

Fiche

La cellule musculaire consomme une quantité importante d'ATP pour réaliser ses cycles de contraction. Quelles sont les voies métaboliques permettant à la cellule musculaire de se fournir en ATP ?

I. La molécule d'ATP : une forme d'énergie directement utilisable par la cellule

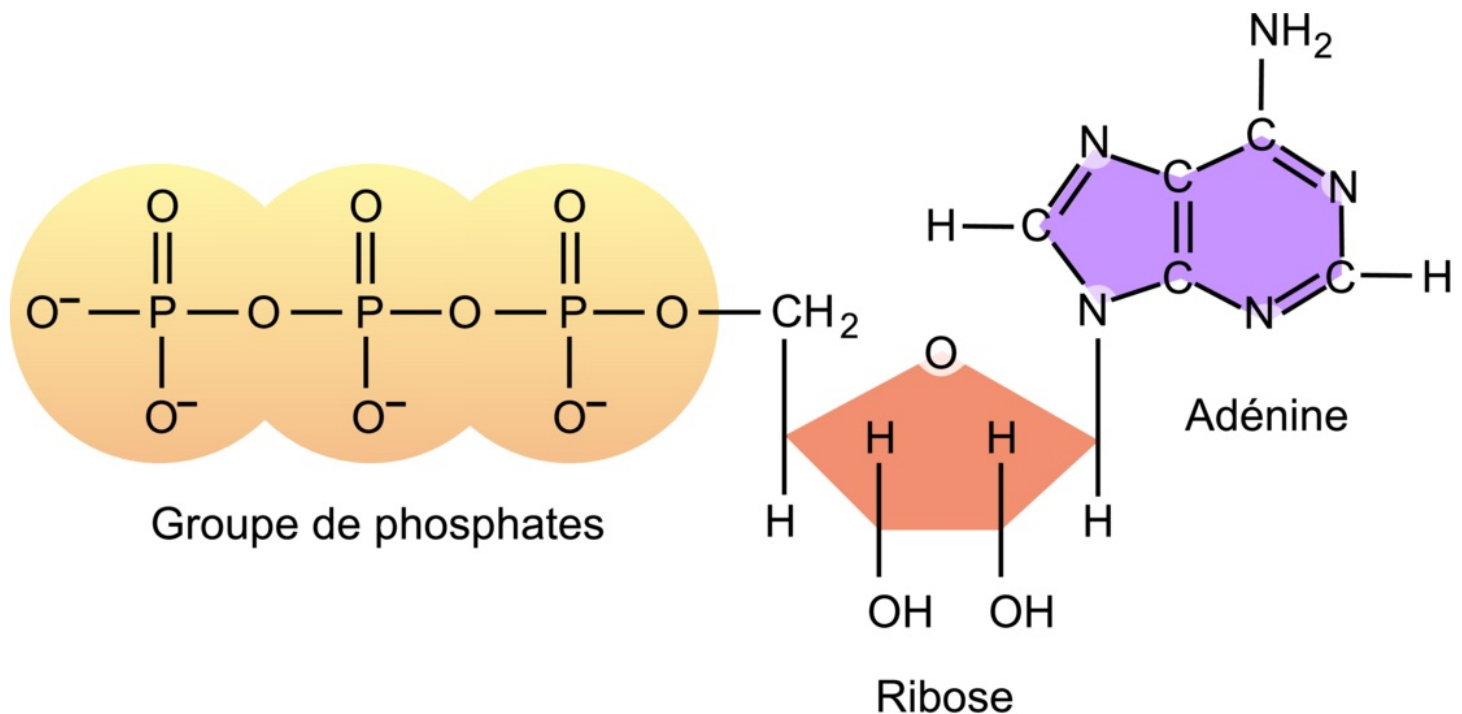
L'ATP (adénosine triphosphate) est la forme d'utilisation de l'énergie par la cellule, qui constitue l'intermédiaire entre les réactions libérant de l'énergie et celles en consommant. L'**hydrolyse** de l'ATP est une réaction de **déphosphorylation**, formant de l'**ADP** (adénosine diphosphate) et un phosphate inorganique, noté Pi. Cette réaction libère de l'énergie et est couplée à des réactions consommant de l'énergie. La réaction d'hydrolyse de l'ATP est :



La **synthèse** d'ATP est la **phosphorylation** de l'ADP en présence de phosphate inorganique. Elle consomme de l'énergie, fournie par le métabolisme énergétique de la cellule. La réaction de synthèse de l'ATP est :



La molécule d'ATP

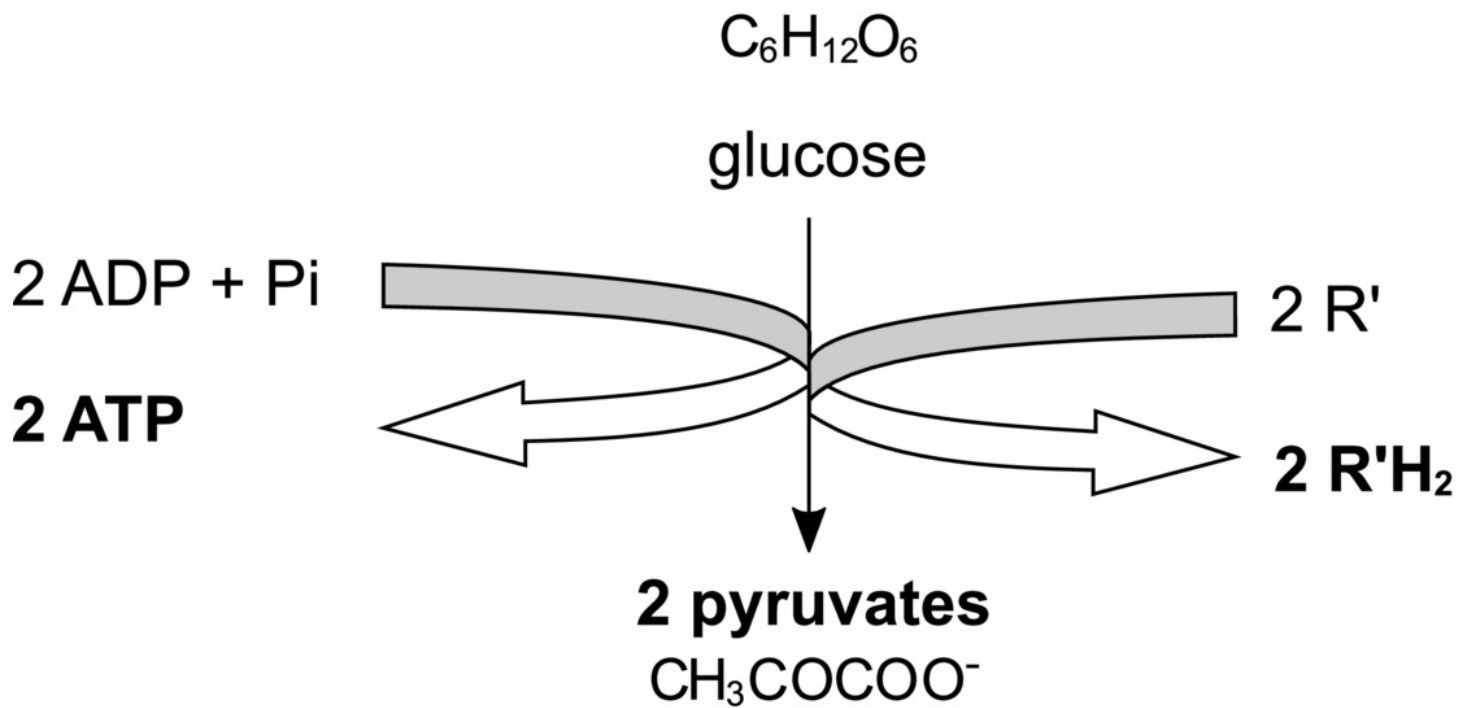


L'ATP n'est pas stockée dans la cellule mais est constamment **régénérée** par le métabolisme. Dans la cellule musculaire, il existe deux grandes voies métaboliques d'utilisation du glucose pour produire de l'ATP : la **respiration cellulaire** et la **fermentation lactique**.

II. La respiration cellulaire : une voie métabolique avec un fort rendement en ATP

Dans leur cytoplasme, les cellules musculaires réalisent une **oxydation** partielle du glucose selon un ensemble de réactions appelé **glycolyse**. La glycolyse forme 2 **pyruvates** ($\text{CH}_3\text{COCOO}^-$), 2 molécules d'**ATP** et 2 composés réduits **R'H₂** (molécules capables de libérer des électrons).

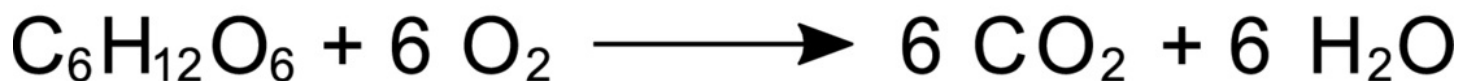
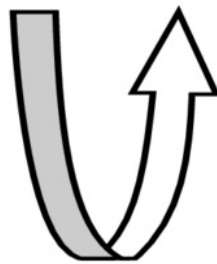
La glycolyse



Les réactions de la respiration cellulaire ont lieu dans un organite cellulaire spécialisé : la **mitochondrie**. Celle-ci comporte deux membranes, l'une externe et l'autre interne, délimitant un espace intermembranaire. La membrane interne mitochondriale forme des crêtes saillantes, à l'intérieur de la mitochondrie (appelé matrice). Le pyruvate, issu de la glycolyse, transite jusqu'à la matrice de la mitochondrie, où a lieu le **cycle de Krebs**. Celui-ci consiste en l'oxydation complète du pyruvate **décarboxylé** en CO_2 associée à la formation d'**ATP** et de composés réduits **R'H₂**.

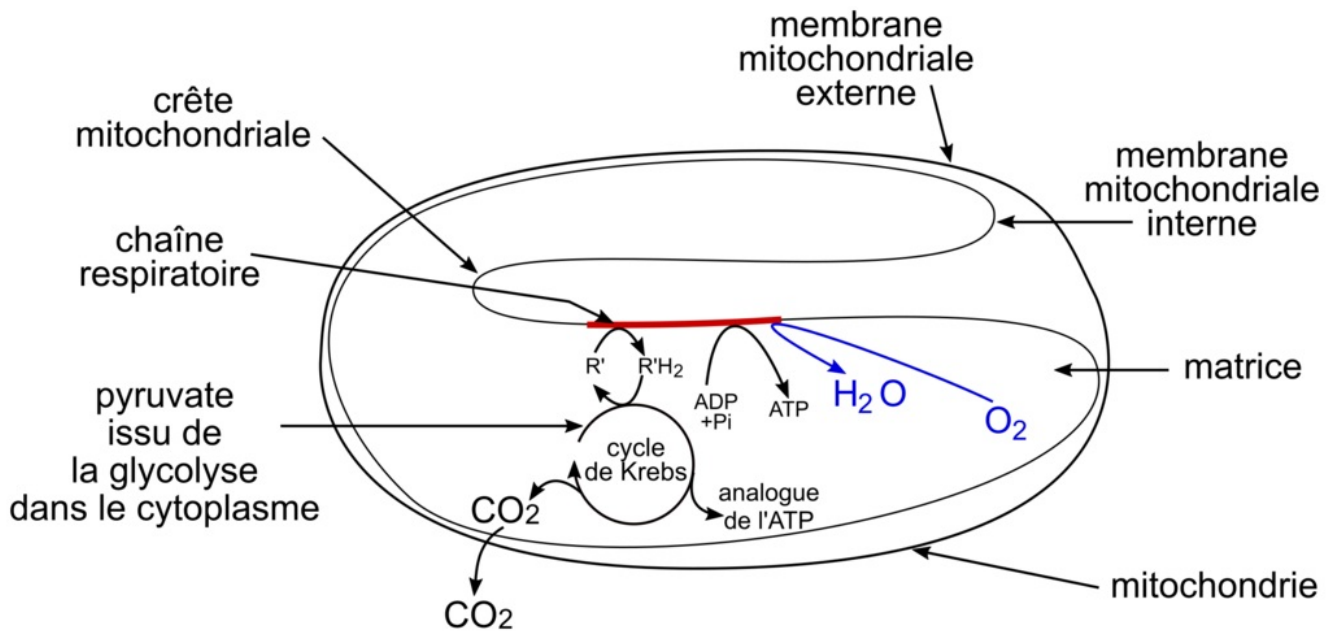
La **chaîne respiratoire** est composée de plusieurs molécules et complexes moléculaires situés dans la membrane mitochondriale interne. Au niveau de la chaîne respiratoire, du côté de la matrice, les composés réduits R'H₂, provenant de la glycolyse et du cycle de Krebs, cèdent leurs électrons et leurs protons (H⁺) aux composants de la chaîne respiratoire, ce qui permet la réoxydation des molécules R'H₂ en R'. Les électrons issus des composés R'H₂ sont transférés le long de la chaîne respiratoire, puis sont captés par un **accepteur final d'électrons**, l' O_2 , **réduit en H₂O**. Lors de ces transferts au sein de la chaîne respiratoire, des protons sont acheminés de la matrice mitochondriale vers l'espace intermembranaire où ils s'accumulent. Ces protons refluent alors spontanément vers la matrice, uniquement au niveau des **enzymes ATP-synthases**, qui sont responsables de la phosphorylation de l'ADP en ATP dans la matrice mitochondriale.

L'équation-bilan de la glycolyse et de la respiration cellulaire est donc la suivante :



La respiration cellulaire produit au total **38 molécules d'ATP** par molécule de glucose, soit un rendement énergétique très élevé de **40 %**.

La respiration cellulaire



Lors d'un effort physique, l'augmentation de l'activité du système cardiovasculaire permet un apport accru de sang bien oxygéné et riche en nutriments aux muscles, ainsi qu'une évacuation efficace du CO₂ produit par les muscles lors de la respiratoire cellulaire. De nombreuses modifications physiologiques contribuent à l'augmentation des activités cardiocirculatoire et respiratoire, déclenchées de manière réflexe. L'individu réalisant un effort physique peut, de manière volontaire, modifier son activité ventilatoire afin de favoriser l'oxygénation de son organisme.

Exercice n°1

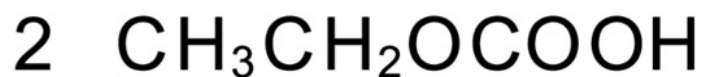
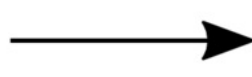
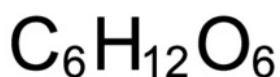
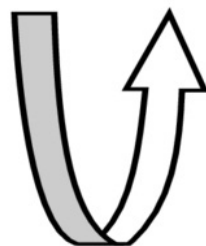
Exercice n°2

Exercice n°3

Exercice n°4

III. La fermentation lactique : une voie métabolique avec un faible rendement en ATP

Les cellules musculaires sont capables de dégrader le glucose sans consommer d'O₂ (en anaérobiose) par **fermentation lactique**. Celle-ci fait suite à la glycolyse et consiste en la dégradation incomplète du pyruvate, qui est réduit en **lactate** dans le cytoplasme. Cette réaction est couplée à la réoxydation des composés R'H₂, formés lors de la glycolyse, en composés R'. La fermentation lactique produit **2 molécules d'ATP** par molécule de glucose, soit un rendement énergétique de **2 %**, bien inférieur à celui de la respiration cellulaire. L'équation-bilan de la glycolyse et de la fermentation lactique est la suivante :



acide lactique

La génération de l'ATP dans les muscles dépend de la **nature**, de la **durée** de l'**effort**, ainsi que du type des **fibres musculaires**

sollicitées. De manière générale, en tout début d'effort, la cellule musculaire utilise sa faible réserve d'ATP pendant quelques secondes. Puis ont lieu des réactions de transfert de groupements phosphates de la **phosphocréatine**, molécule présente dans la cellule musculaire, à l'ADP, formant ainsi de l'ATP et de la créatine. Un peu plus tard, la **fermentation lactique** anaérobie permet la production d'ATP. Si l'effort se poursuit, la **respiration cellulaire** permet la synthèse d'ATP.

Exercice n°5

Notions clés

Fibre musculaire I

Fibre musculaire dite lente, de couleur rouge, fortement vascularisée, caractérisée par une teneur élevée en réserves, en myoglobine (protéine chargée du transport de l'O₂ dans les muscles), et riche en mitochondries. Son métabolisme énergétique est essentiellement aérobie (respiration). Sa vitesse de contraction est faible ; elle peut fonctionner longtemps et participe aux efforts physiques prolongés.

Fibre musculaire II

Fibre musculaire dite rapide, de couleur blanche, faiblement vascularisée, caractérisée par une teneur faible en réserves, en myoglobine, et pauvre en mitochondries. Son métabolisme énergétique est essentiellement anaérobie (fermentation lactique). Elle peut se contracter rapidement mais seulement pendant un temps court ; elle participe aux efforts intenses peu prolongés.

Zoom sur...

La récupération après un effort physique

Il s'agit de la période nécessaire pour assurer le retour, à leurs valeurs de repos, des paramètres physiologiques (cardiorespiratoires, métaboliques, etc.) modifiés par l'exercice. La récupération au niveau cardiorespiratoire est rapide alors que la récupération métabolique est plus longue. Elle dépend de l'intensité et de la durée de l'effort ; elle peut atteindre plusieurs jours pour des efforts prolongés. De bonnes pratiques favorisent cette récupération : réhydratation, étirements adaptés, alimentation aidant à la reconstitution des réserves, massages, sommeil adapté, etc.

Zoom sur...

Une pratique dangereuse pour la santé : le dopage

Le dopage sportif est la consommation de produits ou la réalisation de pratiques ayant pour but d'augmenter les capacités physiques pour obtenir une performance supérieure, notamment en compétition. Les produits utilisés ont des effets et des modes d'action variés. Les stéroïdes anabolisants sont des produits dopants agissant sur le muscle. Ils font partie de la famille des hormones stéroïdiennes, à laquelle appartient l'hormone sexuelle masculine, la testostérone. Les stéroïdes anabolisants stimulent la synthèse des protéines dans les cellules, augmentant la masse des tissus musculaires. Leur consommation à long terme est dangereuse pour la santé, car ils perturbent le métabolisme des lipides, en particulier celui du cholestérol, et peuvent entraîner une hypertension artérielle et des lésions dans certains organes comme le foie et le cœur. D'autres pratiques visent à accroître l'efficacité de l'apport d'O₂ aux muscles, comme l'EPO (érythropoïétine), hormone stimulant la production des globules rouges et qui est produite naturellement par la moelle osseuse. L'augmentation du nombre d'hématies accroît l'hématocrite, c'est-à-dire le volume occupé par les globules rouges dans le sang. Cette augmentation peut provoquer des complications cardiovasculaires importantes. Il existe également des produits qui luttent contre la fatigue, comme les amphétamines, ou des produits masquants dont l'objectif est de cacher la présence de produits dopants interdits par les réglementations en vigueur.