

L2 ES

**Performance sportive et qualités physiques &
prévention du sportif**

CM4 Développement des capacités aérobies

Céline TRIOLET

Introduction

- Aucune amélioration durable du potentiel physique d'un athlète ne peut s'envisager sans le développement complet du processus aérobie

Plan du cours

- 1. Définition de l'endurance
- 2. Rappels physiologiques
- 3. Méthodes de développement
- 4. Les limites de la filière aérobie
- 5. Périodes de développement

1. Définitions

- D'après Aubert et Blancon (2014), l'endurance est la capacité de répétition des efforts, sans baisse d'intensité, durant le temps d'une épreuve.

2. Rappels physiologiques

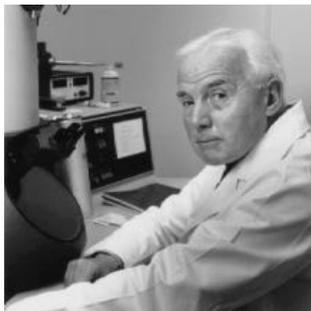
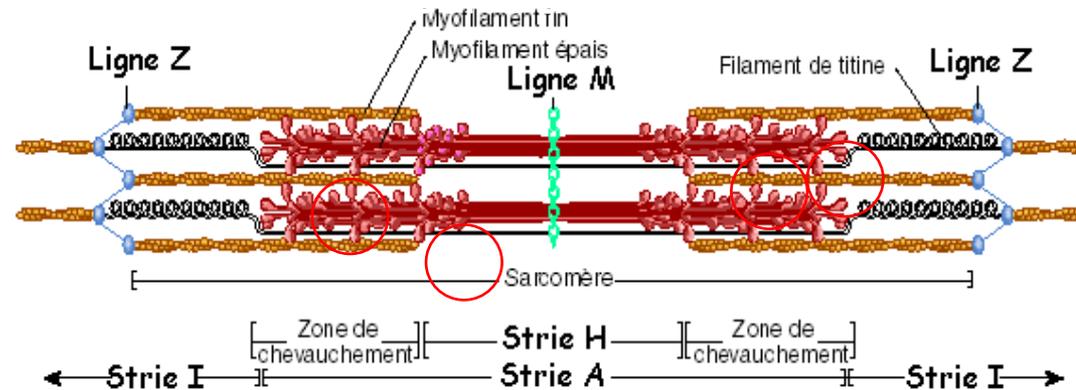
- ENDURANCE = Filière aérobie

2. Rappels physiologiques

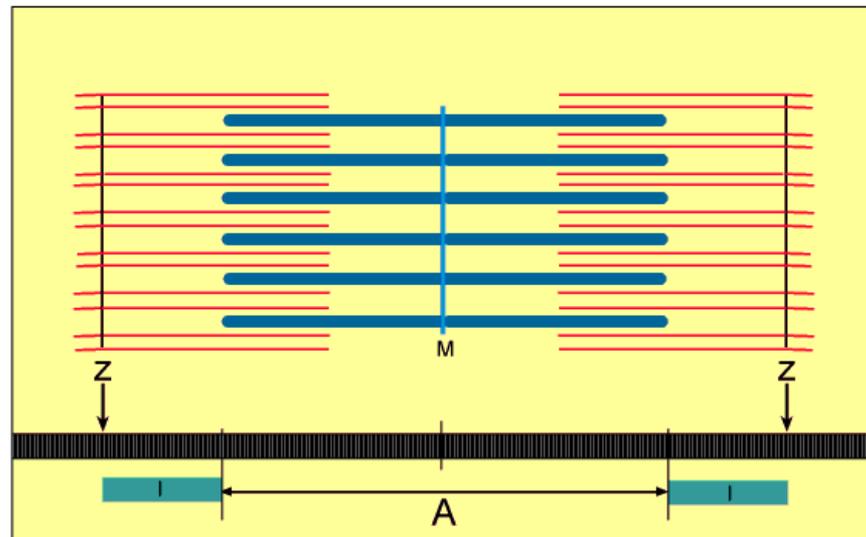
RAPPEL

zakaria.labsy@u-psud.fr

Les sources d'énergie de l'exercice musculaire



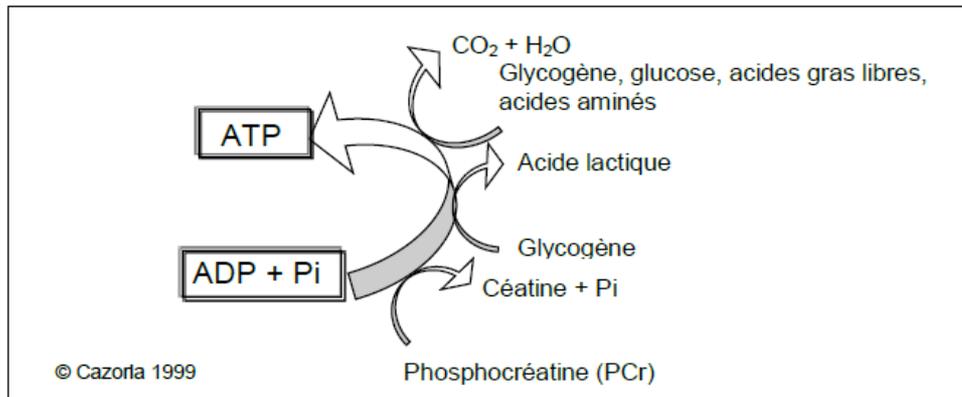
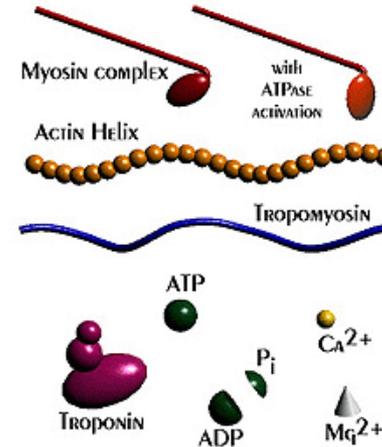
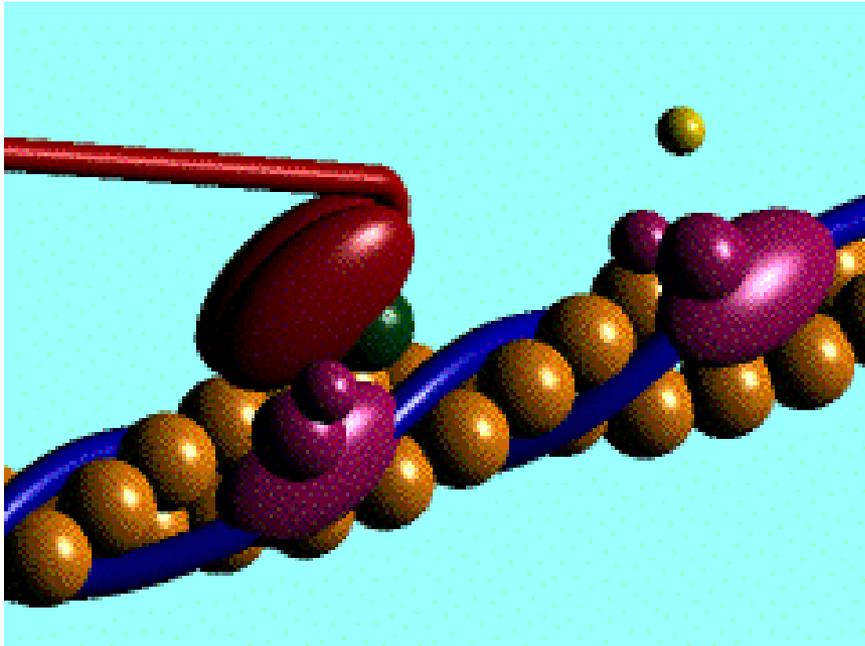
Hugh Huxley
1954



Rôle de l'ATP dans la contraction musculaire

RAPPEL

zakaria.labsy@u-psud.fr



© Cazorta 1999

Phosphocréatine (PCr)

L'ATP est la seule molécule capable de fournir directement de l'énergie au muscle,

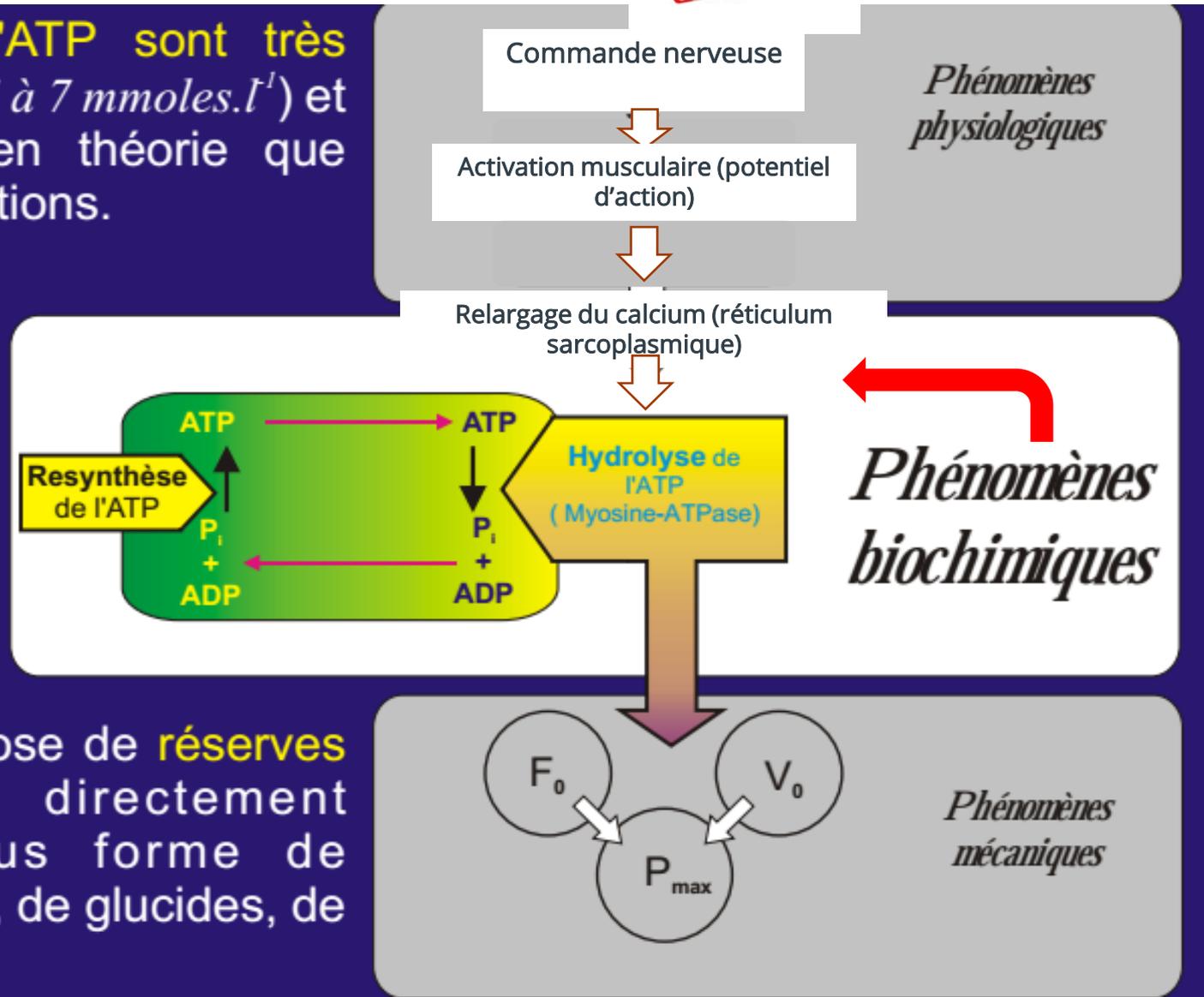
Figure 5 : Rôle des réserves énergétiques dans la phosphorylation de la molécule d'ADP permettant le turn-over constant de l'ATP.

RAPPEL

Les **réserves d'ATP** sont très **faibles** (environ 4 à 7 mmoles.l^{-1}) et ne permettent en théorie que quelques contractions.

La poursuite de l'exercice exige la **resynthèse de l'ATP**.

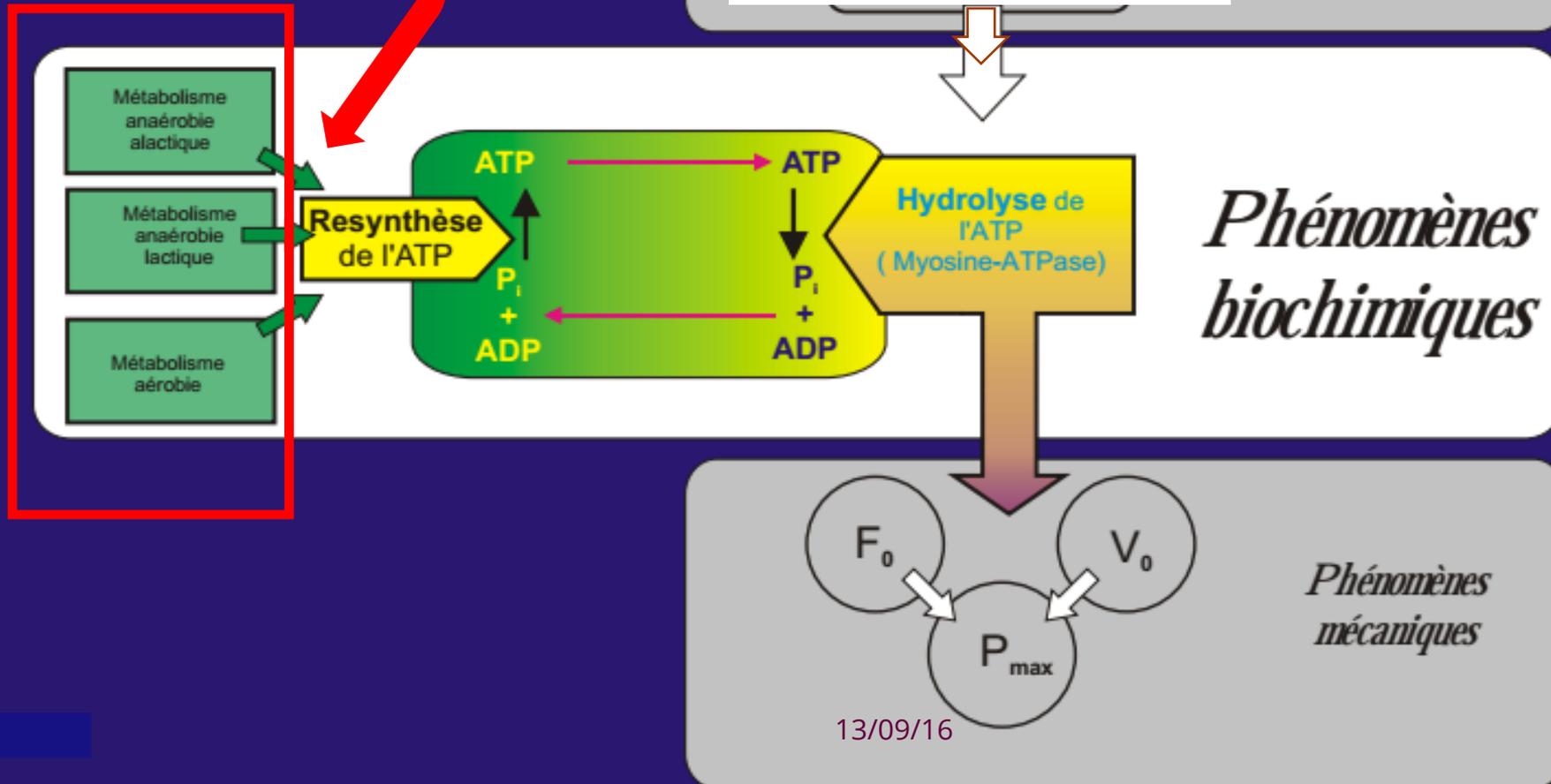
Le muscle dispose de **réserves d'énergie** non directement utilisable, sous forme de phosphocréatine, de glucides, de lipides.



Les métabolismes énergétiques

RAPPEL

Trois métabolismes énergétiques permettent la resynthèse de l'ATP au cours de l'exercice.



Les métabolismes énergétiques

RAPPEL

zakaria.labsy@u-psud.fr

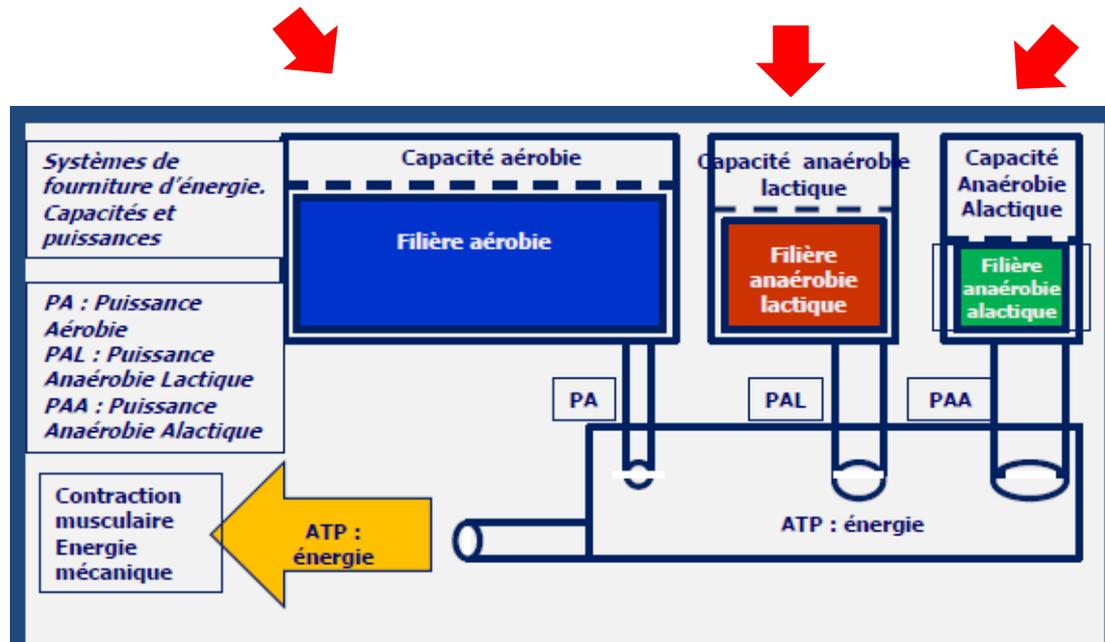
Le Muscle n'est pas producteur d'énergie mais transformateur des réserves en énergie (Métabolisme veut dire « transformation »)

Les 3 métabolismes de l'organisme humain :

Aérobie : l'énergie provient de la combustion des lipides et des glucides grâce à l'O₂

Anaérobie lactique : En l'absence d'O₂, le glucose libère de l'énergie avec production de lactates

Anaérobie alactique : l'énergie provient de la transformation de la créatine phosphate stockée dans les muscles



Le métabolisme aérobie

- L'utilisation de l'oxygène → participe à la combustion des macromolécules organiques :
 - - Graisses,
 - - Sucres.
- → Le métabolisme aérobie est important dans l'entraînement des disciplines d'endurance.

Le métabolisme aérobie

RAPPEL

zakaria.labsy@u-psud.fr

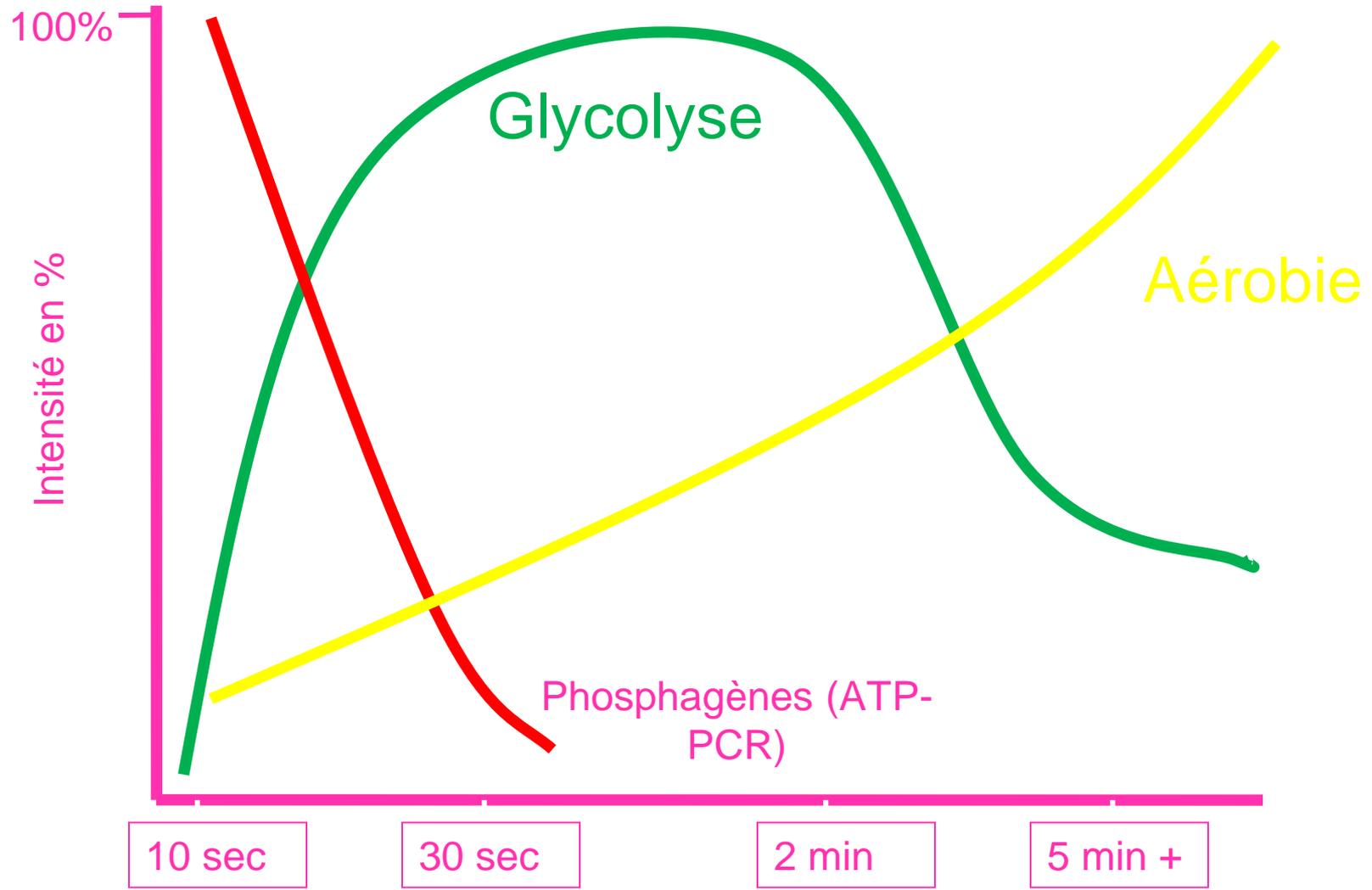
- *Puissance* :
- La Puissance Maximale Aérobie (PMA)
- → est atteinte à $VO_2\max$,
- → C'est la plus petite puissance (ou vitesse pouvant solliciter $VO_2\max$)

- *Capacité* : Elle représente la capacité de l'organisme à soutenir un pourcentage donné de $VO_2\max$ pendant une période prolongée. L'énergie est principalement assurée par les processus aérobie,.
N° 146 - Juin - Juillet - Août 1997 - C. Gindre

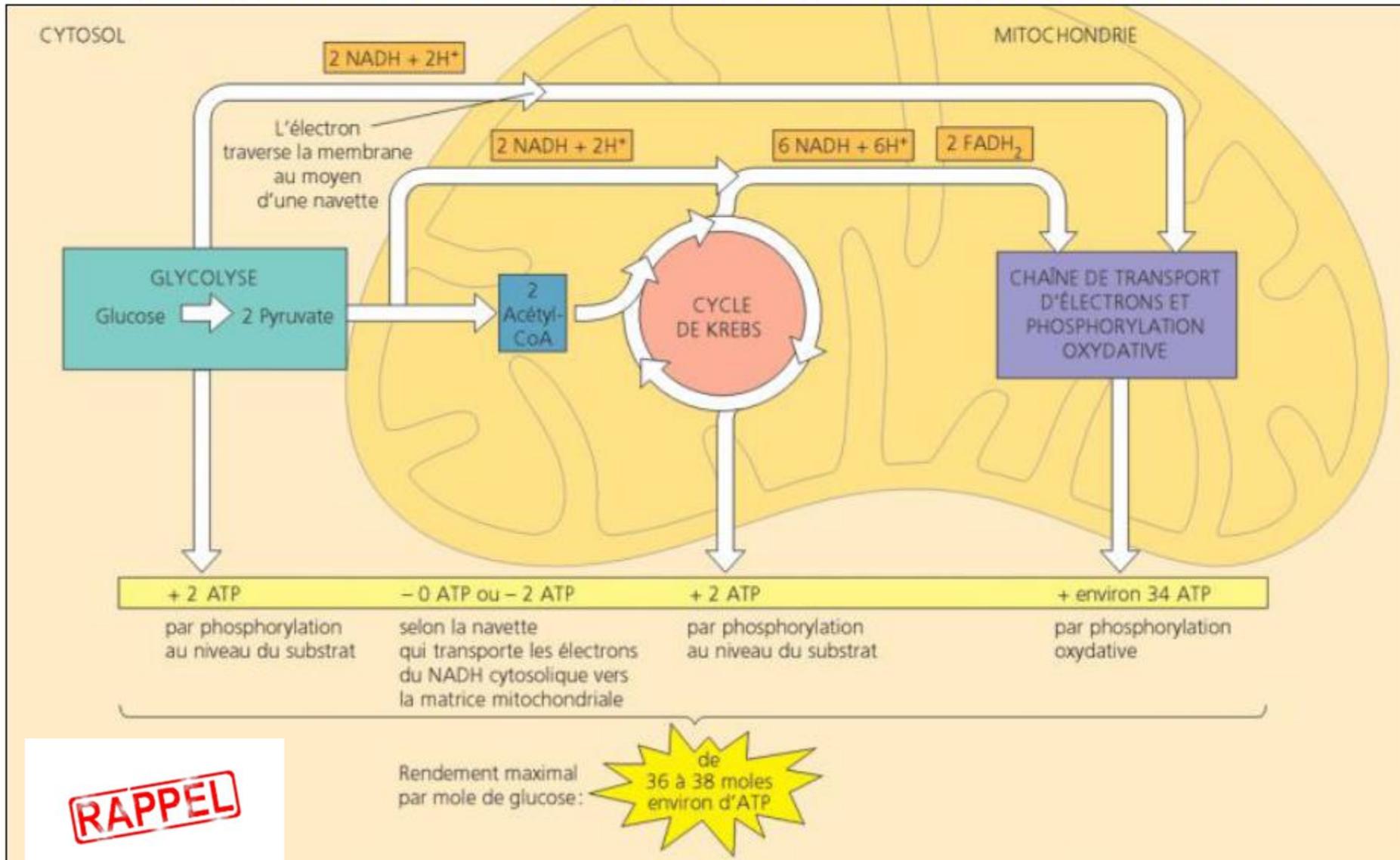
Systeme de transfert d'energie et exercice

RAPPEL

zakaria.labsy@u-psud.fr



Bilan total de la respiration cellulaire aérobie:



RAPPEL

- **Qu'est-ce que la (le) VO_2 max ?**

- "Le volume maximal d'oxygène inspiré, transporté et utilisé par minute lors d'un exercice exhaustif« .(Elle est mesurée en ml/kg/min).
- Un athlète non entraîné ne peut s'exercer que jusqu'à 50-60% de sa VO_2 max avant de se fatiguer.
- Par contre, un athlète entraîné peut maintenir des efforts de plus de 85 % de sa VO_2 max avant de se fatiguer.

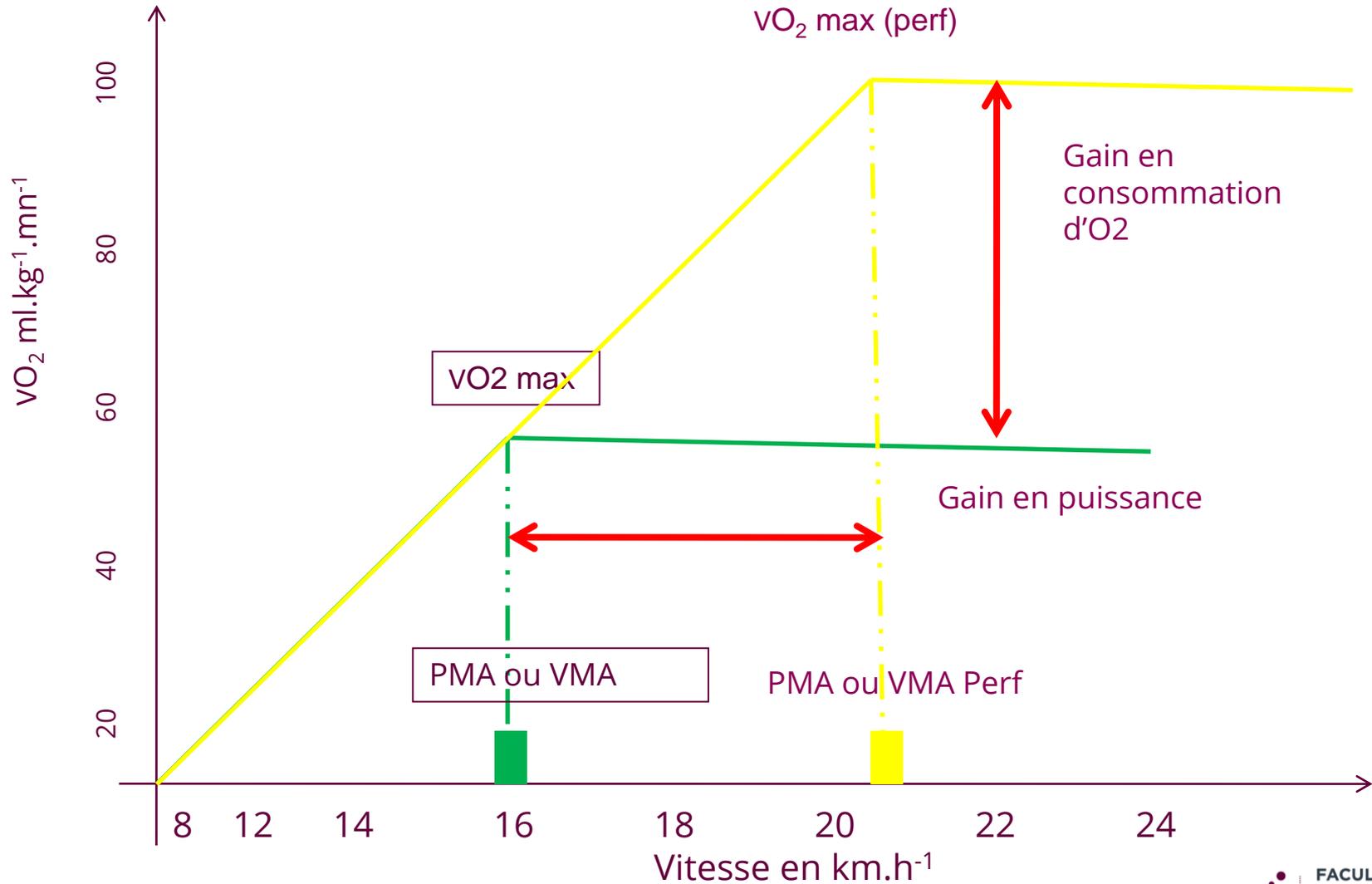
LA VMA et capacité maximale aérobie

- La vitesse maximale aérobie ou VMA est la vitesse maximale obtenue sur le terrain (ou sur le tapis roulant), permettant de solliciter au maximum la VO₂Max. La capacité de travail avec oxygène correspond à ce que l'on appelle la Capacité Maximale Aérobie.
- Celle-ci dépend de facteurs génétiques, mais elle peut être améliorée grâce à l'entraînement et se développer progressivement. Cette valeur maximale aérobie peut être exprimée en vitesse maximale aérobie (VMA) ou en puissance (PMA)

Notion de $\dot{V}O_2$ max & de VMA

RAPPEL

zakaria.labsy@u-psud.fr

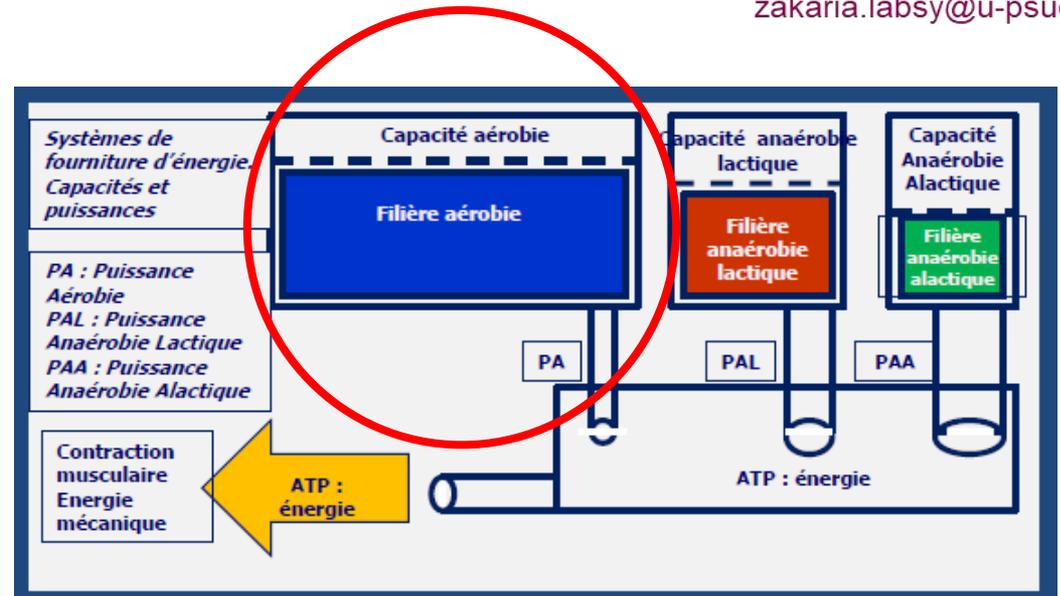


Les métabolismes énergétiques

RAPPEL

zakaria.labsy@u-psud.fr

Cette filière se réalise exclusivement en présence d'oxygène



Inertie :	moyenne
Puissance :	faible à moyenne
Capacité de travail :	très élevée
Démarrage :	lent
Puissance :	faible à moyenne
Distance parcourue :	très élevée

FILIERE AEROBIE

Capacité	Puissance	Délai d'intervention	Durée de récupération	Exemples dans les APSA
<p>Importante voire très importante</p> <p>= la durée de l'effort dépend de son intensité (exprimée en % de $VO_2\max$) et du niveau d'entraînement du sujet → de 5 à 10 min. (à $VO_2\max$) à plusieurs heures (exercice sous-maximal aérobie) ⁽¹⁾</p>	<p>Limitée</p> <p>= elle est liée à la consommation maximale d'oxygène du sujet ($VO_2\max$) à laquelle correspond la puissance maximale aérobie (PMA) :</p> <p><u>homme non sportif</u> : 45 ml/min/kg ⁽²⁾ soit environ 3 W/kg</p> <p><u>femme non sportive</u> : 35 ml/min/kg soit environ 2,5 W/kg</p> <p><u>homme haut niveau</u> : 80-90 ml/min/kg soit environ 6 W/kg soit environ</p> <p><u>femme haut niveau</u> : 60-70 ml/min/kg soit environ 5 W/kg</p>	<p>Ralenti</p> <p>= 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⁾</p> <p>il faut environ 30 min. pour atteindre la puissance maximale à partir de l'oxydation des lipides (lipolyse)</p>	<p>Longue</p> <p>= 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</p> <p>Courses de demi et de fond en athlétisme</p> <p>Marathon</p> <p>Triathlon</p> <p>Aviron</p> <p>Ski de fond</p> <p>Marche</p> <p>En cyclisme :</p> <p>Cyclisme sur route</p> <p>Cyclo-cross</p> <p>Certaines disciplines sur piste (poursuite, course aux points, keirin, etc.)</p> <p>VTT (cross-country)</p>

Tableau récapitulatif des filières

Caractéristiques/Filières	Anaérobie Alactique	Anaérobie Lactique	Aérobie
Substrats énergétiques	ATP Phosphocréatine	Glucose	Glucose Acides Gras
Métabolites (hors chaleur)	ADP Créatine	H+ Acide Lactique	CO2 H2O (urée)
Bilan énergétique par molécule de substrat	1 ATP	2-3 ATP / Glycosyl	>36 ATP/Glycosyl
Présence d'oxygène	Non	Non	Oui
Réserves d'énergie	Muscle	Muscle	Muscle Tissus adipeux
Type de fibre musculaire	IIA IIB rapides	IIA et IIB rapides – blanches – glycolytiques – phasiques	I et IIA I : rouges – lentes – toniques
Durée des épreuves couvertes	0 à <20 sec	20 sec à <2mn	2mn à plusieurs heures
Capacité (quantité d'énergie)	15 à 30 kJ	100 à 200 kJ	1 à 400 mJ
Débit (puissance)	4 à 12 Kw	3 à 8 Kw	0.8 à 1.7 Kw
Exemples d'exercices	Force Vitesse	Résistance	Endurance
Exemples d'épreuves sportives	Haltérophilie – 100m plat – Lancer – Saut	400m plat – 100 m natation – km (vélo)	du 1500 m au marathon
Facteur limitant la puissance	Neuromusculaire	Activités enzymatiques	Débit cardiaque – masse musculaire
Facteur limitant la capacité	Phosphocréatine	pH – Lactate	Glycogène musculaire
Délai de récupération	2 à 10 mn	1h et plus (lactate)	Quelques heures à quelques jours

3. Méthodes de développement

- Pour contrôler le travail on peut soit utiliser des pourcentages de VMA soit de FC
- A VMA un athlète est à FC max (Rappel F_{cmax} théorique = $220 - \text{âge}$)
- Course à 70% de VMA = Course à 70% de la FC de réserve ($70\% (F_{cmax} - F_{crepos}) + F_{crepos}$)
- Il est important de travailler sur le temps limite ou temps de soutien à VMA (entre 3 et 9' environ)

3. Méthodes de développement

- A. les méthodes de développement de la puissance aérobie
- B. les méthodes de développement de la capacité aérobie

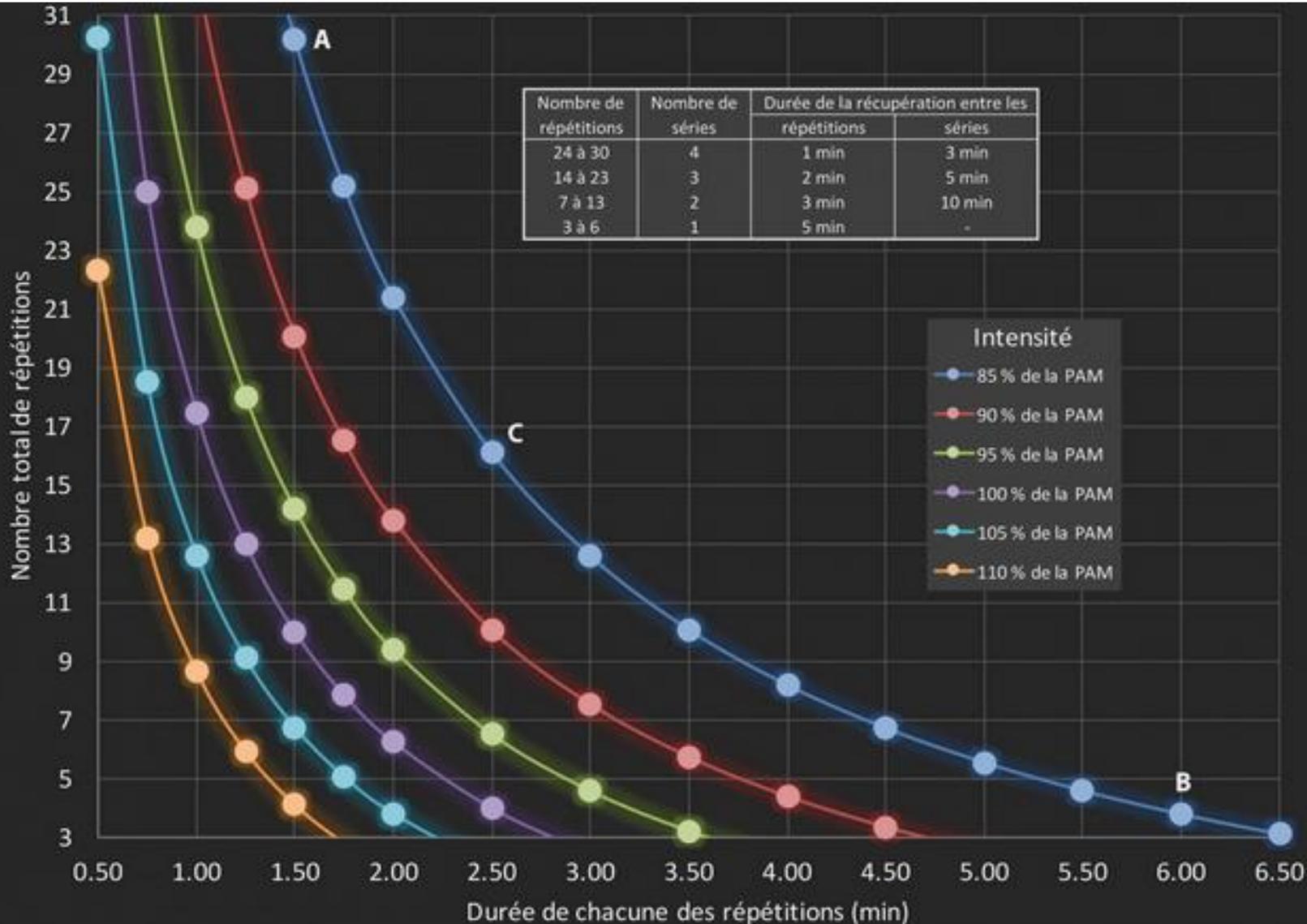
3. Méthodes de développement

A. La puissance aérobie

- Les efforts continus d'une durée comprise entre 12 et 20' (intensité de 75 à 95% VMA)
- Les efforts intermittents de longue durée (=intervall training)
 - Succession d'efforts légèrement supérieur à la PMA (100 à 105% de la PMA) pendant trois minutes entrecoupés de récupération active équivalente (le tout fait 6 fois)
- Les efforts intermittents de durée moyenne
 - Succession d'efforts maximaux et supra maximaux (110 à 120% de la PMA) pendant 1 min entrecoupés de récupération active d'une durée de 2 min environ (le tout fait 8 à 10 fois)
- Les efforts intermittents courts
 - Succession d'efforts supra maximaux (jusqu'à 130% de la VMA) pendant 15" avec une récupération d'une à 2' (le tout fait 12 fois)
- La méthode du « court/court »
 - Succession d'efforts maximaux ou supra maximaux (100 à 120% de la PMA) pendant 10 à 30 secondes entrecoupés de récupération active d'une durée équivalente (le tout fait pendant 10 à 20 minutes) et répété 2 à 3 fois dans la séance

3. Méthodes de développement

A. La puissance aérobie; intermittent courbe de Mercier et Thibault



3. Méthodes de développement

A. La puissance aérobie

Le graphique décortiqué

Simple à utiliser, le graphique se lit comme suit :

- Chacune des six courbes correspond à l'intensité à laquelle doivent être effectuées les fractions d'effort (répétitions) : soit 85, 90, 95, 100, 105 et 110 % de la puissance aérobie maximale (PAM) ;
- L'axe vertical indique le nombre de répétitions (les séances en comptent de 3 à 30) ;
- L'axe horizontal indique la durée des répétitions, celle-ci varie de 0.5 à 6.5 minutes ;

Chaque point sur l'une ou l'autre des six courbes représente une séance d'EPI. Il est donc possible de générer une infinité de séances. Dans le graphique, j'en ai pointé 48 : celles où la durée des répétitions est facile à retenir.

Mode d'emploi

Pour apprendre à utiliser le graphique, prenons par exemple la séance identifiée « A ». Elle consiste à faire 30 fractions d'effort (le point est vis-à-vis de 30 sur l'axe vertical) d'une durée de 1 min 30 s (voir l'axe horizontal), à 85 % de la PAM.

Et le tableau inséré dans le graphique précise que ces 30 répétitions doivent être réparties en quatre séries. On peut par exemple faire 2 séries de 8 répétitions, puis 2 séries de 7 répétitions, pour un total de 30.

Le tableau précise aussi que ces fractions d'effort doivent être entrecoupées de périodes de récupération (active) de 1 min entre les répétitions, et de 3 min entre les séries (il s'agit de poursuivre l'activité, à faible intensité).

3. Méthodes de développement

B. La capacité aérobie

- **Les efforts continus d'intensité élevée (Fartlek)**
 - Effort continu sous maximal (environ 85% de la VMA) pendant 20 à 30' (possibilité de varier les allures de course)
- **Les efforts continus d'intensité moyenne**
 - Effort continu sous maximal (environ 75% de la VMA) pendant une durée de 45' à 1h (intéressant pour la perte de poids)
- **L'endurance fondamentale**
 - Effort continu sous maximal (50 à 60% de la VMA) pendant une très longue durée

4. Les limites de la filière aérobie

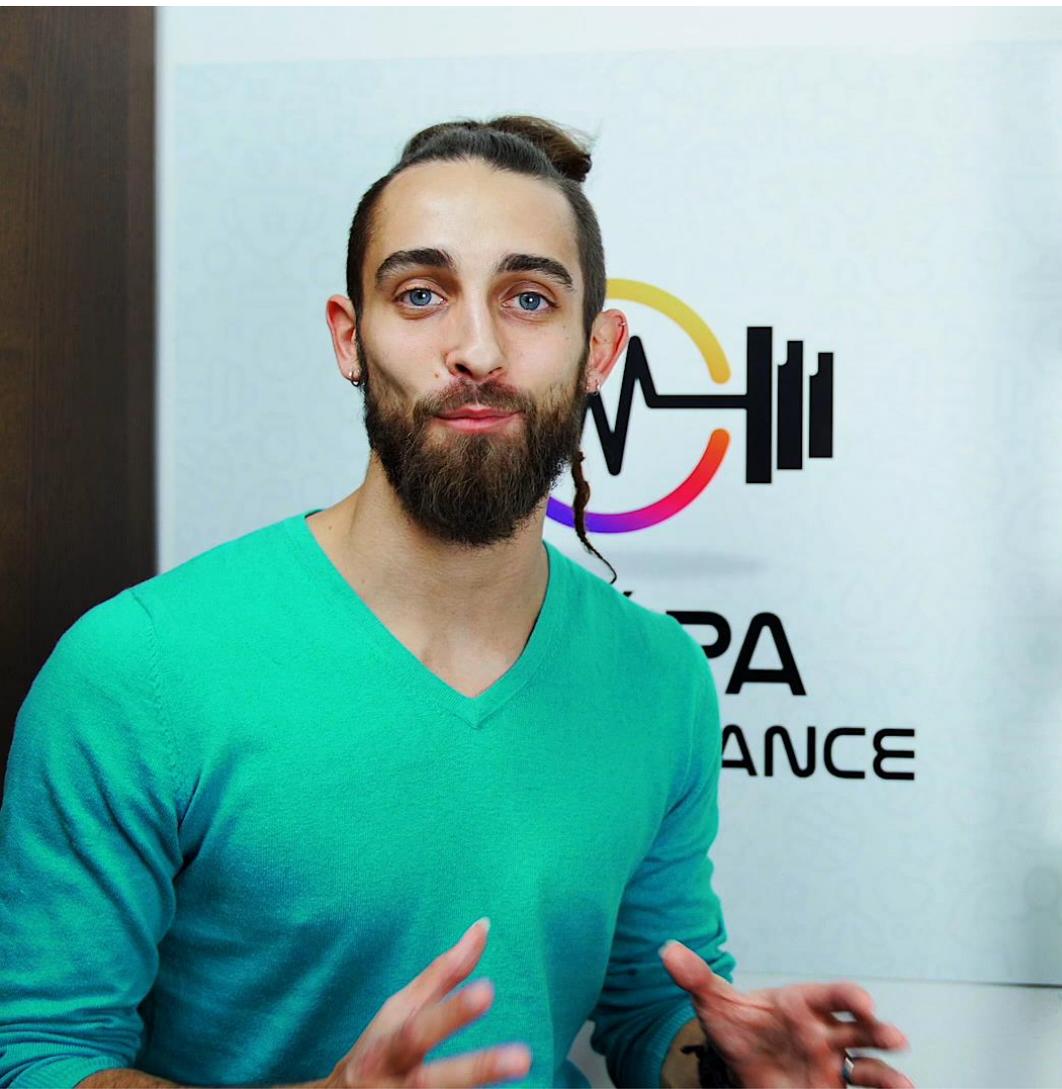
- Cette filière ne fonctionne pas:
 - Si l'oxygène fait défaut
 - Si les réserves du muscle en glycogène sont épuisées
 - Si l'intensité du travail dépasse les possibilités d'oxygénation de l'organisme

5. Périodes de développement

- Les périodes de l'enfance et de l'adolescence sont primordiales au développement des capacités aérobies. En effet, la VO_2 max augmente jusqu'à la fin de la puberté (voire lentement jusqu'à 25 ans chez les hommes) pour diminuer ensuite régulièrement tous les ans. Ainsi, nos capacités aérobies dans le futur sont dépendantes du niveau atteint au moment de la fin de la puberté.

Résumé sur le métabolisme aérobie chez l'enfant et l'adolescent

- ❑ Les voies énergétiques mettant en jeu les réactions oxydatives sont tout à fait opérationnelles dès le plus jeune âge = le métabolisme aérobie semble performant dès la petite enfance.
- ❑ Avant la puberté, les mécanismes aérobie sont supérieurs à ceux de l'adulte et compensent donc en partie les processus anaérobies encore immatures.
- ❑ Chez l'enfant, la part du métabolisme aérobie sur la fourniture totale d'énergie est plus importante que chez l'adulte, l'atteinte d'un état stable de consommation d'oxygène est plus rapide, la dette d'oxygène est plus faible, la participation des lipides à l'effort est plus importante, et la récupération post-exercice plus rapide.
- ❑ Les études montrent une amélioration des performances chez l'enfant et l'adolescent après un entraînement de type aérobie.
- ❑ Les améliorations portent à la fois sur la consommation maximale d'oxygène et sur l'endurance aérobie, mais les effets sont plus sensibles sur l'endurance aérobie.
- ❑ La première période de la puberté est une période sensible au cours de laquelle l'organisme est particulièrement réceptif aux efforts aérobie de moyennes et de longues durées : *« La puberté, particulièrement dans sa 1^{ère} phase, représente la période où l'entraînabilité des déterminants de la condition physique est maximale »* (J.Weineck, 1992).
- ❑ Mais comme chez l'adulte, le désentraînement engendre une diminution du potentiel acquis.
- ❑ J.Weineck (1992) : *« Il faut porter une attention toute particulière au développement de l'endurance chez l'enfant »* car *« c'est l'entraînement de l'endurance qui a, et de loin, la plus grande influence sur tous les paramètres de la capacité de performance de l'organisme »* + protection de la santé + capacité de résistance à la fatigue.



Thème de travail : développement de la VMA circuit training 15/15			
Thèmes / Objectifs	But	Organisation Consignes	Critères réalisation
<i>Echauffement 30'</i>	<p>Echauffement Russe (gainage puis mobilisation articulaire) Travail de technique de course et de pieds (MG, TF, skipping, griffé, coordination une jambe griffe et une jambe MG, griffé russe, déroulement du pied) Montée cardio (tipping + course)</p>		
<i>Circuit training 15'</i>	Travail full body	2 tours 5 ateliers A. Position planche sur mains ; 10 descentes sur coude et remontées B. 10 squats jump C. Position planche sur mains ; 10 mountains climber sur chaque jambe D. Allongé sur le ventre ; une jambe retient l'autre 5 extensions de jambe excentrique par jambe E. 5 burpees	Réaliser les exercices avec la meilleure réalisation possible ; position du bassin, dos plat, contrôle de l'extension de la jambe...
<i>Circuit VMA</i> 3 x 8' 15/15 I=100% VMA R=1'30	Réalisez le parcours à haute intensité sans baisse d'intensité	8 Ateliers 1 série = 2 tours 2 étudiants par atelier en alternance A. Pas chassés entre 2 plots B. Sprint Avant / arrière C. Traversée d'échelle D. Aller toucher des plots (3 plots devant un plot de remplacement) E. Montées de genoux sur plots F. Allers / retours entre 2 paniers de basket et tir G. Tipping 5'' + sprint (x2) H. Conduite de balle au pied, slalom entre plot + sprint	
<i>Etirements passifs 15'</i>	20'' par muscle étiré		

L2 ES	Thème de travail : développement de la VMA Utilisation de la VMA		
Thèmes / Objectifs	But	Organisation Consignes	Critères réalisation
<i>Echauffement 30'</i>	<p>Echauffement Russe (gainage puis mobilisation articulaire) Travail de technique de course et de pieds (MG, TF, skipping, griffé, coordination une jambe griffe et une jambe MG, griffé russe, déroulement du pied) Montée cardio (tipping + course)</p>		
<i>Circuit training 15'</i>	Travail full body	<p>2 tours 6 ateliers</p> <ul style="list-style-type: none"> A. 10 pompes en fonction de leurs possibilités (pieds, genoux) ; mains écartées B. 5 fentes sur chaque jambe C. 10 butterfly sit up D. 10 tirages élastiques E. 10 ischios sur banc F. 20 obliques allongé sur le dos, jambes tendues, fléchir les jambes en alternance 	Réaliser les exercices avec la meilleure réalisation possible ; position du bassin, dos plat, contrôle des postures
<i>Développement de la VMA Adaptation en fonction de la VMA des étudiants 20'</i>	Travail en fonction de la VMA ; calcul de la distance sur 20'' de travail	<p>2 x 15 x 20/20 à 110% de la VMA Calculer les distances avant de lancer la séance ; les étudiants doivent maintenir le rythme pendant toute la séance 3' de récupération entre les 2 séries Récupération semi active pour rejoindre le départ suivant</p>	20' de travail
<i>Etirements passifs 15'</i>	20'' par muscle étiré		