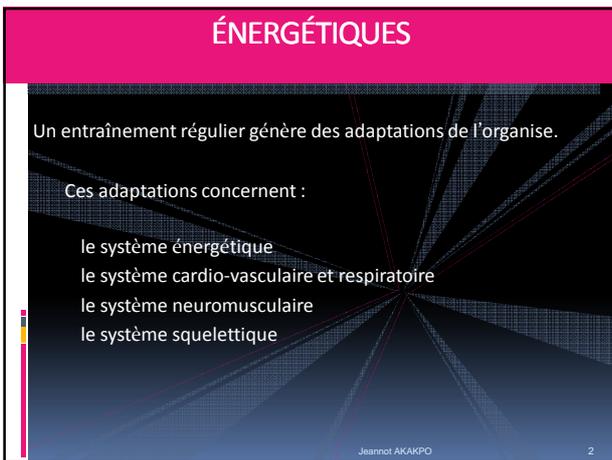


Facteurs énergétiques

Jeannot AKAKPO
CESA

Jeannot AKAKPO 1



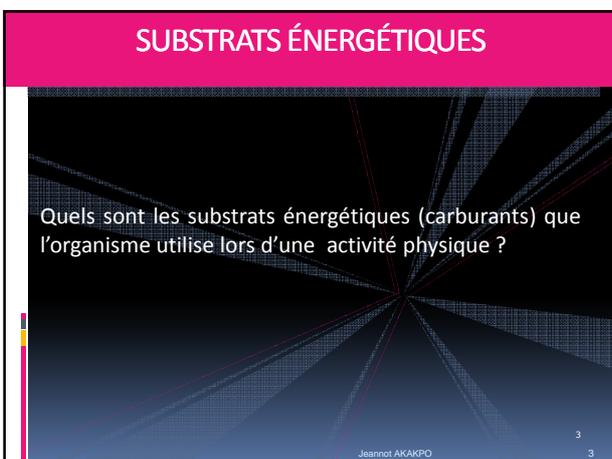
ÉNERGÉTIQUES

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 2



SUBSTRATS ÉNERGÉTIQUES

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

Jeannot AKAKPO 3

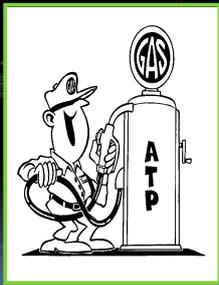
ÉNERGÉTIQUES

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

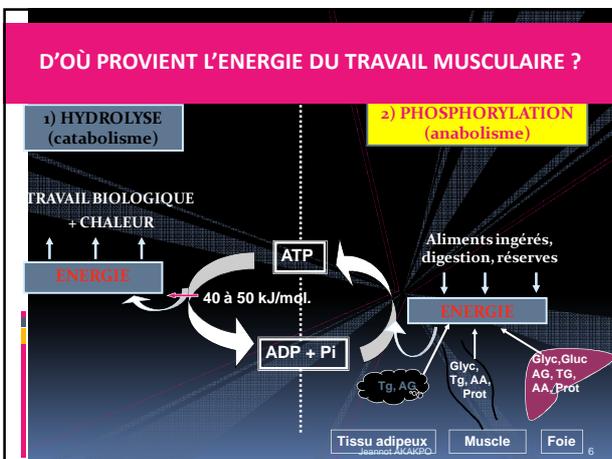
- lors d'efforts courts?
- lors d'efforts longs?
- lors des cours collectifs?
- lors d'une séance aérobie (cardio-training)?
- lors d'une séance de musculation ou de renforcement musculaire?

Jeannot AKAKPO 4

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



Jeannot AKAKPO 5



ENERGETIQUE

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

Jeannot AKAKPO 7

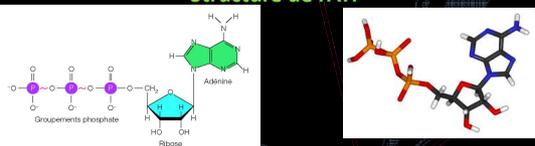
ÉNERGÉTIQUE

- 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 8

ENERGETIQUE: ATP

Structure de l'ATP



Groupements phosphate
Adénine
Ribose

■ 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 AKAKPO 9

L'ATP : Adénosine triphosphate

Structure de l'ATP et libération d'énergie

TRIPHOSPHATE

$$\text{ADENOSINE} - \text{O} - \text{P}(\text{OH})_2 - \text{O} - \text{P}(\text{OH})_2 - \text{O} - \text{P}(\text{OH})_2 - \text{OH}$$

Liaison Energie potentielle

L'hydrolyse de l'ATP

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

7,3 kcal utilisables pour la contraction musculaire

TRIPHOSPHATE

$$\text{ADENOSINE} - \text{O} - \text{P}(\text{OH})_2 - \text{O} - \text{P}(\text{OH})_2 - \text{O} - \text{P}(\text{OH})_2 - \text{OH} = (\text{ATP})$$

DIPHOSPHATE

$$\text{ADENOSINE} - \text{O} - \text{P}(\text{OH})_2 - \text{O} - \text{P}(\text{OH})_2 - \text{OH} = (\text{ADP})$$

MONOPHOSPHATE

$$\text{ADENOSINE} - \text{O} - \text{P}(\text{OH})_2 - \text{OH} = (\text{AMP})$$

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

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

Rôle de l'ATP

dégradation d'1 - ATP libère 42 kilojoules en conditions biologique soit entre 7 et 10 cal:

- Seul 1/4 sert au travail musculaire
- Le reste est transformé en chaleur

P 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.

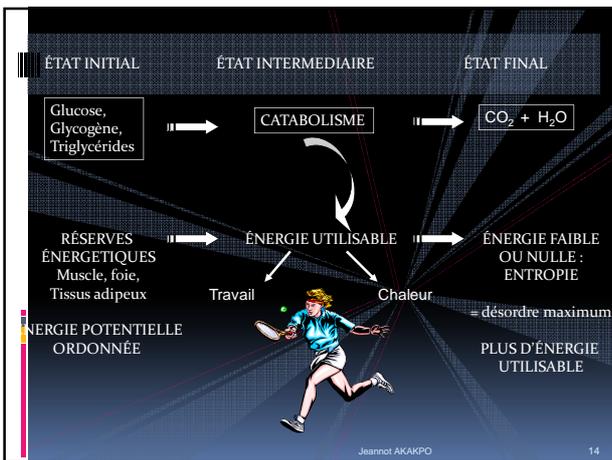
Énergétique: rôle de l'ATP

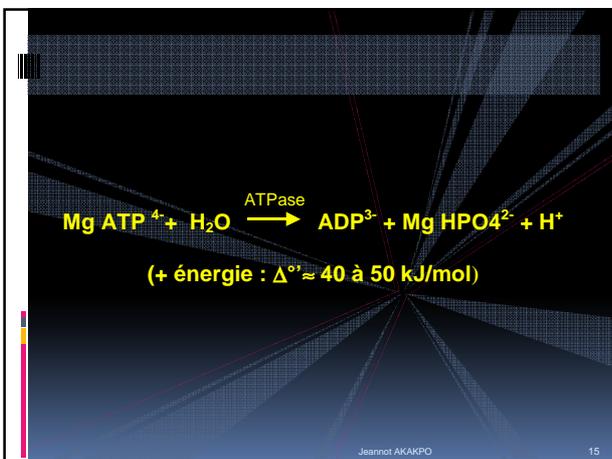
Les réserves en ATP musculaires sont faibles : 4 à 6 millimoles par kilogramme de muscle frais.

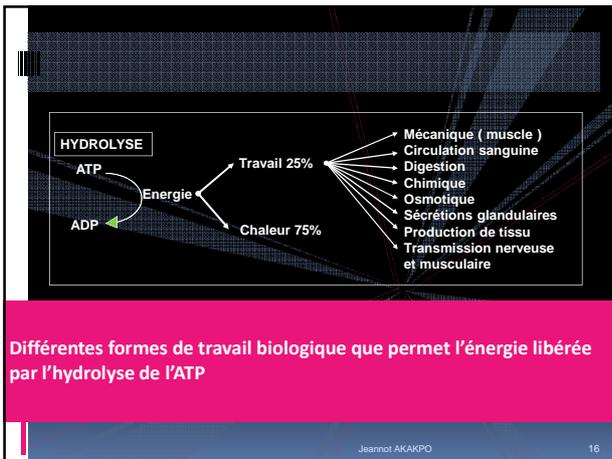
Personne de 70 kg: le travail musculaire ne peut compter au total que sur une réserve de 1.3 à 1.6 kJ, c'est l'énergie nécessaire pour parcourir :

- 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 13







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 17

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 AKAKPO 18

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 AKAKPO 19

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 déchets 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 AKAKPO 20

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 :

$$ADP + H_2O \xrightarrow{ATPase} AMP + Pi + E + H^+$$

7,3 kcal ~~non utilisables~~ pour la contraction musculaire

Jeannot AKAKPO 21

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 22

Energétique : l'ATP

lors d'un exercice, même très intenses, le niveau des réserves en ATP s'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 23

Energétique: resynthèse de l'ATP

atabolisme de l'ATP permet de libérer l'énergie nécessaire aux différentes formes de travail biologique dans l'organisme

ibles réserve en ATP → constant renouvellement pour répondre aux les 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 24

Energétique: resynthèse de l'ATP

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**

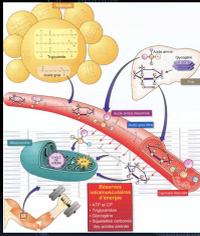
Jeannot AKAKPO 25

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 26

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 adaptés 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.

Jeannot AKAKPO 27

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 retardées:
 Retardées par les nombreuses étapes que nécessite le catabolisme des substances utilisées:
 glycogène,
 acide gras libres,
 acides aminés.

Jeannot AKAKPO 28

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.

Jeannot AKAKPO 29

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

The diagram illustrates the cycle of energy sources in muscle. It shows ATP being converted to ADP + Pi, which then feeds into Phosphorylcreatine (PCr). PCr can be converted back to ATP or used to regenerate Glycogène. Glycogène can be converted to Acide lactique or used to produce CO₂ + H₂O. Acide lactique can be converted back to Glycogène or used to produce CO₂ + H₂O. The diagram also shows the conversion of ATP to ADP + Pi and back to ATP, and the conversion of ADP + Pi to PCr and back to ADP + Pi.

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 30

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 31

Energétique: sources et filières

Resynthèse de l'ATP:
Caractéristiques des différentes filières énergétiques

Un/des substrat(s) (« carburant »)

Jeannot AKAKPO 32

Filières énergétiques

Caractéristiques des filières

Un délai d'intervention (inertie)

AE: 2-3'
Ana Lact: quelques secondes
Ana AL: immédiat

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

Jeannot AKAKPO 33

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

Jeannot AKAKPO 34

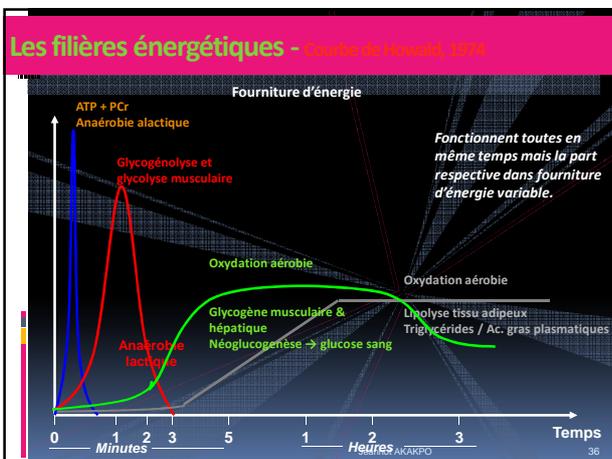
Filières énergétiques

Caractéristiques des filières

- Une Puissance (débit d'E: J.sec⁻¹ ou Watt)
 - Puissance AE < AnaLact < AnaAL

Facteurs limitants

Jeannot AKAKPO 35



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 37

