

**Facteurs énergétiques**

Jeannot AKAKPO  
CESA

Jeannot AKAKPO 1

---

---

---

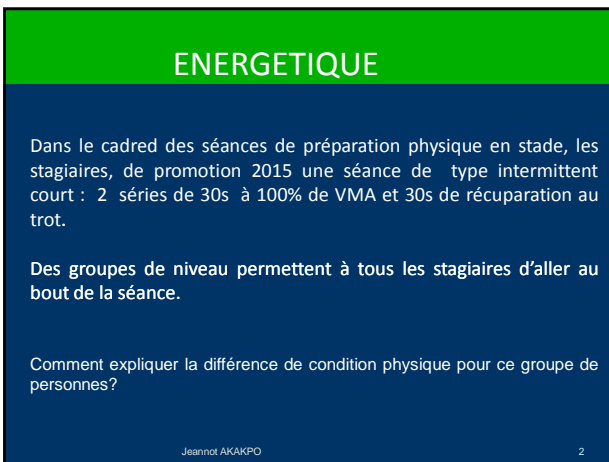
---

---

---

---

---



**ENERGETIQUE**

Dans le cadre des séances de préparation physique en stade, les stagiaires, de promotion 2015 une séance de type intermittent court : 2 séries de 30s à 100% de VMA et 30s de récupération au trot.

Des groupes de niveau permettent à tous les stagiaires d'aller au bout de la séance.

Comment expliquer la différence de condition physique pour ce groupe de personnes?

Jeannot AKAKPO 2

---

---

---

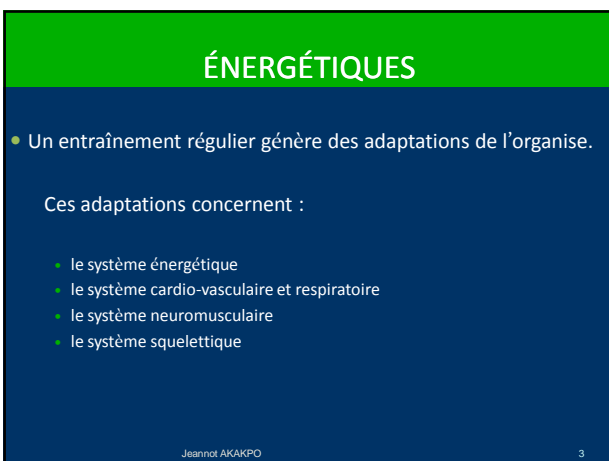
---

---

---

---

---



**ÉNERGÉTIQUES**

- Un entraînement régulier génère des adaptations de l'organisme.

Ces adaptations concernent :

- le système énergétique
- le système cardio-vasculaire et respiratoire
- le système neuromusculaire
- le système squelettique

Jeannot AKAKPO 3

---

---

---

---

---

---

---

---

## SUBSTRATS ÉNERGÉTIQUES

Quels sont les substrats énergétiques (carburants) que l'organisme utilise lors d'une activité physique ?

Jeannot AKAKPO

4

4

---

---

---

---

---

---

---

---

## ÉNERGÉTIQUES

Les substrats énergétiques (carburants) que l'organisme utilise lors d'un effort sont-ils les mêmes:

- lors d'efforts courts?
- lors d'efforts longs?
- lors des cours collectifs?
- lors d'une séance aérobie (cardio-training)?
- lors d'une séance de musculation ou de renforcement musculaire?

Jeannot AKAKPO

5

5

---

---

---

---

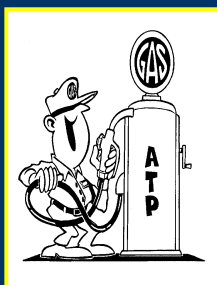
---

---

---

---

Pour faire le plein... je vais à la pompe!



Jeannot AKAKPO

6

---

---

---

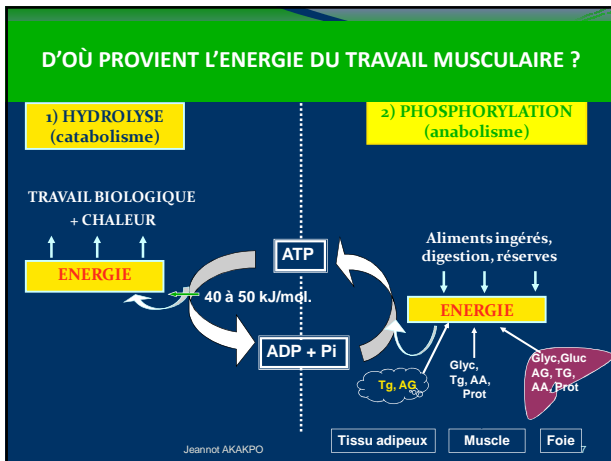
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

- ### Facteurs énergétiques de la performance: bioénergétique.
- Rôle de l'ATP dans les échanges d'énergie
  - Resynthèse de l'ATP par les voies métaboliques: sources énergétique de l'activité musculaire.
  - Sources immédiates:
    - Métabolisme des phosphagènes
  - Sources retardées:
    - Métabolisme des hydrates de carbone
    - Rôle de l'acide pyruvique
    - L'acide lactique et exercice
    - Métabolisme des acides gras
    - Métabolisme de acides aminés.
- Contribution des différents métaboliques à l'exercice
- 8

---

---

---

---

---

---

---

---

- ### ÉNERGÉTIQUE
- L'énergie permet au corps de fournir un travail
  - La physiologie de l'exercice s'intéresse:
    - à la transformation de l'énergie chimique (ATP) en énergie mécanique
    - à sa manifestation chez l'Homme:
      - ⇒ la contraction musculaire (observée au microscope)
      - ⇒ la création de mouvements
- Jeannot AKAKPO
- 9

---

---

---

---

---

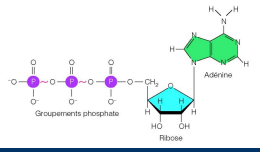
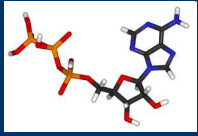
---

---

---

## ENERGETIQUE: ATP

### Structure de l'ATP

- Adénosine Tri-Phosphate (ATP) [Lohmann en 1929]
  - adénosine = adénine + sucre 5C (ribose)
  - + 3 groupements phosphates
  - **L'ATP seul composé chimique qui permet la contraction musculaire**

Jeannot AKAKPO10

---

---

---

---

---

---

---

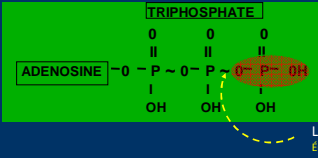
---

---

---

## L'ATP : Adénosine triphosphate

### Structure de l'ATP et libération d'énergie



#### L'hydrolyse de l'ATP

$$\text{ATP} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{ATPase}} \text{ADP} + \text{Pi} + \text{H}^+ + \text{Energie}$$

Jeannot AKAKPO 7,3 kcal utilisables pour la contraction musculaire 11

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### TRIPHOSPHATE

$$\text{ADENOSINE} - \text{O} - \text{P}(\text{OH})(\text{O}) - \text{O} - \text{P}(\text{OH})(\text{O}) - \text{O} - \text{P}(\text{OH})(\text{O}) - \text{OH} = (\text{ATP})$$

### DIPHOSPHATE

$$\text{ADENOSINE} - \text{O} - \text{P}(\text{OH})(\text{O}) - \text{O} - \text{P}(\text{OH})(\text{O}) - \text{OH} = (\text{ADP})$$

### MONOPHOSPHATE

$$\text{ADENOSINE} - \text{O} - \text{P}(\text{OH})(\text{O}) - \text{OH} = (\text{AMP})$$

$$\text{Mg ATP} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{ATPase}} \text{ADP}^{3-} + \text{MgHPO}_4^{2-} + \text{H}^+$$

$$2\text{ADP} \xrightarrow{\text{AK}} \text{ATP} + \text{AMP}$$

Jeannot AKAKPO 12

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Rôle de l'ATP

- La dégradation d'1 - ATP libère 42 kilojoules en conditions biologique soit entre 7 et 10 Kcal:
  - Seul 1/4 sert au travail musculaire
  - Le reste est transformé en chaleur
- ATP est la seule molécule capable de fournir directement au muscle l'énergie dont il a besoin pour se contracter et se relâcher.
- **Problème:**
  - ⇒ les réserves d'ATP sont insuffisantes pour répondre aux différents besoins du travail musculaire.

Jeannot AKAKPO 13

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Énergétique: rôle de l'ATP

Les réserves en ATP musculaires sont faibles : 4 à 6 millimoles par kilogramme de muscle frais.

Personne de 70 kg: le travail musculaire ne peut compter au total que sur une réserve de 1.3 à 1.6 kJ, c'est l'énergie nécessaire pour parcourir :

- 1 m à 1 m 20 à une vitesse de course de 10 m/s soit 10 s au 100 m,
- 4 m 15 à 5 m 10 à une vitesse de course de 5,6 m/s soit 2 h 10 au marathon,
- ou 7 m 80 à 9 m 60 à une vitesse de marche de 1,11 m/s soit 4 km/h - à une allure de promenade.

Jeannot AKAKPO 14

---

---

---

---

---

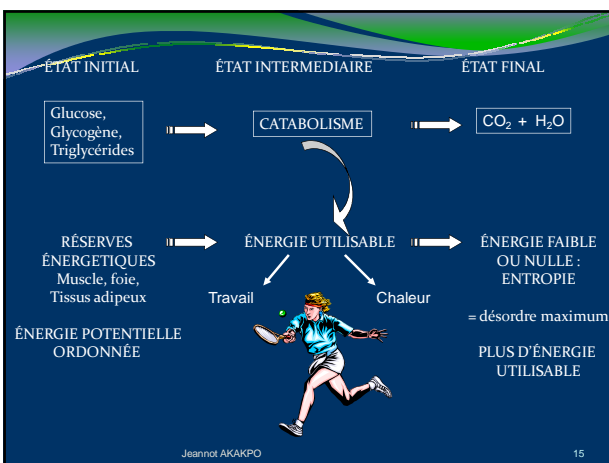
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

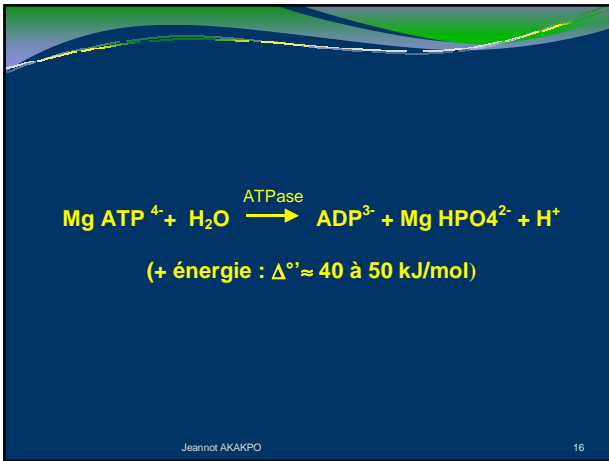
---

---

---

---

---




---

---

---

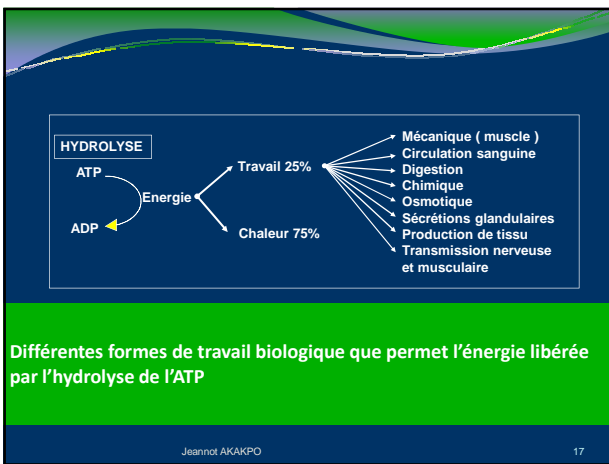
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

### Energétique: l'ATP

- Dégradation (**catabolisme**) de l'ATP
  - en ADP (adénosine diphosphate) = perte d'un ion phosphate
  - en AMP (adénosine monophosphate) = perte de deux ions phosphate
- → libération l'E nécessaire aux glissement des filament d'actines et de myosine donc à la contraction,
- → ce qui permet de fournir un travail musculaire encore appelé **travail mécanique**.

Jeannot AKAKPO 18

---

---

---

---

---

---

---

---

### Energétique: l'ATP

- ATP: autre utilisation que **travail mécanique**:
  - **travail osmotique**: transport de certaines grosses molécules à travers les membranes cellulaires
  - **travail chimique**: dégradation de molécules complexes comme les glucides, protéines, lipides (croissance cellulaire) et également
  - synthèse de nouvelles macromolécules de glucide, lipide et protéines

Jeannot AKAKPO19

---

---

---

---

---

---

---

---

### Energétique

Des précisions....

- **Catabolisme ou hydrolyse**: opération qui consiste à dégrader une molécule, exemple ATP en ADP, AMP et Pi
- **Anabolisme**: resynthèse de la molécule afin de reconstituer ses liaisons avec (ATP), le ou les phosphate(s) antérieurement libéré(s).
- **Phosphorylation**: incorporer un radical phosphate à une molécule organique

Jeannot AKAKPO20

---

---

---

---

---

---

---

---

### Energétique: les sources

- La fibre musculaire:
  - - Consomme du « carburant » pour produire de l'énergie
  - - Utilise une partie de l'E pour fournir de l'énergie
  - - Dissipe l'autre partie sous forme de chaleur
  - - Transforme ou évacue les déchet résultants des combustions dont elle est le siège

Le seul carburant est l' Adénosine Triphosphate => ATP

- La dégradation de l'ATP permet de fournir l'E nécessaire aux différentes forme de travail biologique
- La consommation de molécules d'ATP augmente au cours d'exercices intenses; leur concentration est très faible: 4 à 6 millimoles/kg de muscles frais

Jeannot AKAKPO21

---

---

---

---

---

---

---

---

### L'ATP: adénosine triphosphate

**Réserves dans l'organisme**

- [ATP] au repos : 4,5 à 5,5 mmol/kg de muscle frais (dans la cellule)
- [ATP] est peu ou pas augmentée par l'entraînement
- L'ATP ne descend pas en-dessous de 80% de sa valeur de repos (même jusqu'à épuisement)

Remarques :

7,3 kcal non utilisables pour la contraction musculaire

Jeannot AKAKPO 22

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### L'ATP: adénosine triphosphate

**Réserves dans l'organisme**

**Problème:**

- Stock intramusculaire limité – 0,076 Kg
- e permet d'effectuer qu'1 exercice intense/max de 2 à 3''
- Exemple: un marathonien renouvelle 10g d'ATP/sec

(Re)-Synthétiser l'ATP???

Jeannot AKAKPO 23

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Energétique : l'ATP

- Lors d'un exercice, même très intenses, le niveau des réserves en ATP n'accuse qu'une discrète diminution en début d'exercice et tend à se stabiliser par la suite à des valeurs proches de la moitié de celles de repos.
  - → les molécules d'ATP sont synthétisées à mesure qu'elles sont dégradées
- Fort taux de renouvellement (turn-over) car l'organisme ne dispose que de quelques dizaines de grammes d'adénosine pour fabriquer de dizaines de Kg d'ATP par jour.

Jeannot AKAKPO 24

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### Energétique: resynthèse de l'ATP

- Catabolisme de l'ATP permet de libérer l'énergie nécessaire aux différentes formes de travail biologique dans l'organisme
- Faibles réserve en ATP → constant renouvellement pour répondre aux très importants besoins biologiques
- Synthèse de l'ATP à partir de l'ADP et du Pi nécessite de l'E
- → **cette réaction biochimique est dite endergonique.**

Jeannot AKAKPO 25

---

---

---

---

---

---

---

---

### Energétique: resynthèse de l'ATP

**D'où provient cette énergie????**

- Réserves intracellulaire que constituent les molécules:
  - de phosphocréatine (PCr),
  - de glycogène
  - d'acide gras
  - parfois d'acides aminés
- Le catabolisme de ses molécules libère de l'énergie requise.
  - → **Elle sont exergoniques**

Jeannot AKAKPO 26

---

---

---

---

---

---

---

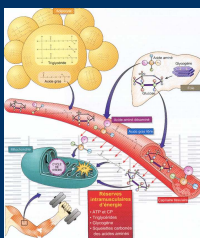
---

### Energétique resynthèse de l'ATP

**Resynthèse de l'ATP**

**ADP +  $P_i$  → ATP**

- grâce aux substrats énergétiques
  - phosphagènes
  - glucides
  - lipides
  - protides
- grâce aux 3 voies métaboliques (=filères de production d'E)
  - **anaérobie alactique**
  - **anaérobie lactique**
  - **aérobie**



Jeannot AKAKPO 27

---

---

---

---

---

---

---

---

### Energétique- resynthèse de l'ATP les sources

- Nombre élevé et durée longue des opérations nécessaires à la complète dégradation des glucides.
  - Ils ne sont pas adaptées aux besoins requis par un travail musculaire urgent.
- Il faut palier la baisse rapide des réserves d'ATP:
  - → présence d'un autre composé phosphoré contenu essentiellement dans la cellule musculaire : la **phosphocréatine (PCr)**.
  - → réservoir riche en énergie immédiatement et massivement utilisable pour produire de l'ATP
- Selon l'urgence et l'intensité d'un exercice
  - → le muscle peut faire appel à plusieurs sources énergétiques.

28

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Energétique: les sources

Source immédiate:

- disponible, elle permet de libérer une très grande quantité d'énergie grâce au catabolisme de ses deux composés:
- L'ATP et la PCr = phosphagènes
- → Anaérobie alactique (sans oxygène)

Sources retardés:

Retardées par les nombreuses étapes que nécessite le catabolisme des substances utilisées:

- glycogène,
- acide gras libres,
- acides aminés.

29

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Energétique: les sources

Retardées 1: sans oxygène (- O2)

- La source qui utilise le catabolisme du glycogène sans intervention de l'oxygène et produit de l'acide lactique:
  - → cette source est définie comme : anaérobie lactique ou glycolyse lactique

Retardées 2 – très retardées: avec oxygène (+O2)

- Les sources qui utilisent l'O2 pour extraire l'E des molécules de glycogène, d'acide gras et d'acide aminés.
- → Définies comme aérobies, elles nécessitent de nombreuses réactions biochimiques intermédiaires et de nombreuses adaptations.

30

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Rappel des caractéristiques des différentes sources énergétiques sollicitées au cours de l'exercice musculaire.**

**SOURCES**

- 1) **Immédiate** : ou « anaérobie alactique » : Sprints courts : départ...10 à 30 m, sauts et tout exercice très court ( 1 à 4 - 5s ) et très intense.
- 2) **Retardée** : ou « anaérobie lactique » : 60, 80, 100, 200, 400, 800, 1500m (6-7s à 2-3min)
- 3) **Très retardée** : aérobie : 5-10000m, semi marathon, marathon et ultra marathon

Jeannot AKAKPO 31

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Rappels sur l'énergétique musculaire: caractéristiques des sources énergétiques**

Chaque source énergétique se caractérise par :

- le délai d'apport optimum d'énergie,
- sa capacité ou énergie potentielle totale susceptible d'être utilisée,
- sa puissance métabolique ou quantité maximale d'énergie qu'elle peut fournir par unité de temps,
- son endurance ou pourcentage de la puissance énergétique maximale qu'elle peut fournir pendant le plus long temps possible,
- son ou ses facteur(s) limitant(s),
- et la durée nécessaire pour reconstituer les réserves utilisées ou/et pour éliminer ou métaboliser les déchets et métabolites produits.

Jeannot AKAKPO 32

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Energétique: sources et filières**

**Resynthèse de l'ATP:**  
Caractéristiques des différentes filières énergétiques

Un/des substrat(s) (« carburant »)

Jeannot AKAKPO 33

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Filières énergétiques

#### Caractéristiques des filières

- Un **délat d'intervention (inertie)**  
 AE: 2-3'  
 Ana Lact: quelques secondes  
 Ana AL: immédiat

The diagram shows three energy pathways: aerobic (aérobie), anaerobic lactate (Anaérobie Lactique), and anaerobic alactate (Anaérobie Alactique). It illustrates the flow of substrates and the production of ATP. The aerobic pathway is shown in a box labeled 'aérobie', the anaerobic lactate pathway in a box labeled 'Anaérobie Lactique', and the anaerobic alactate pathway in a box labeled 'Anaérobie Alactique'. A central box labeled 'A.T.P.' shows the production of ATP from these pathways. A small diagram of a swimmer is also present.

- fonction localisation des substrats (dans la cellule ou non; cytoplasme, mitochondrie)
- fonction processus impliqués (enzymes, nombre de réactions)

Jeannot AKAKPO 34

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Filières énergétiques

#### Caractéristiques des filières

- Une disponibilité : **capacité** (quantité d'E totale: J ou cal)  
 Aérobie: infinie  
 Anaérobie lactique: 30'' à 2'  
 Anaérobie alactique: 15-20''

**Disponibilité ou Capacité:**  
 AE > AnaLact > AnaAL

The diagram shows three energy pathways: aerobic (aérobie), anaerobic lactate (Anaérobie Lactique), and anaerobic alactate (Anaérobie Alactique). It illustrates the flow of substrates and the production of ATP. The aerobic pathway is shown in a box labeled 'aérobie', the anaerobic lactate pathway in a box labeled 'Anaérobie Lactique', and the anaerobic alactate pathway in a box labeled 'Anaérobie Alactique'. A central box labeled 'A.T.P.' shows the production of ATP from these pathways. A small diagram of a swimmer is also present.

Jeannot AKAKPO 35

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Filières énergétiques

#### Caractéristiques des filières

- Une **Puissance** (débit d'E: J.sec<sup>-1</sup> ou Watt)  
 Puissance AE < AnaLact < AnaAL
- Facteurs limitants

The diagram shows three energy pathways: aerobic (aérobie), anaerobic lactate (Anaérobie Lactique), and anaerobic alactate (Anaérobie Alactique). It illustrates the flow of substrates and the production of ATP. The aerobic pathway is shown in a box labeled 'aérobie', the anaerobic lactate pathway in a box labeled 'Anaérobie Lactique', and the anaerobic alactate pathway in a box labeled 'Anaérobie Alactique'. A central box labeled 'A.T.P.' shows the production of ATP from these pathways. A small diagram of a swimmer is also present.

Jeannot AKAKPO 36

---

---

---

---

---

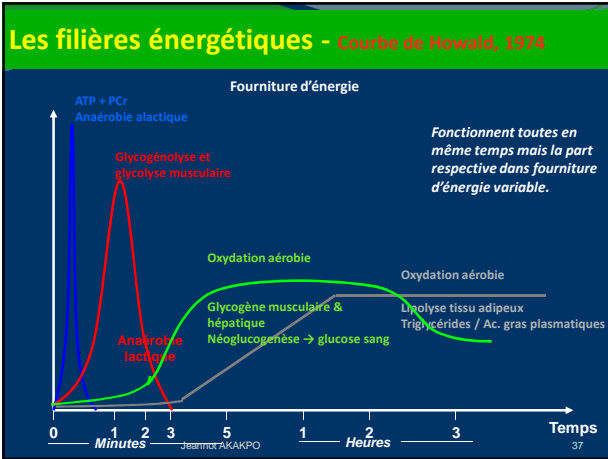
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Contribution des différents métabolismes

Les trois sources sont mises en jeu ensemble et immédiatement après les premières secondes de l'activité musculaire

- Pour reconstituer leur réserves,
- éliminer ou transformer les métabolismes et les déchets produits .

- Leur pleine efficacité de synthèse de nouvelles molécules d'ATP n'étant atteinte qu'après un délai qui leur est propre.
- Ce délai dépend du nombre de réaction intermédiaires et d'adaptations biologiques que chacun de ces sources requiert.
- Selon la durée d'un exercice, une d'elles intervient de façon préférentielle

Jeannot AKAKPO 38

---

---

---

---

---

---

---

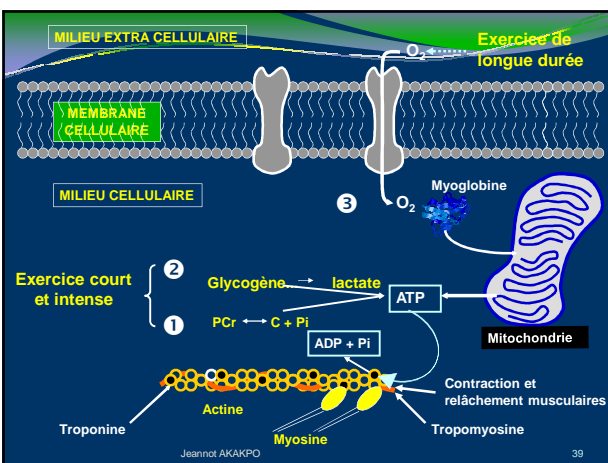
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---