons entre les groupements phosphates et permet de libérer de l'**énergie** réutilisable par la cellule pour réaliser une réaction chimique énergétiquement impossible de façon spontanée. (C'est une réaction **exoénergétique** = qui libère de l'énergie):

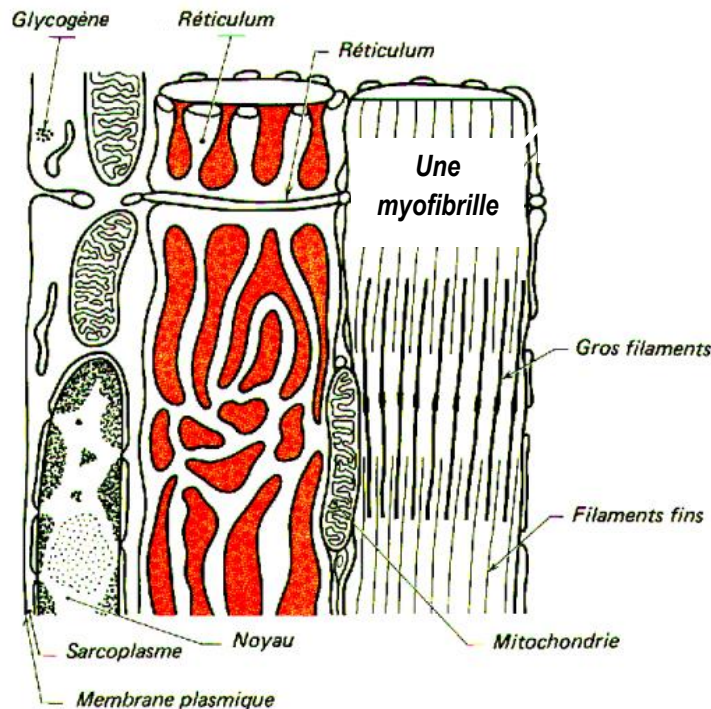


L'activité biochimique des cellules, hydrolyse des **millions de molécules d'ATP par seconde**. Un homme au repos consomme quotidiennement une quarantaine de kilogrammes d'ATP. Or l'ATP est présent en **très faible quantité** dans les cellules, il n'est donc pas stocké par l'organisme mais **régénéré en permanence**.

I- LA CELLULE MUSCULAIRE UNE CELLULE SPECIALISEE

La contraction des muscles squelettiques se fait grâce aux cellules musculaires. Ces cellules géantes allongées appelées **fibres musculaires**, présentent au microscope un structure striée caractéristique.

Le cytoplasme d'une cellule musculaire est rempli à 80% de **fibres contractiles** : **les myofibrilles** parallèles à l'allongement de la fibre. On peut y observer aussi également **des mitochondries** -organites de la respiration- et Des **grains de glycogène** – réserves glucidiques-.



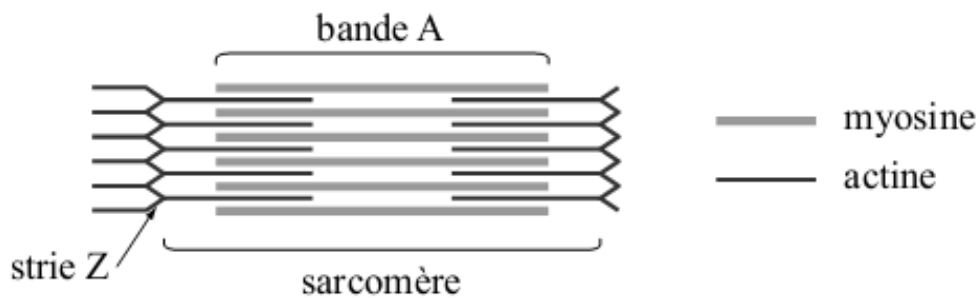
Structure de la fibre musculaire striée.

Ces myofibrilles sont constituées d'une succession d'unités fonctionnelles, **les sarcomères**.

Chaque sarcomère est formé de filaments à l'origine de la contraction musculaire: les **myofilaments fins d'actine** et des **myofilaments épais de myosine**.

La **contraction musculaire** correspond à un **raccourcissement des sarcomères** dû au glissement des filaments d'actine et de myosine (schémas p 63 Bordas spécialité).

LE SARCOMERE, UNITE CONTRACTILE DE LA FIBRE MUSCULAIRE



II-LES CONVERSIONS ENERGETIQUES LORS DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

Lors de la contraction musculaire, de l'énergie chimique sous forme d'ATP est convertie en énergie mécanique au niveau de chaque sarcomère. Cette conversion est permise par les propriétés de la myosine, **une protéine motrice** et de l'actine des myofilaments.

Les molécules de myosine présentent des zones globuleuses appelées **têtes de myosine**. Chaque tête est une **ATPase**, **enzyme qui peut fixer et hydrolyser une molécule d'ATP** sur son **site actif**.

Chaque tête de myosine peut s'accrocher le long d'un filament d'actine selon une succession cyclique :

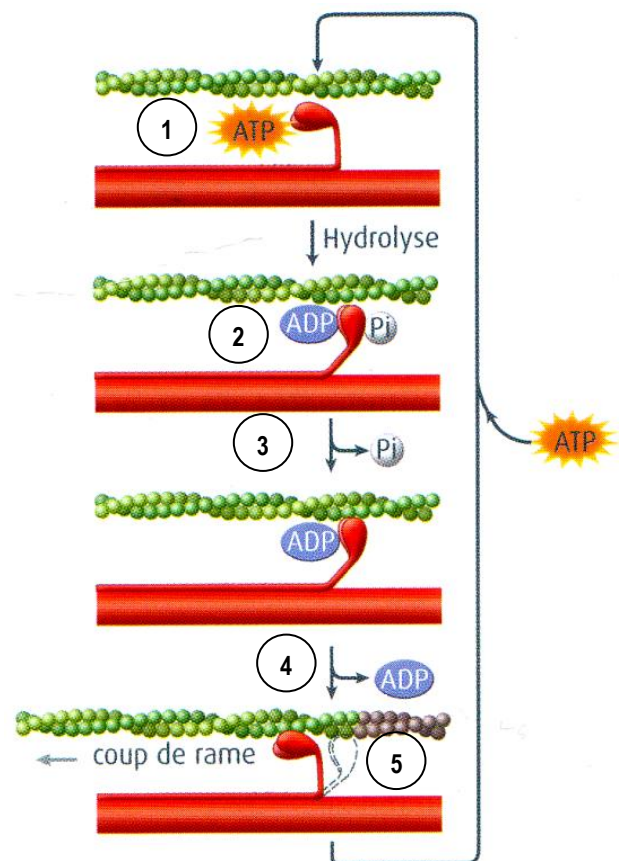
a- L'hydrolyse (en ADP + Pi) d'une molécule d'ATP après sa fixation sur le site de liaison de la tête de myosine (1), fournit l'énergie nécessaire au **basculement** de la tête de myosine qui **s'accroche** un peu plus loin sur le **filament d'actine** (La présence de calcium est indispensable au démasquage du site de liaison entre la myosine et l'actine).

La tête de myosine est alors **accrochée à un filament d'actine (2) et liée à de l'ADP et du phosphate inorganique (Pi)** :

-La configuration obtenue, stable est appelée **configuration rigor** car elle est à l'origine de la rigidité cadavérique (rigor mortis) : la tête de myosine est attachée au filament d'actine, la myofibrille reste contractée en l'absence d'ATP.

b- Le départ du Pi (3) puis de l'ADP (4), va entraîner le retour de la tête de myosine (toujours accrochée au filament d'actine) à sa position initiale (5). C'est le «coup de rame», dont l'occurrence au niveau de nombreuses têtes de myosine provoque le **raccourcissement des sarcomères** (et donc la contraction).

c- La fixation d'une nouvelle molécule d'ATP sur la tête de myosine entraîne la **rupture de la liaison actine/myosine**, un nouveau cycle peut recommencer.



Le cycle de contraction (D'après Belin 2012)

A comprendre

De façon plus générale, on retiendra que **les mouvements sont assurés par des protéines motrices**, dont la mobilité est liée à la réalisation **d'un cycle chimique** qui comprend:

- la liaison d'une molécule d'ATP sur une « tête » de la protéine,
- L'hydrolyse de l'ATP fixé,
- la libération des produits formés (ATP + Pi)
- et la fixation d'une nouvelle molécule d'ATP.

Les cellules musculaires comme toutes les cellules, ont besoin d'énergie pour assumer leurs divers travaux : croissance, entretien de l'édifice musculaire et **contraction**. Elles doivent donc disposer en permanence d'ATP. Or, la **concentration d'ATP dans les cellules musculaires est faible** (à peine suffisante pour assurer 1 seconde d'effort) et ne varie quasiment pas pendant l'effort. **L'ATP est donc régénérée au fur et à mesure de sa consommation.**

III- LA REGENERATION DE L'ATP DANS LA CELLULE MUSCULAIRE

Le passage de l'état de repos relatif (dépenses énergétiques faibles) à un exercice physique intense, nécessite une adaptation de l'organisme qui doit compenser les dépenses énergétiques nécessaires à la réalisation de l'effort. Après quelques instants d'exercice, les modifications du rythme respiratoire et cardiaque et du fonctionnement de certains organes (peau, foie, reins) témoignent de l'ajustement par l'organisme, de la production d'énergie à sa consommation.

1-L'effort en conditions anaérobies

Au cours des premières minutes d'effort, la régénération de l'ATP met en jeu principalement des **voies anaérobies**:

- **La voie de la phosphocréatine** est la plus simple et la plus rapide pour produire de l'ATP. La phosphocréatine est un composé énergétique présent en petite quantité dans le cytoplasme de la cellule. Une enzyme (la créatine kinase) permet de séparer le groupement phosphate (Pi) de la créatine et de le transférer sur un ADP, grâce à un couplage énergétique (chimio-chimique). Les stocks cytoplasmiques de phosphocréatine sont épuisés au bout de **quelques secondes d'effort d'intensité maximale** (15 secondes au maximum). Ils seront reconstitués à l'issue de l'effort, avec consommation d'ATP.

- **La fermentation lactique** prend le relai de la voie de la phosphocréatine après quelques secondes d'effort (de 7 à 20 s), comme l'atteste l'augmentation de la concentration sanguine d'**acide lactique** lors d'un effort intense. C'est la **dégradation anaérobie du glucose** qui fournit alors de l'ATP à la cellule musculaire.

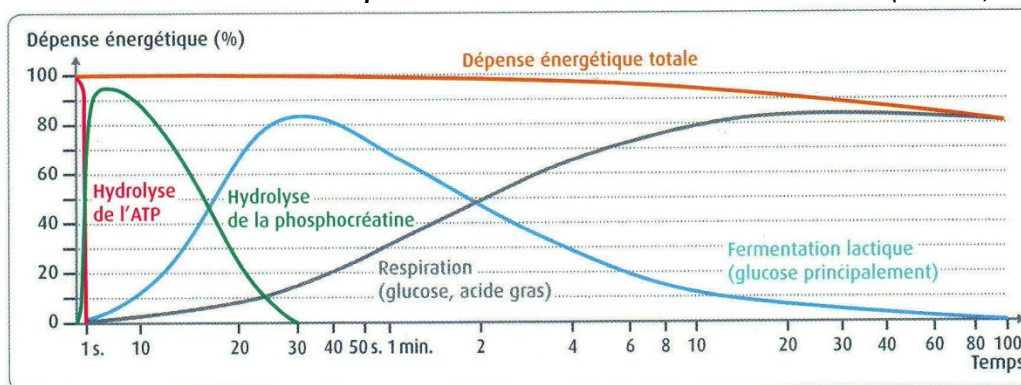
Le foie et muscle disposent à cet effet d'une petite réserve privée de glucose, stocké en période de repos sous forme de **glycogène** (voir thème III). Ce glucide est hydrolysé en priorité, fournissant immédiatement du glucose dans la cellule musculaire et du glucose circulant à partir du foie. A ce moment, les conditions sont encore **anaérobies** et la fermentation lactique ne permet de produire que **2 molécules d'ATP par molécule de glucose** consommée. (En outre une acidification importante des fibres musculaires diminue les capacités d'association actine/myosine).

2-L'effort en conditions aérobie

Après un délai de quelques secondes d'exercice, **l'augmentation des débits ventilatoire et sanguin** permettent des apports accrus en **dioxygène** et en **nutriments énergétiques** (glucose en particulier mais aussi acides gras).

Les cellules musculaires alors correctement approvisionnées en O₂, produisent principalement l'ATP par le biais de la **respiration cellulaire** dont le rendement est supérieur à celui des autres voies métaboliques (produit plus d'ATP par molécule de glucose utilisée).

Relai entre les modalités de production d'ATP lors d'un effort musculaire (Belin 2012)



Remarque¹ : Dans le même temps, l'ajustement du système hormonal, permet une régulation fine de la fourniture énergétique des cellules demandeuses, comme on le verra lors de l'étude de la régulation de la glycémie. En échange de ces apports, la cellule va rejeter des déchets : l'excès de CO₂ est rejeté au niveau des poumons, l'excès de chaleur produite ainsi que de l'eau, sont évacués au niveau de la peau et des poumons, l'eau encore en excès et les déchets métaboliques sont éliminés par les reins après passage dans le foie pour les produits non solubles dans l'eau.

IV- DES FIBRES MUSCULAIRES ADAPTEES

Un muscle contient des cellules musculaires spécialisées dans des efforts de différentes natures, l'entraînement favorisant le développement de tel ou tel type de fibre.

-Les cellules musculaires **de type I** se contractent lentement et peuvent se contracter longtemps. Elles sont riches en **mitochondries** et leur voie principale de régénération de l'ATP est la respiration mitochondriale.

- Les cellules musculaires **de type II** se contractent rapidement. Elles régénèrent l'ATP principalement par **fermentation lactique**. Les grandes quantités de glucose consommées par la fermentation lactique sont fournies par mobilisation des **stocks de glycogène, abondants dans ce type de fibres**.

Dans une cellule musculaire, l'ATP est donc produit principalement par la fermentation lactique et/ou par la respiration, suivant la **nature de l'exercice, la phase de l'exercice et le type de cellule musculaire**.