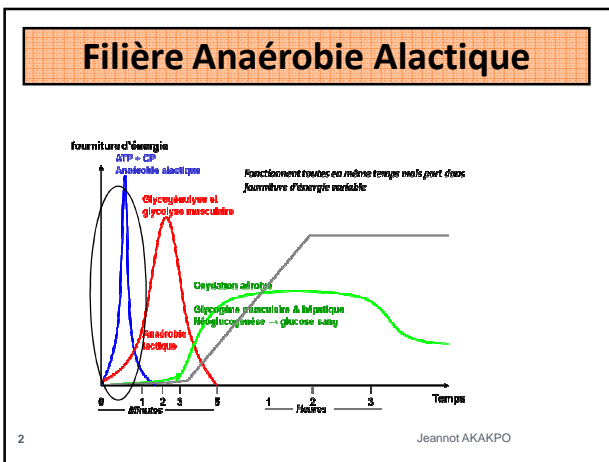


1

LES FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES

Jeannot AKAKPO

CESA – AAN - 2015



Filière Anaérobie Alactique

Définition :
Le processus anaérobie alactique recouvre l'ensemble des réactions qui assurent la (re)synthèse de l'ATP en l'absence d'oxygène et sans production finale de lactate (acide lactique)

A partir de la créatine phosphate

PCr Cr ADP ATP

Créatine dérivée d'a.a (synthèse dans le foie)

Pi Pi

CPK

Créatine(phospho)kinase

3 Jeannot AKAKPO
Dans le cytoplasme de la cellule

Utilisation des phosphagènes

A partir de la créatine phosphate

$$\text{ADP} + \text{PCr} + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{ATP} + \text{Cr}$$

Enzyme
CPK

Jeannot AKAKPO
Dans le cytoplasme de la cellule

4

Utilisation des phosphagènes

A partir de l'ADP

$$\text{ADP} + \text{ADP} \leftrightarrow \text{ATP} + \text{AMP}$$

Enzyme
myokinase

Jeannot AKAKPO
Dans le cytoplasme de la cellule

5

Filière Anaérobie Alactique

Facteurs limitant

- Épuisement rapide des réserves en PCr (+ATP):

- Reconstitution ATP PCr :
 - * 70% des réserves - 1min
 - * 85% - 2min
 - * 100% - 5/6min

(resynthèse plus rapide avec un entraînement aérobie)
 une fois les quantités d'ATP restaurées

6

Sources immédiates: la source des phosphagènes

7

Le processus anaérobie alactique recouvre l'ensemble des réactions qui assurent la synthèse de l'ATP en l'absence d'oxygène et sans production finale d'acide lactique.

- **Phosphocréatine (PCr)** : directement et immédiatement impliqué lors de toute contraction grâce à la présence d'un composé riche en phosphore.
- La PCr ne peut pas mettre directement à disposition son E pour les filaments contractiles.
- Elle a besoin d'une enzyme: la créatine phosphokinase (CPK) qui lui permet de céder un phosphate à l'ADP pour reformer l'ATP.
- **ATP et PCr constituent les composés phosphate à haute énergie, appelés Pool des phosphagène.**

Jeannot AKAKPO

Sources immédiates: la source des phosphagènes

8

- Le catabolisme des phosphagènes (ATP et PCr) est:
 - **Immédiat** et libère **une très grande quantité d'énergie.**
 - Il permet de répondre aux situations d'urgence dans l'attente des relais énergétique des glucides puis des lipides.
- L'épuisement rapide des très faible réserves d'ATP et PCr limite leur utilisation leur utilisation à des durées très brèves (7 à 8 s en max)

Jeannot AKAKPO

Filière Anaérobie Alactique

Bilan

- **Substrats utilisés** : ATP + *Créatine Phosphate* = phosphagènes
- **Localisation** : *Cytoplasme de la cellule*
- **Inertie** : *Aucune (substrats présent dans le cytoplasme)*
- **Puissance** : *Très élevée, 250-550kj/min sédentaire, 750kj/min spécialiste*
- **Capacité** : *Réduite (15-20sec), puissance max maintenue sur 8sec*

9 Jeannot AKAKPO

Sources immédiates: la reconstitution

- 10
- Après un exercice intense et de courte durée, les produits du catabolisme des phosphagènes sont: **l'ADP, la créatine et les Pi.**
- En présence d'E, la réversibilité des réactions du catabolisme des phosphagènes permet leur resynthèse.
- La resynthèse complète des réserves en ATP-PCr est très rapide au début de la récupération:
 - environ 70% au cours de la 1ère minute,
 - 85% après 2 min,
 - 100% en 5 à 6 min

Jeannot AKAKPO

Récapitulatif du métabolisme de l'ATP et de la PCr

La concentration intracellulaire en ATP diminue au maximum de 50% après un exercice, aussi intense soit-il. Pour cela,

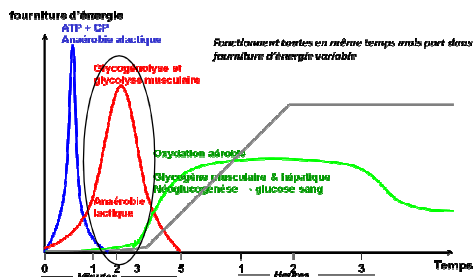
- Les réserves en PCr sont fortement mobilisées pour la resynthèse d'ATP,
- Le groupement phosphate de la PCr se lie à l'ADP ($ADP + PCr \Rightarrow ATP + Cr$),
- La concentration en PCr baisse alors très vite,
- Une déplétion totale n'est cependant jamais atteinte ($\downarrow \approx 25\%$).

Ces facteurs peuvent limiter fortement la performance des exercices très intenses (sprint...) en terme de puissance métabolique (débit maximal).

11

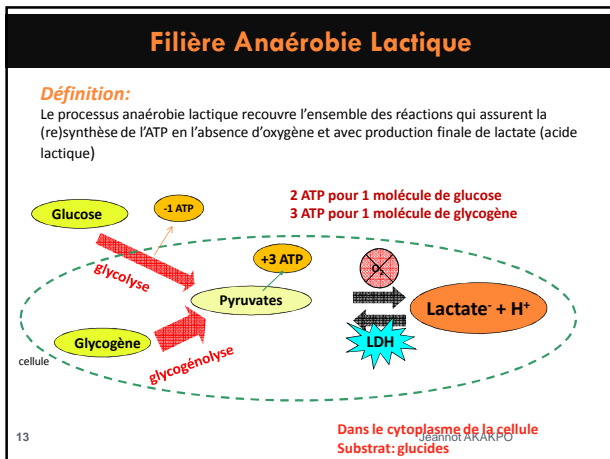
Jeannot AKAKPO

Filière Anaérobie Lactique



12

Jeannot AKAKPO



Le métabolisme du glucose et du glycogène

14

- Dès le début d'un exercice, l'énergie libéré par la glycolyse permet:
 - ▣ la synthèse très rapide de nouvelles molécules d'ATP
 - ▣ Ces ATP s'ajoutent à celles produites par le métabolisme anaérobie alactique

Pleine efficacité et intervention prépondérante de la glycolyse lactique s'exerce surtout entre les limites : 20s – 3min lorsque :

- les réserves en PCr sont très nettement réduites.
- le système aérobie n'a pas encore eu le temps de fonctionner à son plein régime,
- lorsque l'intensité de l'exercice musculaire dépasse les capacités du système aérobie.

Jeannot AKAKPO

Filière anaérobie Lactique

15

- Le glucose du travail musculaire provient de cinq sources principales :
 - ▣ du glycogène en réserve dans le muscle,
 - ▣ du glucose sanguin ou glucose circulant,
 - ▣ des réserves hépatiques (foie),
 - ▣ de la néoglycogénèse hépatique (cycle de Cori et de l'alanine-glucose)
 - ▣ bien sûr de notre alimentation.

L' alimentation et nos boissons apportent trois types de glucides :

- ▣ les sucres simples ou monosaccharides : le glucose, le fructose, et le galactose,
- ▣ les disaccharides formés de deux sucres simples associés : le maltose, le sucrose et le lactose
- ▣ les polysaccharides: l'amidon formé comme le glycogène de longues chaînes de glucose.

Jeannot AKAKPO

Filière Anaérobie Lactique

16

- La digestion transforme les glucides ingérés en sucres simples qui sont absorbés par l'intestin et transférés dans la circulation sanguine.
- Le sang véhicule le glucose qui devient le glucose circulant:
 - soit vers les lieux de sa consommation :
 - permanente par les fibres du système nerveux qui sont de grosses consommatrices
 - occasionnelle par les muscles actifs,
 - soit vers les lieux de son stockage sous forme de glycogène :
 - les muscles et la foie

Jeannot AKAKPO

Filière Anaérobie Lactique

17

- La concentration du glucose dans le sang appelée glycémie est maintenue aux environs de 0.9 g/l
- Dans l'organisme, les réserves en glycogène se répartissent entre:
 - le foie: 50g/kg soit entre 80 et 90g
 - les muscles:
 - 10 à 20 g/kg chez les sujets sédentaires
 - 30 à 45g /kg chez le sportif très entraîné
- La totalité des réserves:
 - chez un sportif de 70 kg présentant 30 kg de muscle:
 - entre 1kg et 1.4 kg
 - chez le sédentaire de 70 kg
 - entre 400 à 600g .
- **L'entraînement et l'alimentation peuvent donc considérablement améliorer les réserves en glycogènes de l'organisme.**

Jeannot AKAKPO

Filière Anaérobie Lactique

18

Le glucose est transporté par le sang. Il pénètre dans la fibre musculaire pour être transformé en G-6-P en utilisant un ATP (donc moins d'ATP au final pour le glucose)

La glycogénèse est l'opération qui permet la synthèse du glycogène à partir du glucose.

- Pour fournir de l'énergie (ATP) : il faut nécessairement une transformation en G-6-P

La glycolyse commence donc au niveau du G-6-P

Les différentes étapes de la glycolyse ne nécessitent pas d'O₂.

- Attention: la destinée de l'acide pyruvique formé est conditionnée par la présence ou l'absence d'O₂.
- Pas d'O₂ = glycolyse anaérobie donc : acide pyruvique transformé en acide lactique.

Jeannot AKAKPO

Filière Anaérobie Lactique

19

La glycolyse = suite de réactions dans le cytoplasme;

- ▣ elle s'achève avec la formation d'acide pyruvique.
- ▣ Gain en ATP =
 - ▣ 3 avec le glycogène
 - ▣ 2 avec le glucose (1 ATP ayant été utilisé pour transformer le glucose en G-6-P).
 - ▣ A partir de l'acide pyruvique, les principales différences entre les processus avec oxygène et sans oxygène sont mises en évidence:
 - Sans oxygène = métabolisme anaérobie lactique : avec 2 ou 3 ATP et l'acide lactique.
 - Avec présence d'oxygène, l'acide pyruvique est transformé en AcétylCoA, lequel va entrer dans la mitochondrie (métabolisme aérobie).
 - ▣ Les actions combinées des métabolismes anaérobies alactique et lactique permettent aux muscles de se contracter même lorsque l'apport d'O₂ est limité: premières minutes d'un exercice.

Jeannot AKAKPO

Filière Anaérobie Lactique

20

A partir de l'acide pyruvique, les principales différences entre les processus avec oxygène et sans oxygène sont mises en évidence:

Avec présence d'oxygène, la réaction biochimique va transformer l'acide pyruvique en AcétylCoA, lequel va entrer dans la mitochondrie.

Sans oxygène la réaction aboutit à production de 2 ou 3 ATP et d'acide lactique.

Les actions combinées du métabolisme des phosphagènes puis du système glycolytique permettent aux muscles de se contracter même lorsque l'apport d'O₂ est limité: premières minutes d'un exercice.

Jeannot AKAKPO

Filière Anaérobie Lactique

21

- ▣ La glycolyse est une succession de réactions au cours de laquelle une molécule de glucose (C₆H₁₂O₆) est transformée en deux molécules d'acides pyruviques (C₃H₄O₃).
- ▣ La glycolyse se déroule en trois phases:
 - une phase d'amorçage au cours de laquelle 1 molécule d'ATP est consommée lorsque le glucose est utilisé,
 - une phase préparatoire au cours de laquelle une molécule d'ATP est aussi consommée
 - une phase de remboursement qui fournit 4 ATP.
- ▣ But final de la glycolyse est la production d'ATP et l'ajustement de cette production aux besoins de la cellule.
- ▣ Lorsque le muscle se contracte plus vigoureusement ou plus fréquemment nécessitant donc plus d'ATP, la vitesse de la glycolyse augmente.

Jeannot AKAKPO

Filière Anaérobie Lactique: acide lactique

Récupération: devenir de l'acide lactique - reformer l'acide pyruvique



- Réserves en glycogène et glucoses faiblement réduites
- Oxydation du lactate : reformer l'acide pyruvique (si suffisamment d'O₂)
 - Passive : 50% en 25min, 75% en 50min, 100% en 1h30
 - Active : 50% en 6min, 75% en 12min, 100% en 20min
- Passage dans le sang: Transformation en glucose/glycogène (foie)

22

Jeannot AKAKPO

Filière Anaérobie Lactique: acide lactique

La production d'acide lactique dépend de la capacité d'utilisation de l'acide pyruvique formé dans la mitochondrie.

Il y a bien production continue d'acide lactique et élimination durant tout l'exercice.

Lorsque la production devient supérieure à l'élimination, il y a accumulation de l'acide lactique au sein de la cellule.

Ceci ne veut pas forcément dire que l'acide lactique est la cause de l'arrêt de l'exercice. Son accumulation est le témoin d'un déséquilibre métabolique au sein de cellule.

23

Jeannot AKAKPO

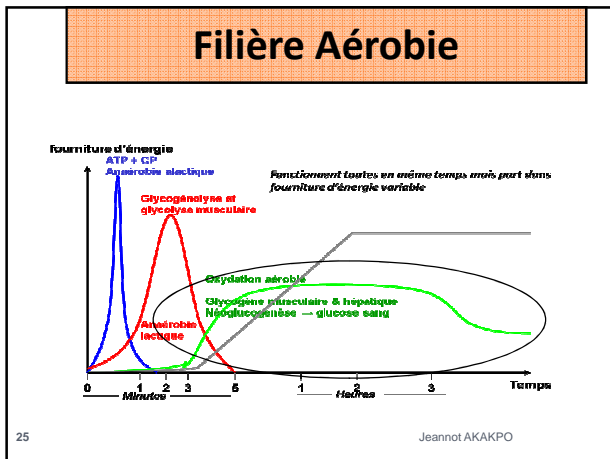
Filière Anaérobie Lactique

Bilan

- **Substrats utilisés** : glucose/glycogène
- **Localisation** : cytoplasme
- **Inertie (faible)** : dépend de l'importance de la chute du rapport ATP/ADP+AMP+Pi
- **Puissance** : élevée, 200 kJ/min sédentaire, 500 kJ/min spécialiste (estimation)
- **Capacité** : jusqu'à 3 min avec un pic de puissance se situant vers 30s

24

Jeannot AKAKPO



Sources très retardées : le système oxydatif.

26

- Système oxydatif = le processus par lequel, la cellule dégrade les substrats en présence d'O₂.
- Tout processus utilisant l'O₂ pour produire de l'ATP constitue le processus aérobie.
- La production d'ATP par voie oxydative se fait à l'intérieur de la mitochondrie proche des myofibrilles.
- Cette fourniture d'ATP par voie oxydative est nécessaire pour les exercices de longue durée.

Jeannot AKAKPO

Filière Aérobie

Définition :
Le processus aérobie recouvre l'ensemble des réactions qui assurent la (re)synthèse de l'ATP en présence d'oxygène et avec production finale de CO₂ et d'H₂O

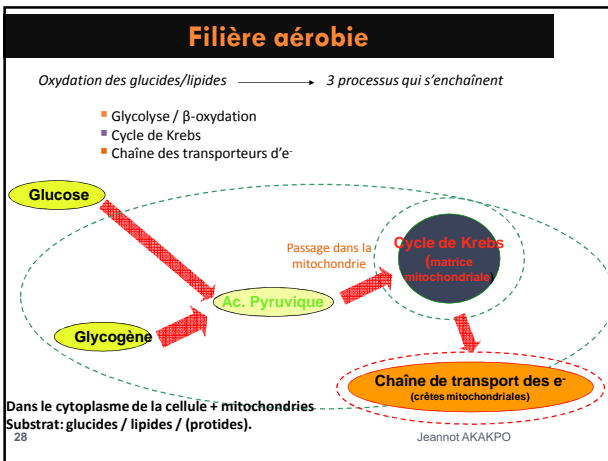
= Respiration cellulaire : production d'énergie par les cellules avec utilisation d'oxygène (voies oxydatives)

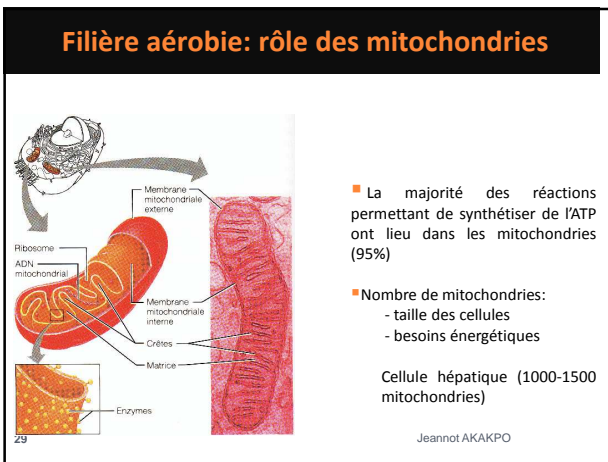
Production d'ATP :
 Dans le cytosol (glycolyse)
 Dans les mitochondries (cycle de Krebs + chaîne respiratoire)

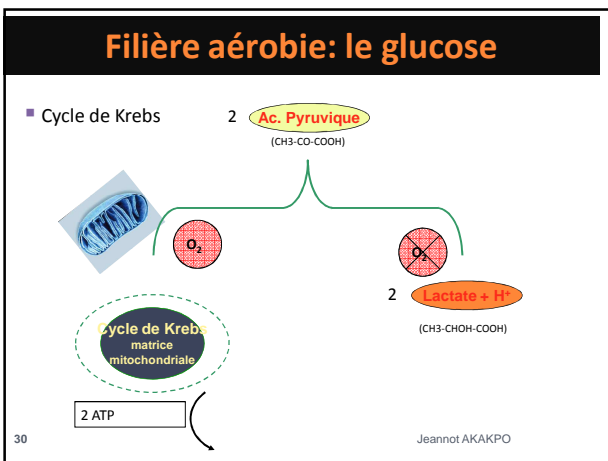
➡ Demande d'O₂ au niveau cellulaire

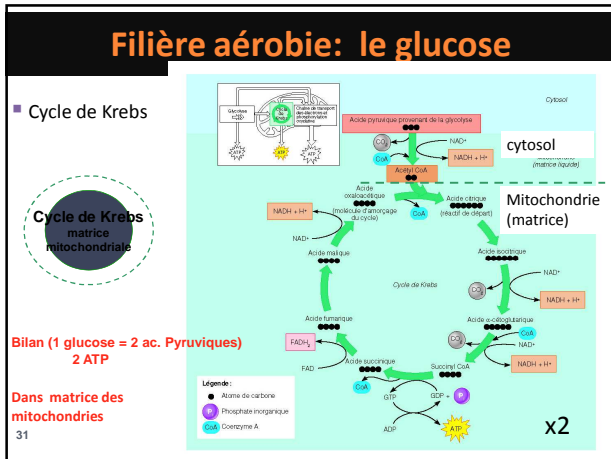
Oxydation du glucose
 $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 H_2O + 6 CO_2 + 36-38 \text{ ATP} + \text{chaleur}$

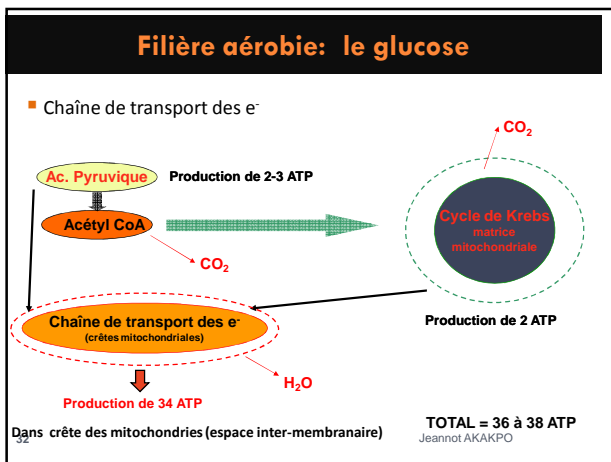
27 Jeannot AKAKPO

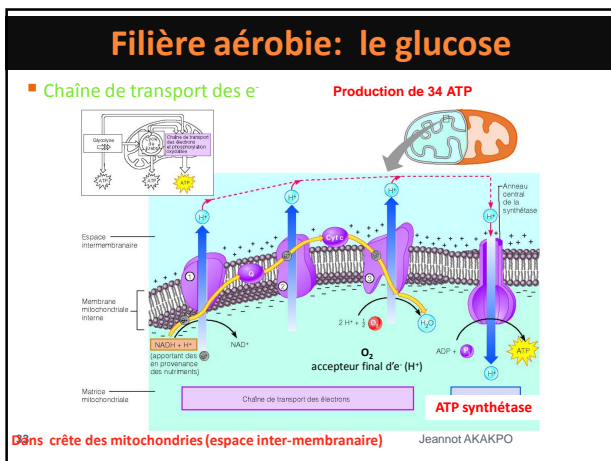












Filière aérobie: glucose

Bilan de l'utilisation du glucose: 36-38 ATP

- Glycolyse
 - 2 ATP (dégradation en ac.pyruvique)
 - 2 x 3 ATP (chaîne respi) → NADH₂
- Cycle de Krebs
 - 2 ATP (dégradation de l'ac. Citrique)
 - 8x3 ATP (chaîne respi) → NADH₂
 - 2x2 ATP (chaîne respi) → FADH₂
- Chaîne respiratoire/ transport des e⁻
 - 34 ATP

Glucose: 38 ATP

34 Jeannot AKAKPO

Filière aérobie: les lipides

Triglycéride

← Enzyme (**lipase**) →

glycérol (3C) → Intermédiaire (3C) → **Glycolyse** → Ac. pyruvique → **1 Acétyl CoA** → **Cycle de Krebs** → **Chaine de transport des e⁻** → **TOTAL = 19 ATP**

Acide gras (16C) → **β-oxydation** → **8 Acétyl CoA** → **Cycle de Krebs** → **Chaine de transport des e⁻** → **TOTAL = 129 ATP**

35 Jeannot AKAKPO

Filière aérobie: les lipides

36

Les triglycérides sont les constituants essentiels des lipides:

- Pour être dégradé, le triglycéride doit être transformé en ses composés:
 - 1 molécule de glycérol
 - 3 molécules d'acides gras libres
 - Ce processus est la lipolyse avec l'action de la lipase. L'enzyme lipase va rompre la molécule de triglycéride pour libérer les acides gras libres du glycérol.
- Les acides gras diffèrent par leur structure mais le métabolisme est identique à celui des glucides.
- Les AG, sont activés par les enzymes puis dégradés à des fins énergétiques dans les mitochondries.
 - Ce métabolisme des acides gras est la bêta-oxydation..

Jeannot AKAKPO

Filière aérobie: les lipides

37

L'oxydation des lipides (les triglycérides): les différentes étapes:

- Le glycérol:
 - ▣ Étape1 : scission du triglycéride en glycérol + 3 acides gras : (enzyme = lipase).
 - ▣ Étape2 : le glycérol est progressivement transformé pour intégrer la glycolyse et former de l'acide pyruvique.
 - ▣ Étape3: l'acide pyruvique intègre la mitochondrie puis cycle de krebs puis chaîne des transporteurs.
- **Bilan de l'oxydation du glycérol est de 19 ATP**
 - ▣ Ce bilan est moindre qu'avec le glucose (6 carbones), car le glycerol (3carbones) donc 1 seul acide pyruvique, 1 seul ATP.

Filière aérobie: les lipides

38

Les acides gras.

- Étape 1: les acides gras sont progressivement dégradés pour former de l'acétyl-CoA
 - ▣ **Ces dégradations constituent: la bêta-oxydation**
- Étape 2 : cycle de krebs
- Étape 3: chaîne des transporteurs...
- Bilan
 - ▣ 129 ATP pour 1 acide gras à 16 carbones

Jeannot AKAKPO

Filière aérobie

Bilan

- ▣ **Substrats utilisés** : glucose et glycogène, lipides, protéines (rarement)
- ▣ **Inertie** : dès le début / effort max de 1 min 50/50%, 2-3min pour un état stable
- ▣ **Puissance** : dépend de la VMA ou PMA
- ▣ **Capacité**: fonction de l'intensité, des réserve en substrats, du niveau d'entraînement, capacité de thermorégulation, facteurs neuromusculaires et articulaires

39 Jeannot AKAKPO

