

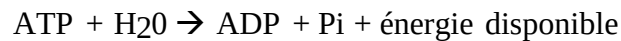
**322. L'origine de l'ATP nécessaire aux activités cellulaires :**

(Bordas, Ed.2020, p.430-431)

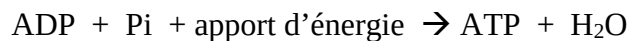
La contraction musculaire et plus généralement l'ensemble des activités cellulaires consomment de l'énergie. La principale source d'énergie immédiatement disponible pour la cellule est l'adénosine triphosphate ou ATP. Les besoins en ATP sont constants, les réserves presque inexistantes : pour être disponible, cette molécule doit être générée en permanence.

**I/ L'ATP, une molécule clef du métabolisme énergétique :**

L'ATP, molécule universelle présente dans toutes les cellules, comporte une série de trois groupements phosphate. L'hydrolyse de l'ATP produit de l'ADP et un ion phosphate libre (noté Pi). Elle libère de l'énergie :



L'énergie libérée par l'hydrolyse de l'ATP varie suivant les conditions du milieu (concentration des autres substances, température, pH etc.). Dans les conditions qui règnent dans les cellules, elle est de l'ordre de  $50 \text{ KJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ . L'énergie libérée est ensuite transférée aux réactions bio- chimiques qui la consomment. Au repos, une personne hydrolyse environ 45 kg d'ATP par jour. Inversement, la synthèse d'ATP nécessite un apport d'énergie :



Plusieurs voies métaboliques permettent d'obtenir l'énergie nécessaire à cette régénération de l'ATP.

- ♦ ***L'énergie est apportée sous forme de molécules d'ATP à toutes les cellules. Il n'y a pas de stockage de l'ATP, cette molécule est produite par des cellules à partir de matière organique, notamment le glucose.***

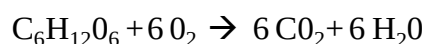
**II/ Les caractéristiques des voies métaboliques de régénération de l'ATP**

L'étude d'une culture de levures permet de caractériser les voies métaboliques de régénération de l'ATP. Les levures utilisent en permanence de l'ATP, notamment pour croître et se multiplier.

Dans un milieu aérobie (en présence de dioxygène) les levures respirent, alors qu'en milieu anaérobie (en absence de dioxygène) elles effectuent la fermentation alcoolique. Ce sont deux processus d'oxydation de molécules organiques qui produisent de l'ATP, mais avec des rendements différents.

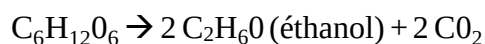
Dans le cas de la molécule de glucose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ), les réactions globales sont les suivantes :

- **La respiration :**



La molécule du glucose est complètement oxydée en  $\text{CO}_2$  et permet la production de 36 ATP par mole de glucose.

- **La fermentation alcoolique :**



L'oxydation de la molécule de glucose est incomplète : il y a production d'un composé secondaire organique, ici l'éthanol, et une production de seulement 2 ATP par mole de glucose.

### III/ La respiration cellulaire et la régénération de l'ATP

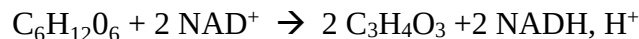
La respiration cellulaire comporte plusieurs étapes.

#### 1) Une première étape : la glycolyse dans le cytoplasme :

La dégradation d'une molécule de glucose ( $C_6H_{12}O_6$ ) commence dans le cytoplasme (ou cytosol) des cellules. C'est un ensemble de réactions, appelé glycolyse, au cours desquelles :

- le glucose est oxydé en deux molécules d'acide pyruvique ( $C_3H_4O_3$ );
- des atomes d'hydrogène du glucose sont pris en charge par des composés  $NAD^+$  (Nicotinamide adénine dinucléotide) qui sont alors réduits en  $NADH, H^+$ .

Le bilan de la glycolyse, s'écrit donc ainsi :



L'énergie libérée par la glycolyse permet **de produire 2 molécules d'ATP** pour une molécule de glucose oxydée.

#### 2) Une deuxième étape : le cycle de Krebs dans la matrice des mitochondries :

Les mitochondries sont les organites où se déroule l'essentiel de la respiration cellulaire. Ce sont de petits organites, particulièrement nombreux dans les cellules aux besoins énergétiques importants, comme les fibres musculaires. Une mitochondrie est limitée par une double membrane, la membrane interne formant des replis appelés crêtes mitochondriales, et délimitant un volume interne, la matrice.

Dans la matrice mitochondriale, l'acide pyruvique subit une série de réactions constituant un cycle appelé cycle de Krebs. Au cours de ces réactions, l'acide pyruvique est totalement dégradé. C'est l'origine du dioxyde de carbone rejeté par la respiration.

Cette dégradation produit aussi des électrons et des ions hydrogène, pris en charge par les composants  $NAD^+$ .

Pour les deux molécules d'acide pyruvique issues de la glycolyse d'une molécule de glucose, il se forme ainsi 6 molécules de  $CO_2$  et 10  $NADH, H^+$ .

Le bilan du cycle de Krebs est donc :



Ces réactions libèrent de l'énergie permettant **de produire 2 molécules d'ATP**.

#### 3) Une troisième étape, au niveau des crêtes des mitochondries :

Les crêtes mitochondriales sont riches en molécules qui constituent ce qu'on appelle la chaîne respiratoire mitochondriale.

Il s'agit de diverses molécules enchâssées dans la membrane de la mitochondrie et situées à proximité les unes des autres. Par une série d'oxydoréductions, cet ensemble oxyde les composés  $NADH, H^+$  : les électrons et les ions hydrogène sont transférés jusqu'à un accepteur final qui n'est autre que le dioxygène.

Ce dernier est alors réduit pour former de l'eau. C'est donc à ce stade, en tant qu'accepteur final des électrons et de l'hydrogène, qu'intervient le dioxygène nécessaire à la respiration.

Les réactions d'oxydoréduction de la chaîne respiratoire permettent, pour 12  $NADH, H^+$  oxydés (deux provenant de la glycolyse et dix du cycle de Krebs), **une production de 32 molécules d'ATP**.

À partir d'une molécule de glucose totalement oxydée lors des diverses étapes de la respiration, **36 molécules d'ATP** environ sont produites, pour l'essentiel au niveau de la chaîne respiratoire mitochondriale.

- ♦ *L'oxydation du glucose comprend la glycolyse (dans le cytoplasme) puis le cycle de Krebs (dans la mitochondrie) : dans leur ensemble, ces réactions produisent du CO<sub>2</sub> et des composés réduits NADH, H<sup>+</sup>.*

*La chaîne respiratoire mitochondriale permet la réoxydation des composés réduits, par la réduction de dioxygène en eau.*

*Ces réactions conduisent à la production d'ATP qui permet les activités cellulaires. Il existe une autre voie métabolique dans les cellules musculaires, qui ne nécessite pas d'oxygène et produit beaucoup moins d'ATP.*

#### **IV/ : Les voies métaboliques assurant la contraction :**

##### **1) Les différentes voies de génération de l'ATP :**

Les fibres musculaires ont la capacité d'effectuer une fermentation lactique. Cette voie métabolique a l'avantage de pouvoir procurer rapidement de l'ATP, sans nécessiter d'apport accru de dioxygène.

La glycolyse, réalisée à partir du glucose issu des réserves du glycogène produit en effet de l'ATP. Ce mécanisme a cependant un rendement faible, car il consomme beaucoup de réserves glucidiques pour une production d'ATP relativement modeste.

En outre l'acide lactique produit une fermentation abaisse le pH musculaire, ce qui contribue à la fatigabilité et conduit parfois à l'épuisement.

La respiration est le mécanisme le plus efficace pour produire durablement de l'ATP. L'ensemble des réserves énergétiques de l'organisme, et non celles du muscle seulement, peuvent être mobilisées et le rendement en ATP est élevé.

Cependant, cette voie de production d'ATP est limitée par l'approvisionnement des cellules en dioxygène, lui-même soumis aux capacités de l'appareil respiratoire (VO<sub>2</sub> max) et circulatoire. On comprend la nécessité d'une bonne oxygénation au cours d'un effort physique.

##### **2) Le métabolisme des fibres musculaires :**

Un muscle squelettique renferme des fibres musculaires spécialisées dans des efforts de nature différente :

- **Des fibres lentes, de type I (fibres rouges) :** riches en mitochondries, d'une puissance modérée, mais très résistantes à la fatigue. Leur voie principale de régénération de l'ATP est la respiration. Ces fibres sont sollicitées lors d'exercices d'endurance.
- **Des fibres rapides, de type II (fibres blanches) :** pauvres en mitochondries, très puissantes mais peu résistantes à la fatigue. Elles régénèrent l'ATP principalement par fermentation lactique. Elles sont sollicitées pour des exercices intenses de courte durée.

Au cours d'un exercice, les faibles réserves d'ATP instantanément mobilisées permettent de réaliser immédiatement le travail musculaire. Selon l'intensité et la durée de l'exercice, la fermentation lactique puis la respiration prennent le relais, permettant le maintien du travail musculaire. Le muscle adapte donc son métabolisme au type d'effort.

## V/ L'adaptabilité du muscle squelettique aux pratiques sportives :

### 1) La plasticité du muscle à l'entraînement :

Les muscles s'adaptent continuellement à des changements d'activité par un remodelage de leur phénotype. La proportion des types de fibres I ou II composant les muscles, génétiquement déterminée, est différente selon les individus.

Des études tendent à montrer qu'un entraînement physique ciblé peut cependant modifier cette proportion des fibres et produire des remaniements dans la structure et le métabolisme des cellules musculaires.

Par exemple, un entraînement d'endurance recrute spécifiquement les fibres de type I et quelques fibres de type II. Il augmente à la fois le calibre des fibres musculaires, la densité des capillaires sanguins et le nombre des mitochondries. Il stimule l'expression des gènes codant pour les enzymes impliquées dans la glycolyse et le cycle de Krebs, améliorant ainsi le métabolisme respiratoire.

Ces modifications, qui ont lieu au sein des muscles, combinées avec les adaptations des systèmes cardiaque et respiratoire, améliorent la performance et l'endurance.

- ♦ ***Les métabolismes anaérobie ou aérobie dépendent du type d'effort à fournir.***

### 2) Les effets de certaines substances exogènes :

Afin d'améliorer leurs performances, certains sportifs ont recours au dopage. Ils détournent de leur usage médical des molécules comme les stéroïdes anabolisants qui sont des dérivés de la testostérone.

Pris à forte dose, ces produits augmentent la masse et la force musculaire. L'augmentation de la masse musculaire induite par la testostérone est associée à une hypertrophie des fibres musculaires et non à une augmentation de leur nombre.

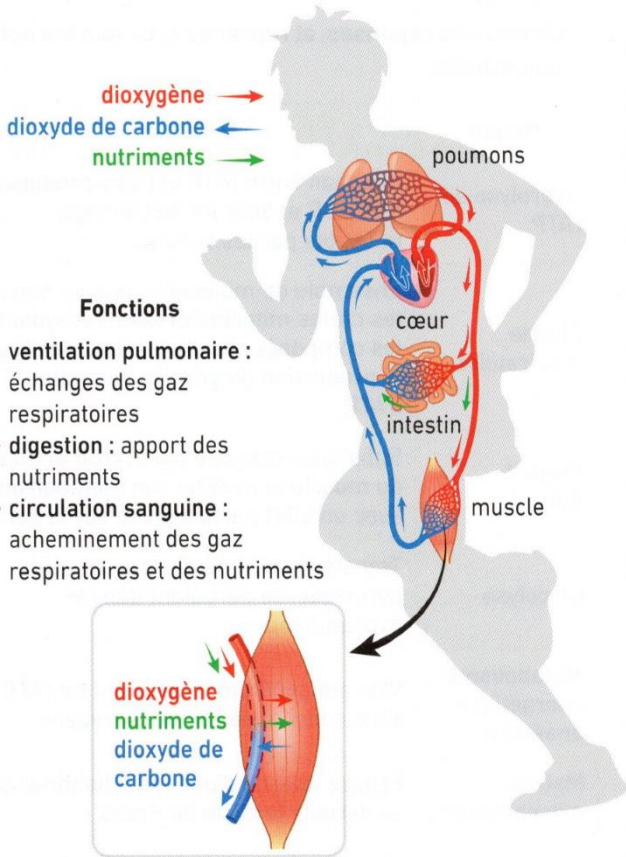
En fusionnant avec des cellules souches satellites, les fibres musculaires synthétisent davantage de protéines musculaires ce qui entraîne leur hypertrophie.

Malheureusement, outre l'acte de tricherie qu'il constitue, le dopage a des effets secondaires catastrophiques. Il peut entraîner à court terme des lésions musculaires et tendineuses et à long terme cancers, stérilité, voire masculinisation du corps pour les athlètes féminines.

- ♦ ***Des substances exogènes peuvent intervenir sur la masse ou le métabolisme musculaire, avec des effets parfois graves sur la santé.***

# L'origine de l'ATP nécessaire à la contraction musculaire

## Des échanges nécessaires à la respiration cellulaire



## L'adaptabilité du phénotype musculaire

Exercices d'endurance



Métabolisme aérobie (respiration)

- fibres lentes, riches en mitochondries
- muscle très vascularisé (oxygénation)

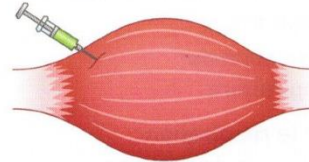
Efforts courts et puissants



Métabolisme anaérobie (fermentation lactique)

- fibres rapides, riches en réserves de glycogène
- muscle peu vascularisé

Produits dopants



Métabolisme hors normes

- muscle hypertrophié
- **risques de blessure**
- **effets secondaires potentiellement gravissimes**

## Le métabolisme des cellules musculaires

