



## سنة ثانية ليسانس تدريب

### الدرس رقم 2

## الأنظمة الطاقوية

### Les filières énergétiques

Un effort se fait grâce à une mobilisation de forces existantes s'il y a production d'énergie. Celle-ci, chez l'être humain, est fournie par une molécule nommée **ATP (Adénosine Triphosphate)** présente dans la fibre musculaire et seule responsable de la contraction musculaire.

Cette molécule, en se dégradant va :

- libérer de l'énergie ;
- à permettre la contraction des fibres musculaires ;
- produire une force.

L'ATP, présente en très petite quantité dans l'organisme, peut assurer un effort violent d'environ deux secondes, soit l'équivalent d'un saut vertical unique ; elle va devoir être renouvelée (resynthétisée) en permanence pour avoir une continuité du travail musculaire. Suivant l'intensité et la durée de l'effort fourni, les sources d'énergie utilisées pour resynthétiser l'ATP sont différentes, et on se trouve alors dans une des filières anaérobie alactique, anaérobie lactique ou aérobie.

### \*Quelques principes

- Pas de contraction sans ressources énergétiques

- C'est l'énergie chimique qui assure la contraction musculaire
- La réaction se produit au niveau cellulaire
- La cellule transforme l'énergie chimique en énergie mécanique
- La cellule trouve son énergie sous forme de molécules riches en éléments phosphore : ATP

### **\* Production de l'ATP**

Utilisation du stock initial d'ATP au tout début (et pendant 2 à 3 sec.) du travail musculaire. L'ATP en se dégradant (grâce à des enzymes\* appelées ATPases) permet la production d'énergie mécanique (25%). Les résidus sont l'ADP (Adénosine Di phosphate) et de l'énergie calorique (75%).

### **\* Resynthèse de l'ATP**

Par la voie ANAEROBIE (Les réactions n'exigent pas la présence d'oxygène)

**A /Système ATP-PC** : c'est le premier système permettant de renouveler l'ATP. L'ATP est majoritairement resynthétisée grâce à l'ADP (molécule issue de l'ATP après dégradation) associée à la Créatine - Phosphate (CP) présente dans les cellules musculaires.

Cette réaction chimique est possible grâce aux enzymes (ici CPK créatine phosphokinase). Cette source, utilisable à intensité maximale pendant 7 seconds maximums et ne produisant pas d'acide lactique, fournit de l'énergie de façon intense et concerne les fibres à contraction rapide.

==> **Nous sommes dans la filière anaérobie alactique** (pas ou peu d'acide lactique produit).

**B/Système glycolytique** : une fois la source énergétique des phosphènes épuisée, de nouveaux substrats sont nécessaires pour assurer rapidement une resynthétisation de l'ATP. Ce sont des formes dérivées du glucide : le glycogène (stocké dans le foie et les muscles) et le glucose (sanguin).

La production d'énergie se déroulant dans le sarcoplasme musculaire (grâce au système enzymatique) permet un effort intensif "violent" mais limité en durée (30 sec. à 1 ou 2 mn pour une intensité moindre) et concerne les fibres à contraction rapide. La dégradation du glucose produit de l'ATP et de l'acide pyruvique destiné au cycle de Krebs\*\* mais qui se transforme en acide lactique en absence d'oxygène. L'acide lactique (lactates + ions+) accumulé dans les muscles et versé dans le sang altère le fonctionnement de la filière

énergétique, empêche la contraction musculaire, et participe à l'apparition de la fatigue et de la douleur musculaire lorsque la quantité dépasse un certain seuil.

==> **Nous sommes dans la filière Anaérobie lactique** (avec production d'acide lactique).

Par la voie **aérobie** (Les réactions exigent la présence d'oxygène)

**C/ Système oxydatif** : l'apport d'oxygène dans les fibres musculaires (essentiellement fibres à contraction lente) va permettre un énorme rendement énergétique. Plus de 90% de l'ATP synthétisée au niveau des cellules musculaires est fournie par la filière aérobie. La transformation se produit dans les mitochondries, centrales énergétiques permettant de transformer l'ATP dans les cellules musculaires.

L'apport énergétique principal provient des nutriments apportés par l'alimentation. Il s'agit :

- des glucides, indispensables et provenant des sucres ;
- des lipides, provenant des graisses et utilisés pour les efforts modérés supérieurs à 45 mn et sollicitant plus de 2/3 de la masse musculaire globale ;
- dans une moindre importance, des protéines sous la forme d'acides aminés provenant de la viande, poisson, œuf, etc.

Les déchets résiduels de cette dégradation aérobie seront de l'eau (sueur) et du gaz carbonique (respiration).

Cette filière, par l'intermédiaire du cycle de Krebs\*\*, permet aussi d'oxyder l'acide pyruvique issu de la glycolyse pour produire de l'énergie. Elle rend possible la réutilisation des lactates pour resynthétiser du glycogène ou de l'ATP. Le lactate est aussi un substrat important de la contraction du myocarde à l'effort. A ce titre on peut considérer le lactate non pas comme un déchet, mais comme une source d'énergie chimique. Seuls les acides devront être tamponnés dans le sang et éliminés dans les urines. C'est lorsque l'acide lactique devient trop important à traiter et transporter qu'il freine l'effort.

==> **Nous sommes dans la filière aérobie.**

Evidemment il serait faux de croire que les processus s'enchaînent successivement : ils démarrent tous immédiatement, mais ont des délais d'intervention différents et des possibilités de rendement étalé dans le temps. Il y a donc un chevauchement des processus suivant leur rapidité de disponibilité, l'intensité de l'exercice, l'apport suffisant d'oxygène, etc.

Pour résumer, la nature d'un effort va conditionner les processus mis en œuvre pour produire

l'énergie permettant d'assurer celui-ci. En fonction de sa durée et de son intensité, il y aura prédominance d'une filière mais les autres ne seront pas à l'arrêt.

Par exemple, lors d'un sprint de 10sec, tous les processus métaboliques interviennent : 4% pour l'ATP, 31% pour la phosphocréatine, 51% pour la glycolyse et 14% pour le processus aérobie.

### Enchaînement des processus énergétiques

#### **Pourcentages de contribution des processus métaboliques dans la production d'ATP -**

**D'après Newsholme et coll. (1992)**

Courses	Phosphocréatine (PCr) (%)	Glycogène anaérobie (%)	Glycogène aérobie (%)	Glucose sanguin (glycogène hépatique) (%)	Triglycérides (acides gras) (%)
100m	48	48	4	-	-
200m	25	65	10	-	-
400m	12,5	62,5	25	-	-
800m	6	50	44	-	-
1 500m (*)		25	75	-	-
5 000m (*)		12,5	87,5	-	-
10000m (*)		3	97	-	-
42195m (*)		1	74	5	20
80000m (*)		-	35	5	60

(\*) : dans ces épreuves la phosphocréatine est utilisée dans les premières secondes et, si elle est resynthétisée pendant la course, elle servira aussi pour l'accélération finale.

### **Les filières énergétiques**

Voies/filières	ANAEROBIE ALACTIQUE	ANAEROBIE LACTIQUE	AEROBIE
Sources	ATP - CP	Glycogène - Glucose	Glucides - Lipides
Délais d'intervention	Nul	De 7sec à 20sec	3mn (plein régime)
Oxygène	Non	Peu	Oui
Facteurs limitants	Epuisement des stocks d'ATP et CP	Taux d'acide lactique versé dans le sang (baisse	Vo2 Max Stock de glycogène

	Système enzymatique		du pH cellulaire)		Baisse des substrats	
			Système enzymatique		Chaleur	
Durée de reconstitution	ATP - CP Entre 2 et 5mn		Elimination du lactate en 1h Stock de glycogène en 48h		Stock de glycogène en 24 à 36h	
Produit du processus	ADP		Acide lactique (lactates)		Eau (sueur) + CO2	
Energie	Intensité très élevée mais faible quantité		Intensité très importante et en quantité moyenne		Intensité liée au VO2 MAX. et en grande quantité	
Aspect	Puissance	Capacité	Puissance	Capacité	Puissance	Capacité
Durée max. du mécanisme	=> 7sec	=> 15sec	=> 45sec	=> 2mn	=> 6 à 10mn	> 10mn
Qualités	Vitesse d'exécution	Endurance de vitesse	Résistance intensité	Résistance intensité	Résistance volume	Endurance

### La capacité et la puissance

Chacune des trois voies énergétiques est caractérisée par une **capacité** représentant une quantité d'énergie, et une **puissance** représentant une intensité d'énergie délivrée. Plus un exercice sera réalisé avec puissance, moins sa durée (sa capacité à maintenir un niveau d'effort) sera longue. Ceci va nous permettre de déterminer les voies énergétiques en fonction des qualités (vitesse, résistance, endurance) à développer.

### Les délais de surcompensation

Efforts réalisés dans la filière :

- Aérobie : 24 à 48h
- Anaérobie lactique : 48 à 72h
- Anaérobie alactique : 12 à 24h