

# L'énergie et le sport

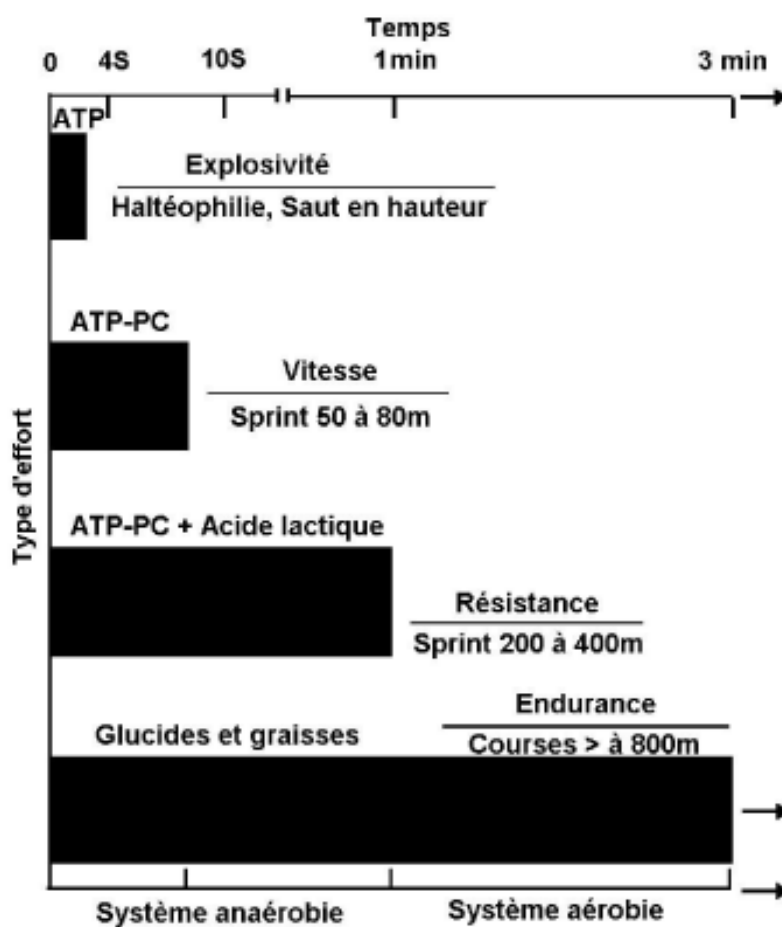
Par Alain Carpentier

Laboratoire de Biologie Appliquée et Unité de Recherche en Neurophysiologie

Institut Supérieur d'Education Physique et de Kinésithérapie (ISEPK)

La pratique sportive ou la réalisation d'un geste sportif entraîne une dépense énergétique dont le coût dépend essentiellement de la durée et de l'intensité de l'exercice. L'énergie nécessaire à la contraction du muscle est fournie par les aliments et stockée à l'intérieur de nos cellules par un intermédiaire à haute énergie, appelé adénosine triphosphate (ATP). Mais la concentration cellulaire de ce composé riche en énergie est faible et il apparaît donc nécessaire de le resynthétiser au fur et à mesure qu'il est dégradé. Trois processus interviennent pour assurer en permanence cette production cellulaire d'ATP : un processus anaérobie alactique, un processus anaérobie lactique et un processus aérobie. La contribution relative de chacun de ces systèmes dépend du type d'effort à fournir. Les exercices à très haute intensité font appel au métabolisme anaérobie tandis que les exercices de plus longue durée et d'intensité moindre puisent l'énergie nécessaire dans le métabolisme aérobie.

La réalisation d'une pratique sportive entraîne une dépense énergétique dont l'importance est fonction essentiellement de la durée et de l'intensité de l'exercice (cf. figure ci-dessous).



Contribution des différents processus énergétiques

Les muscles ne peuvent pas extraire l'énergie utile à leur contraction directement à partir des aliments. Nous disposons d'un intermédiaire entre l'énergie libérée par les aliments et l'énergie nécessaire à la contraction musculaire. Cet intermédiaire est un composé phosphoré : l'**ATP**, ou **adénosine triphosphate**, dont la rupture (hydrolyse) par l'enzyme ATPase libère l'énergie directement utilisable par la cellule musculaire pour sa mise en tension. Cet ATP est l'élément indispensable à la contraction musculaire et constitue en réalité le "réservoir" d'énergie cellulaire, dans lequel puise la cellule pour réaliser l'ensemble de ses activités. Mais la faible concentration de ce composé "riche en énergie" ne permet de réaliser qu'un exercice bref, comme une simple détente verticale. Il apparaît donc nécessaire de remplir ce "réservoir" au fur et à mesure qu'il se vide. Trois processus vont intervenir pour assurer en permanence la resynthèse de l'ATP : un **processus anaérobie alactique** (1), un **processus anaérobie lactique** (2) et un **processus aérobie** (3).

Chaque processus est caractérisé par :

- un **décal d'intervention**;
- une **capacité** (ou réserve totale d'énergie, exprimée en calories ou en Joules);
- une **puissance** (ou quantité maximale d'énergie libérée par unité de temps, exprimée en Watts);
- un **rendement** (ou pourcentage de l'énergie utilisée par rapport à l'énergie libérée).

Pour illustrer ceci par une image simpliste - mais somme toute assez proche de la réalité -, on pourrait dire que la capacité d'un sportif, pour un processus donné, correspond à l'autonomie d'une voiture, tandis que sa puissance pourrait être assimilée à sa vitesse de pointe et son rendement à sa consommation moyenne.

### **Le processus anaérobie alactique:**

Ce processus correspond au mécanisme de synthèse de l'ATP et donc d'apport énergétique en l'absence d'oxygène O<sub>2</sub> (**anaérobie**) et sans production d'acide lactique (**alactique**). Les cellules musculaires disposent de faibles réserves en ATP, mais d'importantes réserves en ADP (adénosine diphosphate) et en PC (phosphocréatine). Ces molécules sont capables en présence d'enzymes adéquates de "transférer" un P<sub>i</sub> (phosphate inorganique) d'une molécule à l'autre. Ce transfert, qui porte le nom de **transphosphorylation**, est très rapide et met rapidement de nouvelles molécules d'ATP à la disposition de la contraction musculaire.

- en présence d'une créatine-phospho-kinase (CPK)



- en présence d'une myokinase



Ces réactions de transphosphorylation sont facilitées par la diminution de la concentration intracellulaire en ATP et par l'augmentation (généralement concomitante) de la concentration en ADP. D'autre part, ces processus qui se déroulent presque instantanément sont d'une grande puissance (400 W/min chez le sédentaire et 750 W/min chez le sportif confirmé) et ont un rendement élevé ( $\pm 41\%$ ), mais sont d'une capacité très faible et ont une durée d'intervention maximale brève ( $\pm 7$  sec), limitée par l'épuisement des réserves intracellulaires en ADP et PC.

## Le processus anaérobie lactique

Dans le cas d'un effort maximal d'une minute environ, l'apport énergétique reste essentiellement anaérobie. En revanche, pour ce type d'effort, il y a une production élevée d'acide lactique au niveau musculaire. C'est la raison pour laquelle ces processus, qui contribuent à resynthétiser des ATP en dégradant du glucose, sans utilisation d'O<sub>2</sub>, mais en produisant de l'acide lactique, sont appelés **anaérobie lactique**.

Dans le muscle, le glucose est stocké sous forme de glycogène. La dégradation de ces molécules est catalysée par des enzymes spécifiques et peut se résumer de la manière suivante (cf. fig. ci-contre):

Le glucose, véhiculé par la circulation sanguine, pénètre dans la cellule musculaire en lui coûtant 1 ATP par molécule.

Dans le milieu intracellulaire, la molécule de glucose est transformée en glucose-6-phosphate et/ou stockée de manière réversible sous forme de glycogène.

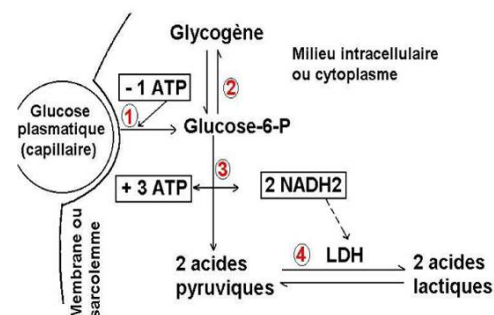
La molécule de glucose-6-phosphate est dégradée en 2 molécules d'acide pyruvique ce qui libère de l'énergie permettant de synthétiser 3 ATP.

En l'absence d'O<sub>2</sub>, les 2 molécules d'acide pyruvique se "transforment" en 2 molécules d'acide lactique en présence d'une lactico-déshydrogénase (LDH).

En anaérobiose, une molécule de glucose dépense 1 ATP pour pénétrer dans la cellule, puis se décompose en 2 acides lactiques, libérant ainsi de l'énergie pour synthétiser 3 ATP. Le bilan final est donc de 2 ATP. Ces processus, qui sont déclenchés dès le début de la contraction, ont un délai d'autant plus court que la baisse initiale d'ATP a été importante mais ne devient en réalité efficace qu'après 20 à 30 sec. C'est en réalité un système dont la puissance est liée à la capacité d'accumuler des lactates intracellulaires et donc au degré d'entraînement (puissance maximale de 200-250 W/min à 500 W/min chez le sportif entraîné). Cette puissance maximale peut être maintenue de la 30ème à la 50ème seconde. Le rendement de ces processus n'est que de  $\pm 26\%$ .

## Le processus aérobie

Lorsque l'intensité de l'effort diminue et que sa durée augmente au-delà d'une minute, l'approvisionnement énergétique se fait de plus en plus avec apport d'oxygène (aérobie). Ce processus mène à la synthèse des molécules d'ATP, en présence d'O<sub>2</sub> et à partir des substrats qui sont essentiellement les **glucides** (a) et les **lipides** (b), accessoirement les protéides.

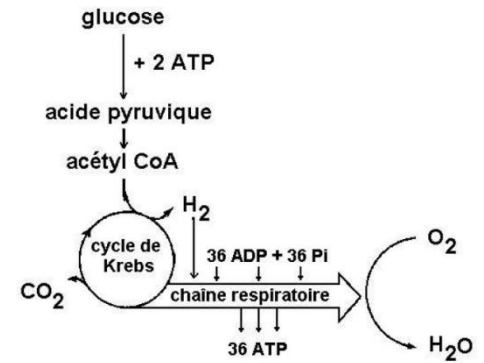


Représentation schématique des processus anaérobie lactique

## La glycolyse aérobie

En présence d'O<sub>2</sub>, l'acide pyruvique s'associe au CoA (coenzyme A) pour donner l'acétyl-coenzyme A (acétyl-CoA). Ce dernier est oxydé dans la mitochondrie, par un ensemble de réactions appelé **cycle de Krebs**, qui produit du CO<sub>2</sub> (gaz carbonique) et de l'H<sub>2</sub> qui, quant à lui, est fixé sur des "transporteurs" qui l'acheminent vers la chaîne des réactions respiratoires, où seront synthétisés les ATP (fig. ci-contre).

Le bilan final de la glycolyse aérobie, au départ d'une molécule de glucose, est de 38 ATP.

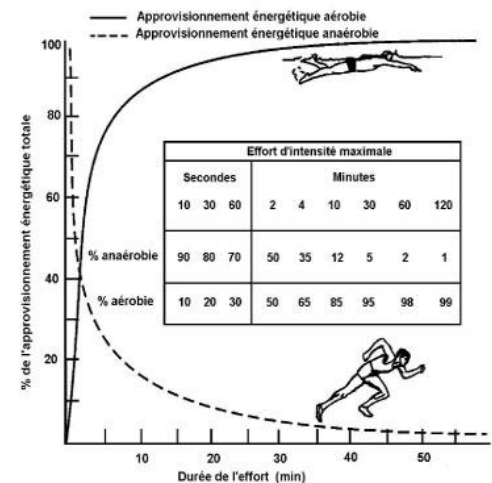


Représentation schématique de la glycolyse aérobie.

## La lipolyse

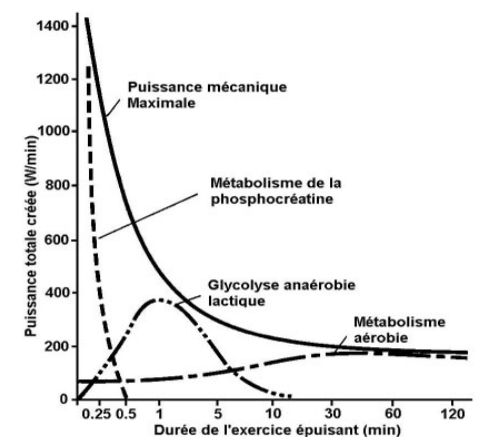
Le muscle utilise principalement les AGL (acides gras libres), provenant de la dégradation des triglycérides. Ces derniers se trouvent initialement dans le plasma, les tissus adipeux et dans les cellules musculaires. La dégradation des triglycérides donne 3 AGL et une molécule de glycérol. Ce dernier emprunte la voie de la glycolyse (fig.précédente). Les AGL sont quant à eux oxydés (β-oxydation) pour former l'acétyl-CoA qui est oxydé à son tour au niveau du cycle de Krebs. La quantité de molécules d'ATP produite est très élevée. En effet, la dégradation du glycérol produit 22 ATP et celle des 3 AGL en produit 441, ce qui fait un total de 463 ATP par molécule de triglycéride.

Ces processus (glycolyse aérobie et lipolyse), présents dès le début de l'effort, n'atteignent leur intensité maximale que lorsque le système cardio-respiratoire et circulatoire est complètement adapté à l'exercice (c'est-à-dire 1 à 3 min après le début de l'effort selon l'âge et le niveau d'entraînement). D'autre part, la puissance maximale du processus aérobie, qui est définie par la VO<sub>2</sub> max (consommation maximale d'oxygène) est limitée par les capacités maximales de transport et d'utilisation de la cellule (60 à 120 W/min suivant l'âge, le sexe, le niveau d'entraînement mais également liée aux facteurs héréditaires). La capacité de production d'énergie de ces processus est théoriquement illimitée dans la mesure où les réserves de glucides et de lipides sont quasiment inépuisables. Le rendement moyen de ces processus se situe à 25-26% selon les sujets et les facteurs cités précédemment.



Apport relatif des systèmes anaérobie et aérobie durant un effort physique maximal de durées différentes

La figure ci-contre explique le rapport entre les systèmes aérobie et anaérobie pour un effort maximal en fonction du temps. Il ne faut pas oublier que l'apport relatif des systèmes énergétiques est différent lorsque l'on ne fournit pas un effort maximal. Si l'on entame son effort par une course à allure calme, le système anaérobie est moins sollicité parce que l'intensité demandée est nettement moindre, ce qui a pour conséquence immédiate que l'on atteint rapidement un équilibre entre les besoins en oxygène et sa consommation. A ce moment, c'est le système aérobie qui reprend très rapidement à son compte la majeure partie de l'approvisionnement énergétique.



Diminution de la puissance mécanique maximale créée sur cycle ergomètre en fonction du temps et contribution estimée des apports énergétiques des différents processus.

D'autre part, l'enchaînement des processus de resynthèse de l'ATP en fonction de l'exercice est schématisé dans la figure suivante. L'avantage des métabolismes anaérobies est qu'ils ont une haute puissance de resynthèse de l'ATP, permettant la réalisation d'exercices à très haute intensité (vitesse et/ou force élevée) et donc demandant une puissance élevée. De plus, leur délai d'intervention est nul puisqu'ils ne requièrent pas d'oxygène et ne dépendent

Université libre de Bruxelles - 2002 - INFORSCIENCES  
Sciences.be - la science à portée de clic !

pas des délais d'ajustement des paramètres cardio-respiratoire et circulatoire.  
Par contre leur capacité totale est très faible.

En conclusion, la pratique sportive et indubitablement son entraînement ne se limitent pas à une analyse technico-tactique de la discipline mais requièrent de la part de l'entraîneur des connaissances physiologiques approfondies pour conseiller valablement les sportifs dont il s'occupe.