



FACULTE DES SCIENCES DU SPORT ET DU MOUVEMENT HUMAIN

L1 STAPS Toulouse

UE.6.2 - UE.13.3 Méthodologie du travail universitaire

APDP : Activités Physiques de Développement Personnel

## Les filières énergétiques

Cours de **Sophie GARNIER**

### 1. Introduction

### 2. Principes énergétiques de la contraction musculaire : la resynthèse de l'ATP

#### 2.1. Introduction

#### 2.2. Les 3 filières énergétiques

- 2.2.1. Courbe Howald
- 2.2.2. Processus anaérobie alactique
- 2.2.3. Processus anaérobie lactique
- 2.2.4. Processus aérobie ou oxydatif

### 3. Définitions

#### 3.1. $\dot{V}O_{2max}$

#### 3.2. Endurance

- 3.2.1. L'endurance en tant que qualité physique
- 3.2.2. L'endurance en demi-fond
- 3.2.3. Développement de l'endurance:

#### 3.3. Puissance et Capacité

#### 3.4. Puissance maximale aérobie (PMA)

#### 3.5. Vitesse maximale aérobie ou VMA

#### 3.6. Intensité

#### 3.7. Tableau des correspondances distance et VMA

#### 3.8. Les seuils

- 3.8.1. Le seuil aérobie :
- 3.8.2. Le seuil anaérobie :

### 4. Principes de développement des processus énergétiques

#### 4.1. Paramètres des actions pour le développement des processus énergétiques.

#### 4.2. Les tests

## 1. Introduction

L'activité physique met en jeu des ressources d'ordre bioénergétique, biomécaniques, bioinformatiques, affectives et relationnelles. Parmi les ressources bioénergétiques, celles liées à la production de l'énergie sont un élément fondamental pour les activités sportives à dominante bioénergétique et pour les activités physiques d'entretien ayant un objectif de santé. Dans un but de santé, il est recommandé pour les adultes et les seniors de pratiquer 30 minutes d'activité physique modérée de type aérobie par jour. Pour les enfants et les adolescents, une heure d'activité physique par jour est recommandée.

## 2. Principes énergétiques de la contraction musculaire : la resynthèse de l'ATP

### 2.1. Introduction

La contraction musculaire résulte du glissement de 2 fibres d'actine et de myosine.

**Cf diapos 3 et 4**

Ce glissement tire son énergie exclusivement de la dégradation de

**l'adénosine triphosphate (ATP) qui donne de l'adénosine diphosphate (ADP)**

**cf Diapo 5**

$ATP \rightarrow ADP + P + \text{énergie}$

2/3 de l'énergie est « perdue » en chaleur

1/3 seulement est utilisé pour la contraction (Rendement de 15 à 30 % selon les différents auteurs)

La chaleur doit être éliminée.

L'ATP n'est pas une énergie en réserve : le stock d'ATP dans l'organisme est très très faible, il permet de réaliser un exercice d'une durée d'une seconde environ. Il existe donc des systèmes de resynthèse de l'ATP que nous allons étudier : un mode anaérobie (sans oxygène) qui peut être alactique ou lactique et un mode aérobie (avec oxygène). Nous allons étudier ces 3 filières de resynthèse de l'ATP qui agissent dans un ordre constant.

### 2.2. Les 3 filières énergétiques

#### 2.2.1. Processus anaérobie alactique

Ainsi appelé car il n'utilise pas d'oxygène et ne produit pas d'acide lactique. Dans ce processus qui intervient presque immédiatement, la resynthèse de l'ATP est assurée par une substance riche en phosphore : **la Créatine-Phosphate (P.C.)** encore appelée **phosphocréatine**. L'ensemble, réserves de phosphocréatine et ATP, constitue **le phosphagène**.

**cf Diapo 6**

Schématisons le processus :

$P.C. + A.D.P \rightarrow A.T.P. + \text{Créatine}$

Cette réaction resynthétise l'ATP à un très grand débit (grande puissance) mais sa capacité est limitée (faible capacité). Ceci est dû au faible taux de P.C. au niveau musculaire. On considère que, sollicité à pleine puissance, ce processus s'épuise après quelques secondes (7" à 10") à 100 %, 20 à 30" à 70 % de la  $\dot{V}O_2\text{max}$  (cf définition ci-dessous).

Cette source énergétique qui ne nécessite pas la présence d'oxygène et ne s'accompagne pas de formation d'acide lactique est appelée source **anaérobie alactique**. Pour poursuivre l'exercice, un second processus va donc s'enclencher. Il est en effet stimulé par la présence de créatine au niveau musculaire.

#### 2.2.2. Processus anaérobie lactique

Ainsi appelé car il n'utilise pas d'oxygène mais produit de l'acide lactique au niveau musculaire. Cette fois, c'est la dégradation d'une autre substance intramusculaire - **le glycogène** - qui va permettre la resynthèse de l'A.T.P.

Nous appellerons cette réaction : "**glycolyse anaérobie**". Cette glycolyse débute quelques instants après le début de l'exercice. Elle possède une puissance de resynthèse de l'ATP inférieure à celle du processus anaérobie alactique, mais toutefois élevée. Sa capacité de production est par contre plus importante. Sollicitée à plein, elle assure la poursuite de l'exercice pendant environ 2 minutes. Cette capacité est d'ailleurs essentiellement limitée par l'accumulation de **lactate** au niveau musculaire qui agit sur la contraction en diminuant son efficacité. Une augmentation trop importante du taux de lactate pourrait même déterminer un arrêt de l'exercice. Il est donc nécessaire de trouver une nouvelle source d'énergie capable d'assurer la resynthèse de l'ATP tout en limitant le taux de lactate dans l'organisme.

### 2.2.3. Processus aérobie ou oxydatif

Comme son nom l'indique, c'est l'oxydation de divers **substrats** glucides et ou acides gras (dans les mitochondries) qui va produire la resynthèse de l'ATP.

L'oxygène apporté au niveau de la cellule musculaire vient oxyder le glycogène et les acides gras qui entrent en sa présence, ce qui aboutit à la production de **gaz carbonique, d'eau, de chaleur, et d'une grande quantité d'énergie** qui donnera à ce processus une grande capacité de resynthèse de l'ATP. Les processus oxydatifs peuvent assurer le maintien et la poursuite d'un exercice pendant plusieurs dizaines de minutes, voire pendant plusieurs heures, mais avec une puissance de resynthèse extrêmement réduite.

En présence d'oxygène, la dégradation complète des glucides (et éventuellement des lipides) fournit une très importante quantité d'énergie. Ce mécanisme donne le bilan énergétique le plus favorable, au moins au plan de la quantité d'énergie, notamment pour deux raisons :

- la quantité de glucides et surtout de lipides disponibles est très importante. La complète oxydation des réserves de glucide et de glycogène permettent de réaliser un exercice de 90 minutes à 70 % de  $\dot{V}O_2$ . (Acides gras pour une puissance inférieure à 65 %  $\dot{V}O_{2max}$ )
- il n'y a pas d'accumulation de produits de dégradation qui peuvent limiter le mécanisme ( $CO_2$  et eau sont très facilement éliminés).

Il est bien sûr évident que ce mécanisme est étroitement dépendant de l'apport d' $O_2$  au niveau du muscle.

Celui-ci est assuré par le fonctionnement synergique des systèmes de prélèvement (ventilation) et de transport (circulation) de l'oxygène. Il en découle plusieurs conséquences, notamment au cours de l'exercice, lorsque les besoins en oxygène augmentent pour couvrir la dépense énergétique accrue :

- un certain retard (3 minutes environ), par rapport au début de l'exercice, correspondant à une phase transitoire pendant laquelle l'énergie utilisée par le muscle est dérivée essentiellement des deux mécanismes précédents ;
- un débit d'énergie (puissance) relativement faible, qui correspond à la consommation maximale d'oxygène du sujet ;
- une limitation du système, non pas à cause de la quantité de glucides (ou de lipides) disponible mais par la quantité d' $O_2$  pouvant être apportée au musclé. (Le facteur limitant est en fait lié aux caractéristiques du système circulatoire (débit cardiaque)).

### 2.2.4 Courbe Howald

Cette courbe schématise et synthétise les trois processus énergétiques

**Cf diapo 7**

## 3. Définitions

### 3.1. $\dot{V}O_{2max}$

La consommation maximale d'oxygène ou  $\dot{V}O_{2max}$ .

Le  $\dot{V}O_2$  Max. d'un individu est le volume maximal d'oxygène qu'il peut consommer par unité de temps au cours d'un exercice suffisamment intense pour le conduire jusqu'à l'épuisement, et mettant en jeu des masses musculaires importante. Elle s'exprime en litres par minute (L/mn) ou millilitres par minute et par kilogrammes de masse corporelle (ml/mn/kg).

Le  $\dot{V}O_{2max}$  est le facteur de la performance des activités aérobies qui a le plus d'importance .

Exemple de valeurs de  $\dot{V}O_{2max}$  :

**Dans la population :**

18 / 22 ans modérément actifs :

38 à 42 ml/kg/mn chez les femmes

44 à 50 ml/kg/mn chez les hommes

Après 25 / 30 ans, baisse de 1 % par an. Effets de l'âge et de la sédentarité

Sédentaires : 20 à 25 ml/kg/mn

La  $\dot{V}O_2\text{max}$  est un indicateur de santé. Statistiquement, les sujets ayant une bonne  $\dot{V}O_2\text{max}$  ont une longévité plus longue que les sédentaires.

**Chez le sportif (ve) de haut niveau :**

80 à 84 chez hommes pratiquant des courses d'endurance. La valeur la plus élevée a été relevée chez un skieur de fond norvégien champion du monde : 94 ml kg<sup>-1</sup>mn<sup>-1</sup>, 74 ml kg<sup>-1</sup>mn<sup>-1</sup> chez une skieuse russe.

## 3.2. Endurance

L'endurance est la capacité de maintenir longtemps un pourcentage élevé de sa puissance maximale aérobie (PMA).

### 3.2.1. Développement de l'endurance:

Développer l'endurance, c'est aussi bien développer la faculté de soutenir plus longtemps un effort d'intensité inchangée, que la faculté de produire un effort d'intensité supérieure pendant une durée identique.

Ceci implique une différenciation pour caractériser ces 2 types d'effort : puissance et capacité Pradet (1996).

## 3.3. Puissance et Capacité

Il est fondamental de différencier clairement **la capacité énergétique** d'un processus, qui est la quantité totale d'énergie qu'il peut fournir et **la puissance** qui est la quantité d'énergie consommée par unité de temps, ce qui n'est pas la même chose.

Ceci nous amène à comprendre que tous les efforts soient des "puissances", autrement dit des débits d'énergie par unité de temps, que l'on a l'habitude d'appeler intensités. Un moyen simple pour bien comprendre la différence est de représenter schématiquement la capacité par un réservoir, la puissance par le carburateur, quant à la durée c'est le rapport des deux. Donc pour la même capacité, plus le débit est élevé, plus l'effort est court et vice versa

## 3.4. Puissance maximale aérobie (PMA)

**Une puissance, est un débit d'énergie c'est à dire une quantité d'énergie dépensée par unité de temps.** Son unité conventionnelle est le watt.

C'est la traduction objective et opérationnelle de la  $\dot{V}O_2\text{max}$  en puissance. La PMA est donc, la puissance développée par minute au cours d'un effort qui sollicite une consommation d'oxygène égale à son  $\dot{V}O_2\text{max}$ .

## 3.5. Vitesse maximale aérobie ou VMA

**C'est la vitesse de déplacement qui correspond à la consommation d'oxygène maximale ou puissance maximale aérobie. Il est intéressant de faire la correspondance entre fréquence cardiaque et pourcentage de VMA. La VMA est l'allure caractéristique du 2000m. Elle est un indice pédagogique.**

## 3.6. Intensité

C'est un pourcentage du maximal possible.

**cf diapo 8**

La relation entre vitesse et fréquence cardiaque est linéaire. Plus la pente est faible, plus le coureur est performant.

### 3.7. Tableau des correspondances distance et VMA pour des athlètes

Cf diapo 9

Pourcentage VMA	Distance	Durée
100	2000m.	5 / 7 min.
95 - 100	3000	7.5 / 10 min.
90 - 95	5000	13 / 16 min.
80 - 90	10 000	26 / 36min.
75 - 80	20 000	1h / 1h 45
70 - 75	Marathon	2h10 / 2h 30

Communiqué par SENERS P., colloque ½ fond, Toulouse, Nov. 1995.

Valeurs pour sportifs confirmés

### 3.8. Les seuils

On peut évaluer la position des seuils en se servant de l'indice de mesure "lactatémie".

#### 3.8.1. Le seuil aérobie :

**Seuil aérobie:** Très légère production de lactates Production d'environ 2 mmoles de lactates / litre de sang. Correspond en moyenne à environ 65 % du  $\dot{V}O_2$ max.

#### 3.8.2. Le seuil anaérobie :

Seuil de vitesse à partir duquel le métabolisme anaérobie intervient massivement dans le renouvellement de l'ATP. A partir de ce seuil, il faut travailler par intervalles (voir méthode de développement des capacités aérobies et anaérobies). Correspond en moyenne à environ 85 % du  $\dot{V}O_2$ max.

On atteint et dépasse le niveau de la PMA avec une dette d'O<sub>2</sub> importante et un arrêt rapide de l'exercice.

## 4. Principes de développement des processus énergétiques

M. PRADET montre comment cinq principes de base peuvent être réemployés dans la constitution de plans d'entraînement.

**Principe n°1 :** Pour développer un processus énergétique, il faut impérativement avoir recours à des activités physiques imposant des efforts de type global, qui mettent en jeu plus des 2/3 des masses musculaires (Course, ski, natation, cyclisme...).

**Principe n°2 :** Il existe pour chaque processus un seuil en dessous duquel il n'existe aucune amélioration fonctionnelle. On fait de l'entretien. Cette intensité minimale augmente avec le niveau de l'athlète doit cependant se situer à des valeurs proches des limites maximales du processus travaillé.

**Principe n°3 :** Pour obtenir une amélioration et durable d'un processus, il faut développer sa puissance (intensité maximale) et sa capacité (Quantité d'énergie totale qu'il est capable de fournir). Si on ne travaille qu'un seul aspect, on va régresser dans l'autre et cela va entraîner à long terme de la fatigabilité, des blessures.

**Principe n°4:** Pour développer la puissance (intensité) d'un processus énergétique, on a recours à des efforts correspondants à l'intensité maximale de ce processus et même à des intensités dépassant ce maximum (intensité supra-maximale). La durée des efforts doit rester inférieure à la durée max. durant laquelle le processus peut assurer la fourniture énergétique de la contraction musculaire.

**Principe n°5 :** Pour développer la capacité d'un processus énergétique, on emploiera des intensités inférieures à l'intensité maximale du processus. Leur durée sera supérieure à la durée à laquelle le processus finit par s'épuiser.

## 4.1. Paramètres des actions pour le développement des processus énergétiques.

On définit un entraînement par cinq paramètres.

### 4.1.1. Intensité de l'action :

Elle varie en fonction du processus énergétique à travailler, ainsi que du secteur que l'on veut développer (puissance ou capacité). Elle s'exprime en % du maximum.

### 4.1.2. Durée de l'action :

Elle varie en fonction du processus énergétique à travailler. Elle est complémentaire de l'intensité.

### 4.1.3. Durée de la récupération :

Elle est essentielle pour maîtriser les effets d'un exercice. On travaille sur la restauration plus ou moins complète du potentiel énergétique. Elle participe aussi dans la régulation de l'accumulation des charges de travail.

### 4.1.4. Nature de la récupération :

Il faut aussi maîtriser la nature de sa récupération (active ou passive). L'entraîneur peut ainsi prolonger, accentuer ou réduire les effets des charges de travail qu'il propose.

### 4.1.5. Quantité totale de travail :

On détermine ici le moment à partir duquel un exercice répété va perdre ou gagner en efficacité, à partir de quel moment il est efficace.

OU entretien intensité, durée, fréquence, nature de l'activité, récupération.

### 4.1.6. Conclusion:

Ces cinq paramètres sont incontournables pour cibler le travail sur un objectif particulier. L'entraîneur pourra ainsi déterminer la charge de travail. Ils doivent être tous présents pour optimiser l'entraînement et le rendre efficace.

## 4.2. Les tests

Les tests de terrain sont plus faciles à réaliser qu'en laboratoire, mais ils sont moins fiables.

Ils estiment la  $\dot{V}O_2\text{max}$ .

Ils permettent de connaître à un moment précis de la saison l'état de la condition physique. Ils permettent de définir des critères d'intensité individuels de l'entraînement ou d'une programmation.

Ils servent pour évaluer l'efficacité de l'entraînement, pour ensuite le réajuster.

Exemple de tests :

### Epreuves continues

COOPER : Test rectangulaire maximal continu. Il s'agit en 12 min. de parcourir la plus grande distance possible. Il permet de calculer une équivalence du  $\dot{V}O_2\text{max}$ . grâce à l'opération :

$$\dot{V}O_2\text{max (ml}\cdot\text{mn}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}) = (22.351 \times \text{dist en km}) - 11.288$$

Variante : 2400m

LEGER – BOUCHER (1980) : Epreuve collective test triangulaire maximal continu. Des plots sont disposés tous les 50m. Le rythme est donné par une cassette. Il faut ajuster sa vitesse au signal d'arrivée au niveau du plot. La vitesse augmente de 1 km/h toutes les minutes. Le dernier palier atteint représente VMA.

Test de deux km marche : il permet aussi d'estimer la  $\dot{V}O_2\text{max}$  pour des séniors ou des sédentaires.

**Epreuve discontinue**

30/30 GACON - ASSADI : test rectangulaire maximal discontinu.

**Rectangulaire** : pas de progressivité de l'effort

**Maximal** : effort max. ou supra-max-

**Continu / discontinu** (intermittent)

**Références :**

Billat V. Physiologie et méthodologie de l'entraînement. De Boeck Université, 193p, 1998.

Cazorla G, Leger L, Larini JF. Travaux et recherches en EPS, INSEP, 7, 1984.

Dupré R, Janin D. La course longue, actio, 2001.

Fox, Mathews. Bases physiologiques de l'activité physique, vigot, 1996.

Gacon G, Assadi H. Vitesse maximale aérobie. Revue EPS, 222, 1990.

Pradet M. La préparation physique, INSEP, 1996.

