

Travail de la puissance et de la capacité
dans les différentes filières

Sommaire

1. Définition de puissance et de capacité.
2. La bio énergétique.
3. Les méthodes d'entraînement.
4. Exemple de séance.
5. Les 4 grandes règles.

1. Définition:

Capacité et puissance

Chaque filière énergétique peut être caractérisée par une Capacité qui permet une durée de fonctionnement (indépendante du débit) : plus l'exercice est puissant, moins longue est la durée de fonctionnement et inversement.

La **capacité** : c'est la quantité totale (contenance) d'énergie disponible dans le réservoir

La **puissance** : c'est la quantité maximale d'énergie utilisable par unité de temps (débit du robinet)

Chaque système possède :

une capacité

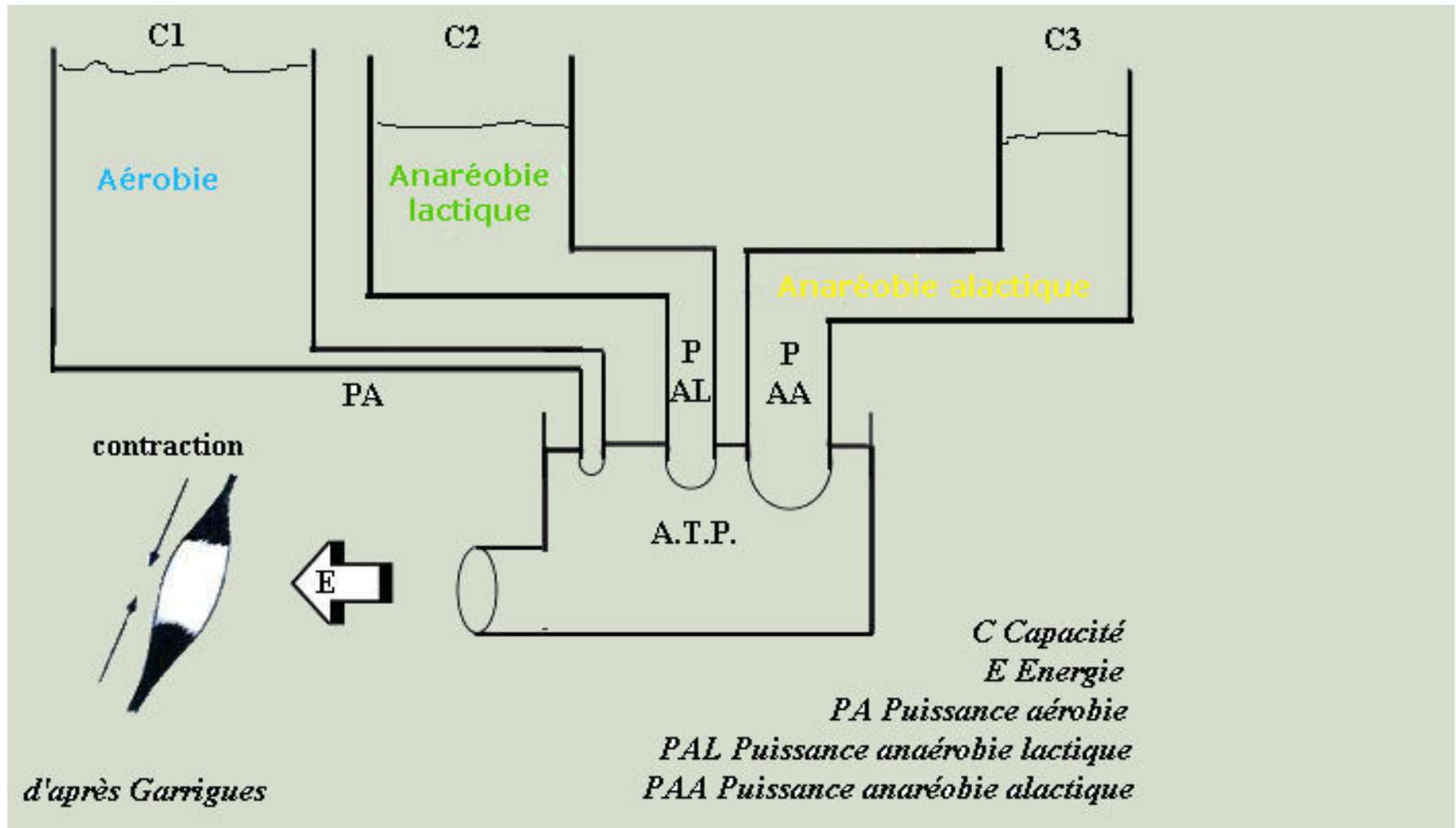
une puissance

une durée égale à : $\text{Capacité} / \text{Puissance}$

Ces deux notions ont des répercussions directes sur l'entraînement. L'éducateur de par ses choix d'exercices de travail, devra monter le niveau de chaque système pour qu'il fournisse le maximum de puissance le plus vite possible et le plus longtemps possible.

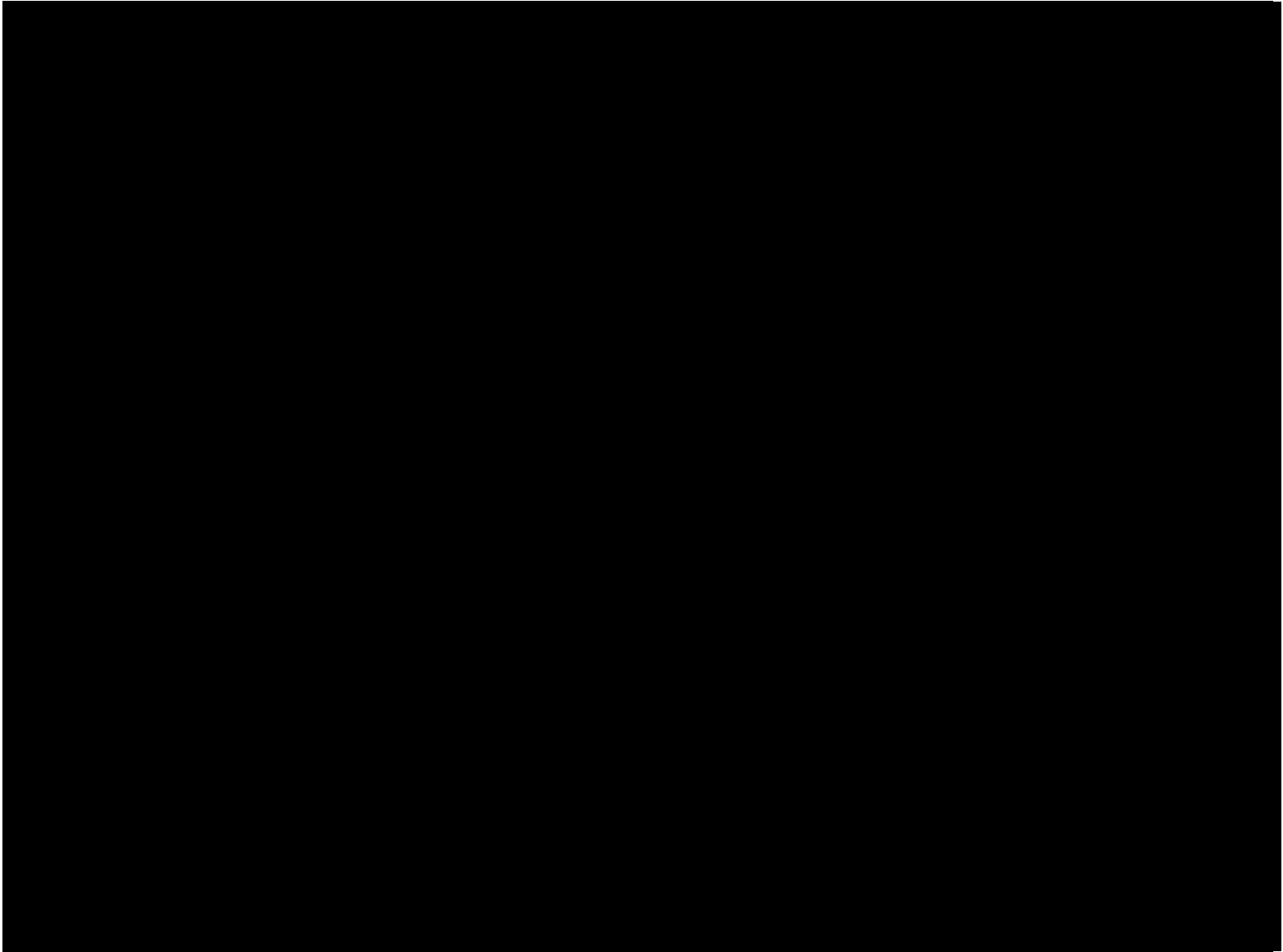
Il devra organiser son entraînement dans le but, non seulement d'optimiser le rendement d'une filière, mais en jouant sur les paramètres de récupération, intensité et durée.

Schéma de Garrigues

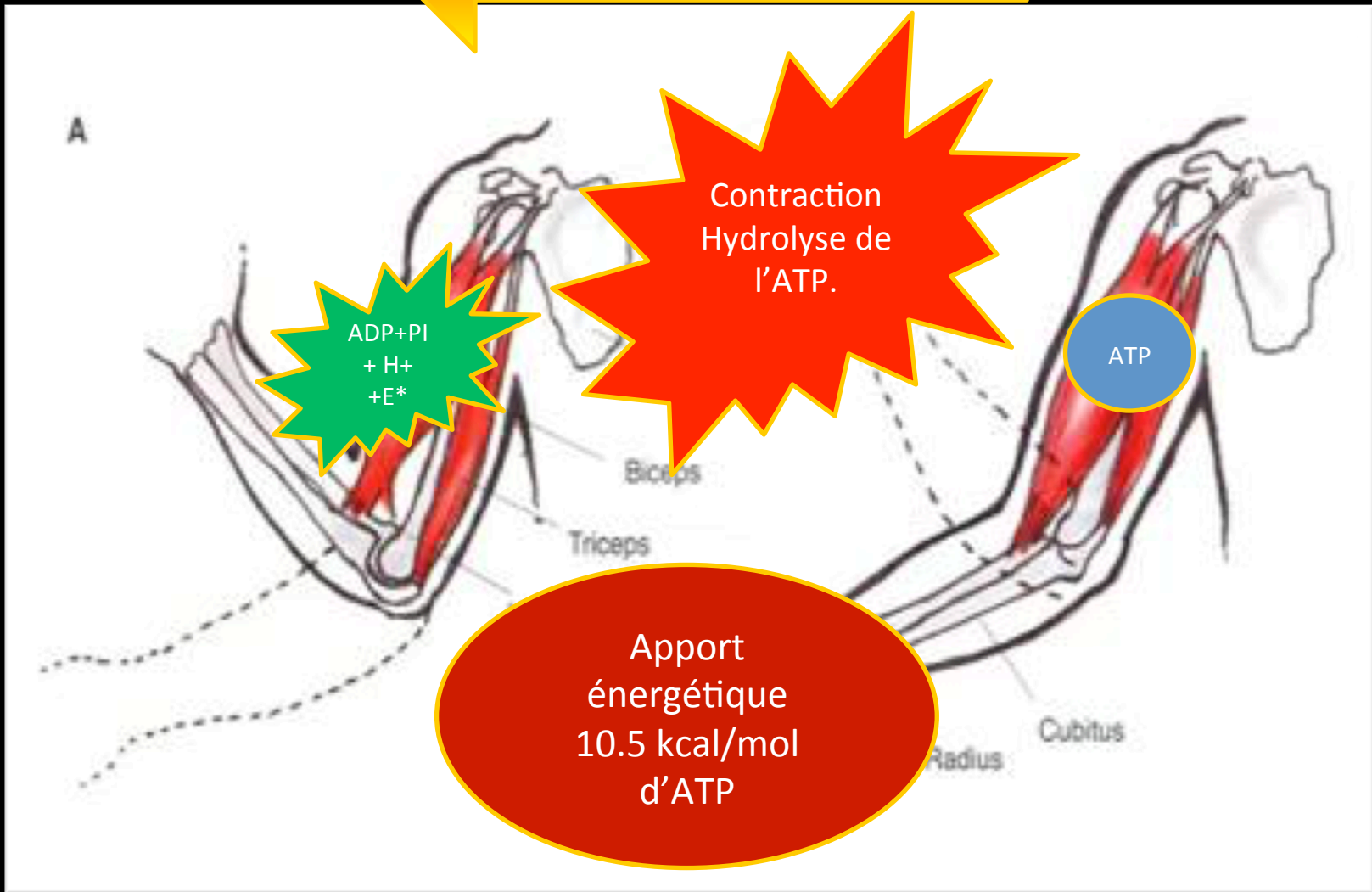


2. La bio énergétique

La contraction musculaire



Réaction catalysée par l'enzyme
ATPase dans le sarcoplasme



E= Energie 75% thermique/25% mécanique.

Re-synthèse de l'ATP à partir de la phospho-créatine

MUSCLE

sarcoplasme

Reserve
PCr

ADP

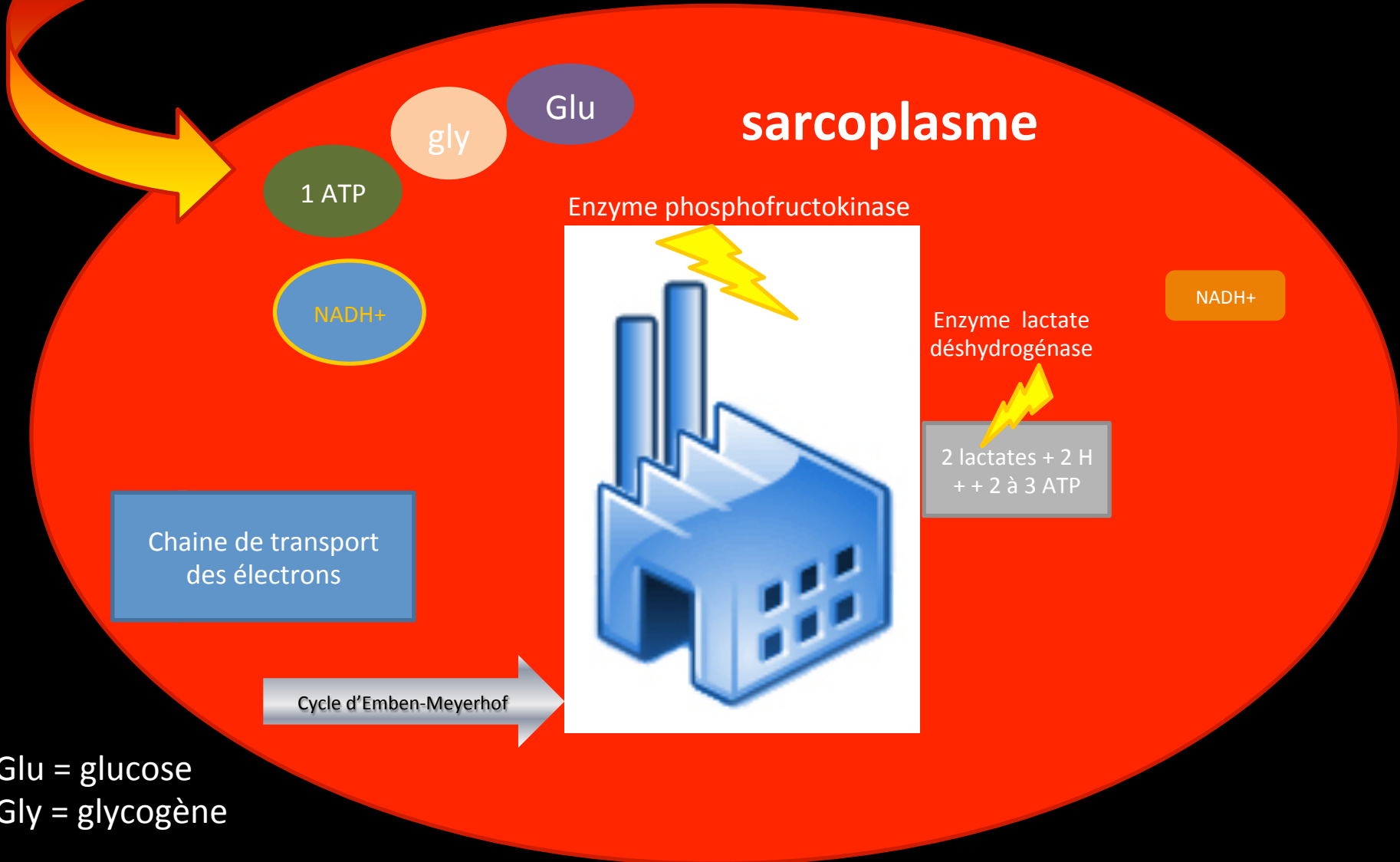
PCr+ADP
+ H⁺

Réaction catalysée
par l'enzyme
créatine
phosphokinase (CPK).



Re-synthèse de l'ATP à partir de la glycolyse anaérobie

MUSCLE



sarcoplasme

Enzyme phosphofructokinase

Enzyme lactate déshydrogénase

2 lactates + 2 H
++ 2 à 3 ATP

NADH+

Chaine de transport des électrons

Cycle d'Emben-Meyerhof

Glu = glucose
Gly = glycogène

Re-synthèse de l'ATP à partir de la glycolyse aérobie

MUSCLE

sarcoplasme

Pyruvate

Enzyme pyruvate
déshydrogénase (PHD)

AcétylCoA

Cycle de
Krebs

Mitochondrie

Co₂
+
H₂O

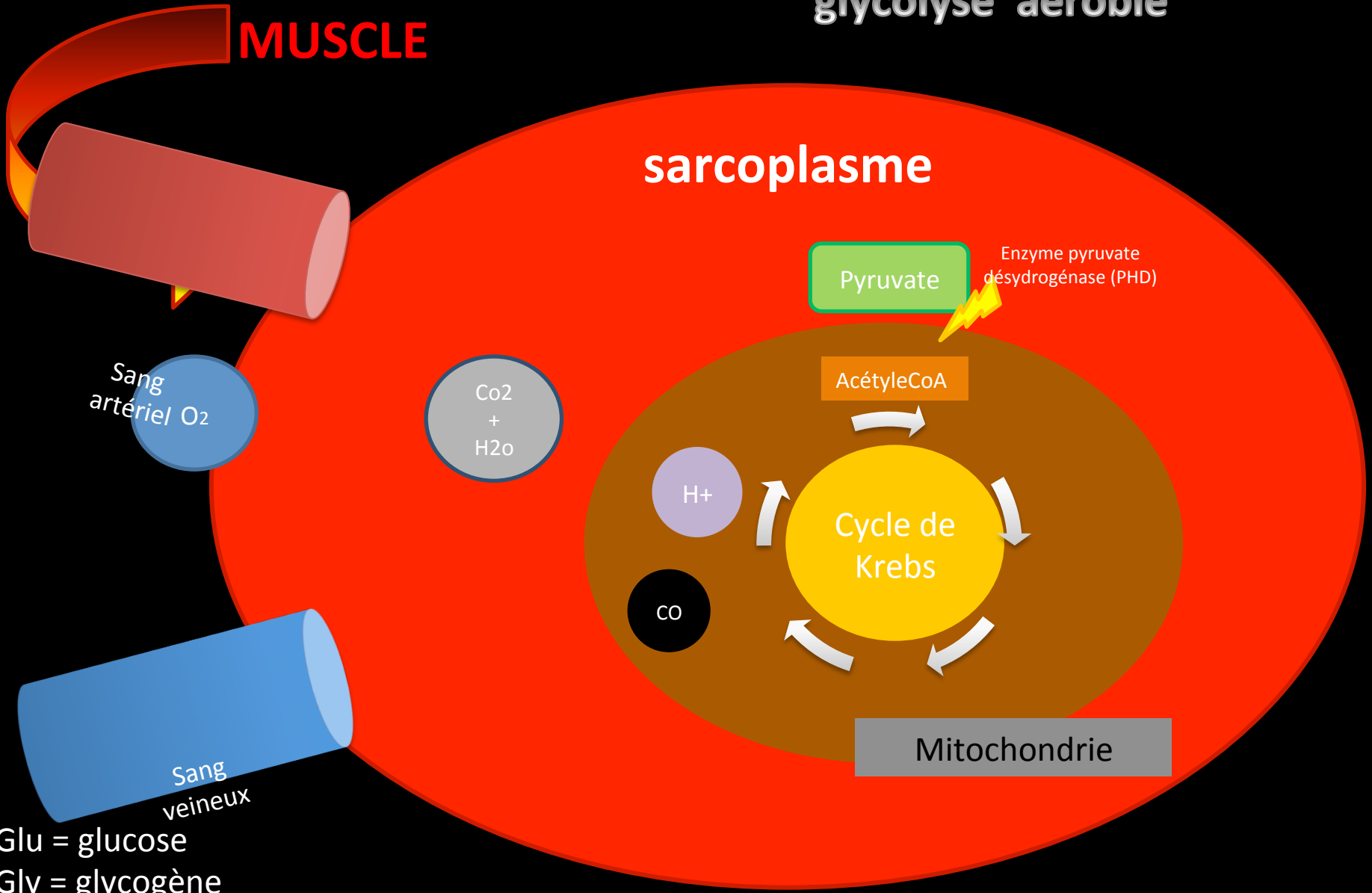
H⁺

CO

Sang
artériel O₂

Sang
veineux

Glu = glucose
Gly = glycogène



La contraction musculaire

Les contractions musculaires à l'origine des mouvements corporels nécessitent beaucoup d'énergie. Cette énergie est fournie par l'adénosine triphosphate (ATP), qui est la seule forme d'énergie chimique utilisable par les protéines contractiles (le muscle ne peut en effet pas extraire directement l'énergie utile à leur contraction à partir des aliments) pour produire de l'énergie mécanique. La dégradation (hydrolyse) de l'ATP permet donc de fournir de l'énergie mécanique grâce à la rupture de la liaison phosphate (environ 7 kcal) :

➤ **ATP ADP + Pi + énergie**

ATPases

- ATP = adénosine triphosphate
- ADP = adénosine diphosphate
- Pi = phosphate inorganique

Néanmoins, les réserves intramusculaires d'ATP sont très limitées (environ 5 mmol par kg de muscle frais) et permettent seulement de réaliser par exemple un exercice de 2 sec. à 70% de la VO₂ max, ou une détente verticale. Il existe donc des mécanismes qui permettent de resynthétiser l'ATP à partir d'autres sources d'énergie. Ces mécanismes sont au nombre de trois :

- La filière anaérobie alactique,
- La filière anaérobie lactique,
- La filière aérobie.

Ces trois filières possèdent des caractéristiques distinctives de puissance (quantité d'énergie disponible par unité de temps = taux de resynthèse d'ATP par unité de temps), de capacité (quantité totale d'énergie pouvant être libérée = quantité totale d'ATP resynthétisée), d'inertie (rapidité de mise en place), et de récupération (vitesse de resynthèse des substrats et d'élimination des éventuels déchets).

La filière anaérobie alactique

Elle est ainsi dénommée car elle ne nécessite pas d'oxygène et ne s'accompagne pas de la formation

d'acide lactique. En plus de l'ATP, le muscle possède des réserves de phosphocréatine (PC) qui s'élèvent à 20 mmol/kg de muscle frais (soit environ 400 mmol si la masse musculaire impliquée dans l'exercice est de 20 kg, ce qui équivaut à une énergie de 16,7 kJ). La dégradation de la phosphocréatine libère de l'énergie (au moins autant que l'ATP), ce qui permet de resynthétiser de

l'ATP :



Créatine-phosphokinase (CPK)

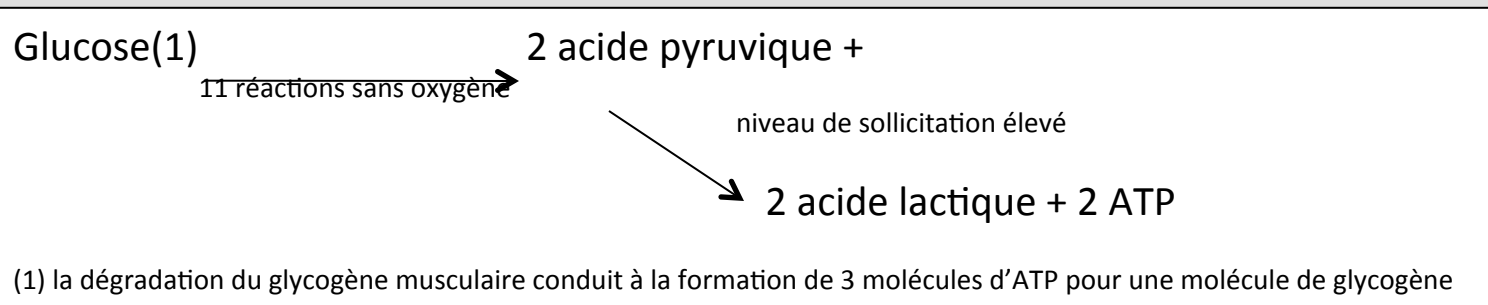
Tableau récapitulatif A A

Capacité	Puissance	Délai d'intervention	Durée de récupération	Exemples dans les APS
Très faible = pour un effort maximal, les réserves de PC sont épuisées en moins de 10 sec	Très importante (80 à 90 fois les dépenses de repos) = chez l'homme sédentaire : 9-10 W/kg chez le sprinter : 15-20 W/kg chez la femme sédentaire : 7-8 W/kg chez la sprinteuse : 12 W/kg	Immédiat = disponibilité dès le début de l'exercice (cette filière ne dépend pas d'une longue série de réactions)	Très rapide = 50% des réserves d'ATP-PC sont reconstituées après 30 sec., et 100% après 3 min. (si suffisamment d'oxygène est disponible)	Efforts très courts et très intenses Sprints courts Sauts Lancers Haltérophilie + au début de toute activité musculaire

La filière anaérobie lactique ou glycolyse anaérobie

Elle est ainsi dénommée car elle ne nécessite pas d'oxygène et s'accompagne de la formation d'acide lactique. L'énergie provient d'une dégradation du glycogène musculaire ou du glucose sanguin (dans le cytoplasme de la cellule). La dégradation du glucose conduit à la formation d'acide pyruvique et la formation de 2 ATP. Comme l'acide pyruvique ne peut s'accumuler dans l'organisme, soit il y a suffisamment d'oxygène et il est oxydé (filière aérobie), soit il n'y a pas d'oxygène en quantité suffisante et il est réduit en acide lactique. L'accumulation progressive d'acide lactique provoque une diminution des pH musculaire et sanguin (par une accumulation de

proton



(1) la dégradation du glycogène musculaire conduit à la formation de 3 molécules d'ATP pour une molécule de glycogène

Tableau récapitulatif A L

Capacité	Puissance	Délai d'intervention	Durée de récupération	Exemples dans les APS
<p>Faible = la limitation de la durée de l'effort ne provient pas d'un manque de substrat (glycogène), mais de la baisse du pH cellulaire (acidose liée à l'accumulation d'ions H⁺). Elle est proportionnelle à la concentration max. de lactate tolérée par l'organisme(1) :</p> <p>sédentaires : 14-17 mmol/l de sang soit environ 75 kJ ht niveau : jusqu'à 30 mmol/l soit environ 150 kJ</p>	<p>Importante = environ 8-9 W/kg pour un effort de 30 sec., et 6-7 W/kg pour un effort d'une min. (Medbo et Tabata, 1989)</p>	<p>Très rapide = il faut quelques secondes (< 5 sec.) pour que la puissance maximale de ce métabolisme soit atteinte</p>	<p>Assez rapide = elle consiste à retrouver les valeurs de repos d'acide lactique c-a-d 1 à 2 mmoles/l de sang. Cette récupération n'est pas linéaire : 50% d'élimination après 15 min., et 100% après 1 h (2).</p>	<p>Efforts max. de 30 sec. à 2 min. 400 m en athlé. km en cyclisme sur piste 100 m en natation</p>

(1) la baisse du pH altère directement les processus contractiles au niveau des myofibrilles ainsi que les réactions chimiques qui se déroulent dans la cellule (ralentissement de l'activité enzymatique de la PFK).

(2) La réalisation d'une activité modérée permet une disparition plus rapide de l'acide lactique (idéal à environ 40-50% de la VO₂ max \diamond environ 120-140 rpm).

La filière aérobie ou glycolyse aérobie

Elle est ainsi dénommée car elle nécessite un approvisionnement en oxygène. La dégradation du glycogène, en présence d'oxygène, se poursuit après le stade de l'acide pyruvique par un passage dans le cycle de Krebs et la chaîne respiratoire (dans les mitochondries de la cellule). Au contraire du processus anaérobie où seul le glucose peut être utilisé, la filière aérobie peut aussi métaboliser les lipides (sous la forme d'acides gras) et dans certaines conditions extrêmes les protéines (les acides aminés en cas d'effort prolongé lorsque les stocks de glycogène sont fortement diminués). Le bilan énergétique de l'oxydation des glucides est nettement plus favorable que celui de la glycolyse anaérobie : 38 molécules d'ATP par molécule de glucose au lieu de 2 (39 à partir du glycogène contre 3 pour la glycolyse anaérobie). L'inconvénient réside dans le fait que l'organisme ne peut apporter de l'oxygène à volonté au niveau musculaire (limitation appelée consommation maximale d'oxygène ou VO₂ max).

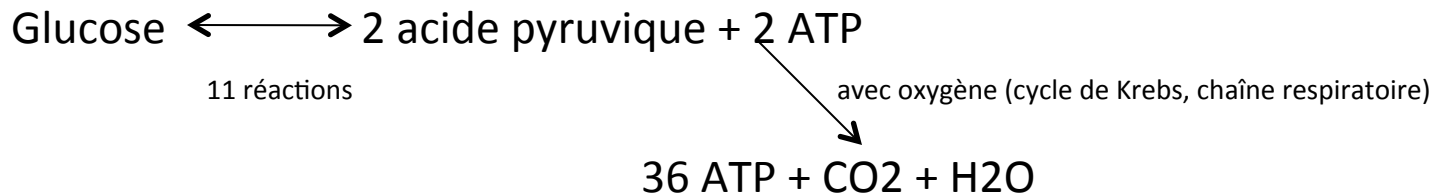


Tableau récapitulatif A

Capacité	Puissance	Délai d'intervention	Durée de récupération	Exemples dans les APS
<p>Importante = la durée de l'effort dépend de son intensité (exprimée en % de VO₂max) et du niveau d'entraînement du sujet ◇ de 5 à 10 min. (à VO₂max) à plusieurs heures (exercice sous-maximal aérobie) (1)</p>	<p>Limitée = elle est liée à la consommation maximale d'oxygène du sujet (VO₂max) à laquelle correspond la puissance maximale aérobie (PMA) : homme non sportif : 45 ml/min/kg (2) soit environ 3 W/kg femme non sportive : 35 ml/min/kg soit environ 2,5 W/kg homme haut niveau : 80-90 ml/min/kg soit environ 6 W/kg soit environ femme haut niveau : 60-70 ml/min/kg soit environ 5 W/kg</p>	<p>Ralenti = il faut quelques min. après le début d'un exercice de moyenne intensité pour atteindre un état stable de consommation d'oxygène (entre 3 et 5 min. pour atteindre la puissance maximale) (3) il faut environ 30 min. pour atteindre la puissance maximale à partir de l'oxydation des lipides (lipolyse)</p>	<p>Longue = elle consiste surtout en la reconstitution des stocks de glycogène ◇ de 12 à 72 heures selon la durée et l'intensité de l'effort + le niveau d'entraînement</p>	<p>Efforts de moyenne et de longue durée Courses de demi et de fond en athlétisme Marathon Triathlon Cyclisme sur route VTT (cross-country) Aviron Ski de fond Marche</p>

(1) 3 principaux facteurs interviennent pour limiter la capacité du système : l'acidose musculaire provenant d'un accroissement d'acide lactique (intensité proche de VO₂max), l'épuisement des réserves de glycogène musculaire (à 75% de VO₂max, l'épuisement survient lorsque le glycogène musculaire a disparu), les possibilités de thermorégulation de l'organisme (= lutte contre la chaleur et la déshydratation).

(2) Ce qui équivaut à environ 10 fois le métabolisme de repos.

(3) Le délai pour atteindre l'état d'équilibre varie en fonction de l'âge et de l'entraînement : plus court chez l'enfant et chez l'adulte entraîné.

conclusion

Comme nous l'avons vu précédemment le muscle a besoin d'ATP pour pouvoir se contracter (seul substrat énergétique permettant la contraction musculaire).

Pour pourvoir à ses besoins, le métabolisme possède trois filières énergétiques. La première est la voie des phosphagènes. Dans un premier temps, le muscle utilise son ATP immédiatement disponible. Dans un second temps il transforme ces réserves de créatine phosphate en ATP grâce à l'enzyme créatine phospho-Kinase. Cette filière n'utilise pas d'oxygène et ne produit pas d'acide lactique. On dit qu'elle est anaérobie alactique. La seconde voie est la glycolyse anaérobie. Dans cette voie le glucose et le glycogène vont être transformés en ATP dans le sarcoplasme au cours de dix réactions catalysées par différents enzymes (*cycle d'Embden-Meyerhof*). Le bilan énergétique de la glycolyse sera de deux ATP pour une molécule de glucose et quatre ATP pour une molécule de glycogène. Il y aura aussi une production de 2 molécules d'acide pyruvique. Si le niveau de sollicitation métabolique est intense alors une partie plus ou moins importante du pyruvate devient de l'acide lactique grâce à l'enzyme lactate déshydrogénase. Dans ce cas la filière anaérobie lactique sera prépondérante. Si le niveau de sollicitation métabolique reste modéré alors, le pyruvate rentrera dans *le cycle de Krebs* dans la mitochondrie. À l'aide de l'enzyme pyruvate déshydrogénase une première réaction transforme le pyruvate en acétyl-coA. Va s'en suivre une suite de réactions chimiques (11 réactions). Au cours de ce cycle, il y aura une production d'hydrogène et de gaz carbonique. Ces derniers seront acheminés vers les voies respiratoires pour être fixés à une molécule d'oxygène. L'oxygène et certains coenzymes permettent de garder le milieu acido-basique de la cellule musculaire stable. Ce qui permet par conséquent de prolonger l'exercice dans le temps. Le bilan énergétique pour ce cycle est de 36 ATP pour une molécule de glucose et 39 ATP pour une molécule de glycogène. Ce cycle permet aussi l'oxydation des lipides. On peut les trouver sous

deux formes: le glycérol et les d'acides gras libres. Tous deux seront métabolisés dans le foie, puis transportés vers la mitochondrie. Cette étape préliminaire est appelée la bêta oxydation, les réactions suivantes seront les mêmes que les glucides. Le bilan énergétique est de 19 APT pour le glycérol et de 139 ATP pour des acides gras libres.

3. Les méthodes d'entraînement

Descriptif du tableau 1

Classification des activités physiques en fonction de leur durée et de la puissance développée (par rapport à la puissance maximal aérobie (PMA)

Pour un sportif non une spécialiste du sport de vitesse ou d'endurance. Les entrainements visant à développer ce type de performance devront s'appuyer

sur les puissances et les durées indiquées. Pour la répétition des exercices selon le registre d'intensité, il faut tenir compte du délai de restauration (DR) des substrats et de l'élimination des métabolites (acide lactique etc...).

Types de performance selon la puissance « P » (relative à la puissance maximale aérobie : PMA)	Durée d'exercice (seconde, minute, heure) Métabolisme utilisés et substrats.	Catégorie de sports selon la puissance Mise en œuvre.
Puissance explosive P= 10 x PMA (50 à 70% 1RM)	<3 s /ATP DR :3 minutes passives.	Haltérophilie, saut en hauteur, lancer, Swing du golf, service au tennis.
Puissances anaérobie alactique P= 5 x PMA	8-10 s /APT-CP DR 7 minutes	Sprints courts (60-100m course, 25 m natation et en sports collectifs). Éléments de gymnastique (saut de cheval).
Puissances anaérobie lactique P= 3 x PMA (50 à 70% de 1 RM).	12-30 s/ ATP-CP+ glucose (glycolyse anaérobie) DR:10 à 15 minutes	Sprints longs (200 m course, 50 m natation et en sports collectifs sur grand Terrain), enchainement au sol en Gymnastique aux barre parallèles.
Capacité anaérobie lactique P= 2 x PMA	30-120 s /glucose (glycolyse anaérobie+ Phosphorylation oxydative). DR:20-40 min	Sprints prolongés (400 m course, 100 m natation). Demi-fond court (800 m course, 200 m natation) slalom géant et descente à ski alpin.
Puissance maximal aérobie P= PMA	2-6 mint /glucose (glycolyse anaérobie+ Phosphorylation oxydative). DR :60 mint -6 heures.	Demi-fond long (1500m course,400m natation).
Capacité maximal aérobie P= 0.9 x PMA efforts continus P= 1.2 x PMA effort intermittents	20-60 minutes/glucose (glycolyse anaérobie +Phosphorylation oxydative). DR :24 pour la réplétion en glycogène après 20 minutes exhaustives.	Demi-fond long (3000-5000m course, 800m natation).
Capacité aérobie II (au seuil lactique) P=0.7-0.8 x PMA	20-60 minutes /glucose (glycolyse anaérobie +Phosphorylation oxydative). DR :24-48h pour la réplétion en glycogène.	Fond court (10000m course, 1500m Natation).
Capacité aérobie I (endurance) P= 0.5-0.7 x PMA	60 minutes à plusieurs heures. Glucose et lipides(Phosphorylation oxydative). DR:24h après 60 minutes d'exercices pour les sels minéraux et 7 jours à l'issue d'épreuves de plusieurs heures ayant entraîné un état inflammatoire de la fibre musculaire et des douleurs musculaires différées.	Fond long (semi marathon, marathon, 25km natation), triathlon, VTT option cross Country, ski de fond.

Méthode interval training

D'après Fox & Mathews

Filière énergétique	Dosage	Rapport effort/repos
APT- PC	75% VIT.MAX ou 75% FORCE MAX.	1/3
AL	65% VIT.MAX ou 65% FORCE MAX	1/2
AL-O2	80% DE VMA OU 50% FORCE MAX	1/1
O2	60% VMA OU 40% FORCE MAX	1/0.5

4. Exemples de Séance

Séance puissance explosive

Objectif de la séance:

Faire travailler la puissance explosive des membres inférieurs.

Méthodes:

Travail stato-dynamique 2 temps.

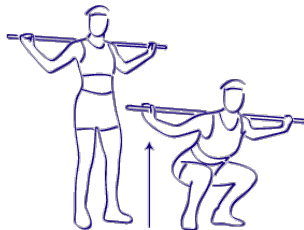
Exercice: $\frac{1}{2}$ squat.

6 séries de 2 reps

3 minutes de récupération passive entre chaque série.

Charge: 70% de RM

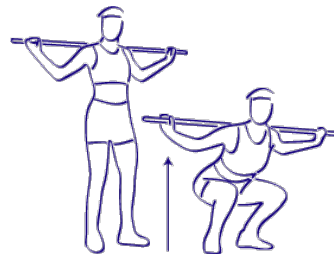
➤ Exemple:



2 reps 70% de 1 RM



3 minutes
de recup



2 reps 70% de 1 RM

Séance puissance anaérobie alactique

Objectif de la séance:

Faire travailler la puissance anaérobie alactique des membres supérieurs.

Méthodes:

Méthode répété puissance maximale.

deux déclinaisons:

Puissance de force (PF) ; puissance de vitesse (PV).

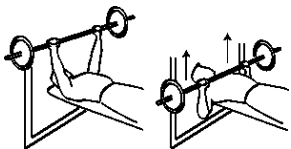
Exercice: développé couché.

PF: 8 séries de 5 reps; PV: 6 séries de 5 reps.

3 minutes de récupération passive entre chaque séries.

Charge: PF 50 à 70% de 1 RM; PV 30 à 50 de 1 RM.

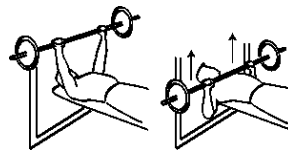
➤ Exemple:



5 reps 70% de 1 RM



3 minutes
de recup



5 reps 70% de 1 RM

Séance capacité anaérobie alactique

Objectif de la séance:

Faire travailler la capacité anaérobie alactique sur le geste sportif (rameur).

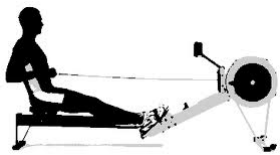
Méthodes:

Méthode répété puissance sub-maximale 90 à 95% .

PF: 8 séries de 7 à 15 secondes (Selon la diminution de la puissance).

3 à 8 minutes de récupération passive entre chaque séries.

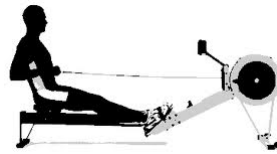
➤ Exemple:



90% de P max



6 minutes
de recup
passive



90% de P max

Séance puissance anaérobie lactique

Objectif de la séance:

Améliorer les processus de la puissance anaérobie lactique.

Méthodes:

Course à pied (sprint 150 à 200 mètres selon niveau).

5 minutes de récupération active à SV1, puis 5 passive entre chaque série.

Séries: 4.

Vitesse: maximale.

➤ Exemple:



200m sprint



5 minutes de
recup active;
5 minutes
récup
passive



200m sprint

Séance capacité anaérobie lactique

Objectif de la séance:

Améliorer les processus de la capacité anaérobie lactique. (endurance lactique)

Méthodes:

Travail intermittent Tabata (20 sec de travail 170% de PMA 10 sec recup active x 8 fois).

Matériel: vélo ergomètre watt bike.

Séries: 2

Récup active: 5 minutes.

➤ Exemple:



Méthode tabata
20/10x8



5 minutes de
recup active



Méthode tabata
20/10x8

Séance puissance maximum aérobie (PMA)

Objectif de la séance:

Amélioration de la PMA.

Méthodes:

Travail intermittent de type 30/30 (30 sec de travail 30 sec de récup).

Course à pied.

Séries: 5 à 7 séries.= 1 bloc x 2 fois

Vitesse: 120% de VMA (vitesse maximum aérobie).

Récupération active entre les séries (30s) et entre les blocs (3 minutes).

➤ Exemple:



5x 30/30



3 minutes de
recup active



5x 30/30

Séance Capacité aérobie II (au seuil lactique).

Objectif de la séance:

Améliorer le travail en capacité aérobie (travail fondamental aérobie).

Méthodes:

Travail intermittent long 4 minutes 2 minutes 5 fois.

Matériel: vélo ergomètre watt bike.

Séries: 5

Travail: 4 minutes

Récup active: 2 minutes

Puissance: 70 à 80% PMA

Cadence (RPM): 60 à 80

➤ Exemple:



4 minutes 80% de
PMA



2 minutes de
recup active



4 minutes 80% de
PMA

Capacité aérobie I (endurance)

Objectif de la séance:

Amélioration de l'endurance.

Méthodes:

Travail continu.

Course à pied.

Temps de travail: 60 minutes

Vitesse: 60% de VMA (vitesse maximum aérobie).

➤ Exemple:



60 minutes à
60% de VMA

5. Les 4 grandes règles

1. L'efficacité d'un travail est maximale lorsque l'intensité de la sollicitation est proche du système énergétique visée.
2. Ce principe rejoint la notion d'équilibre énergétique (Egger 1992), à savoir qu'il est souhaitable de développer les deux aspects essentiels du système énergétique: la puissance et la capacité ou l'endurance.
3. Tout en respectant l'intensité maximale du processus travaillé, la durée des fractions doit être inférieure aux capacités exhaustives du processus. Une durée **de 6 à 7 secondes** (indépendamment du nombre de gestes ou de la distance effectuée) semble satisfaisante.
4. Pour développer la capacité du processus alactique, utiliser des intensités infra-maximal sur des durées ne dépassant pas le double de la durée pouvant être atteinte à pleine puissance – **ici 15 secondes.**

Bibliographie

- Bases physiologiques des activités physiques et sportives. H.Monod, R.Flandrois. 4e édition, Masson, Paris, 1997.
- Physiologie et méthodologie de l'entraînement 2^e édition. V.Billat. DeBoeck Université, Paris, 2003.
- Physiologie de l'exercice musculaire. G. Millet et S. Perrey. Ellipses, Paris, 2005.
- Énergie et performance physique et sportive. J. Bricewalter, C. Hauswirth. Armand Colin, Paris, 2003.
- La préparation physique optimisation et limites de la performance sportives. D.Le Gallais, G.Millet . Masson, Paris, 2007.