

Avant-propos

- Cours disponibles sur :
 - <http://adrres.fr/>
 - Onglet Pour aller plus loin/Base Documentaire / Cours et conférences.....

Dr Jean-Marc Perruchini
Service de Réhabilitation respiratoire, Clinique de Médecine Physique Les
Rosiers
45, Bd Henri Bazin, 21002 DIJON Cedex

Physiologie et Méthodes d'évaluations de la performance , effets de différents types de protocoles d'entraînement chez le sujet sain et sportif

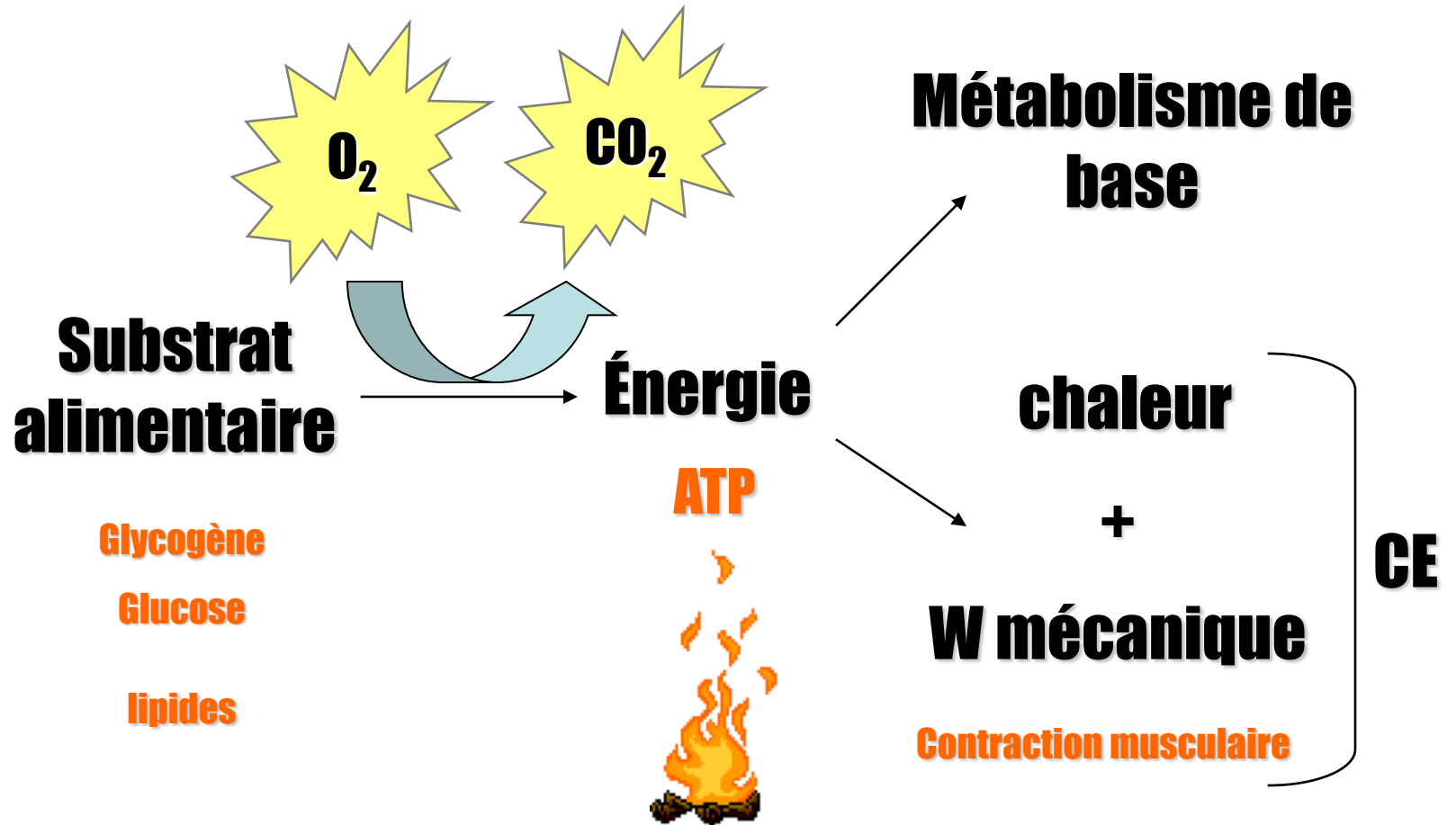
Définition de l'entraînement

- Principe de surcharge :
- Éléments de bioénergétiques :

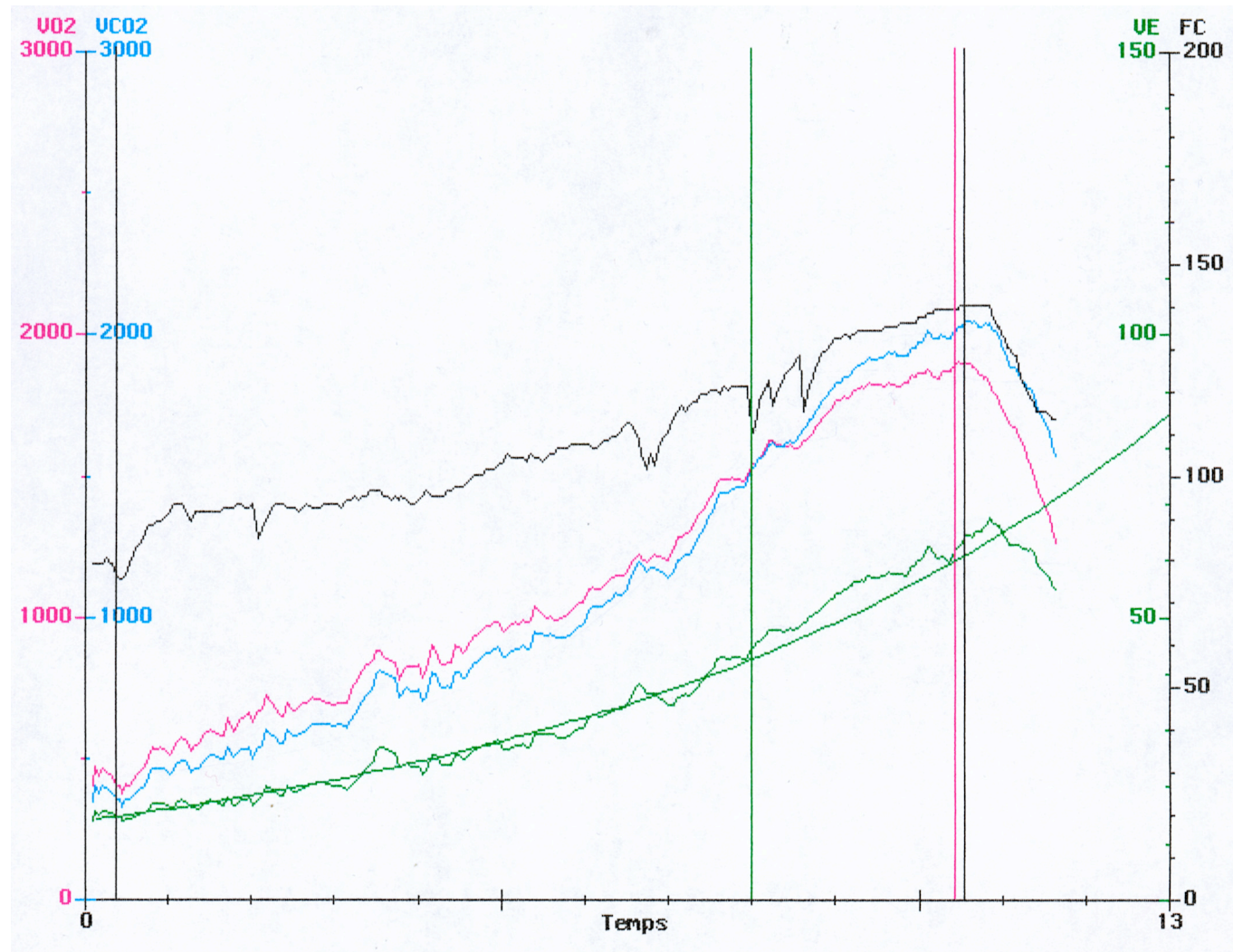
Energie et puissance

- Le travail
- La puissance

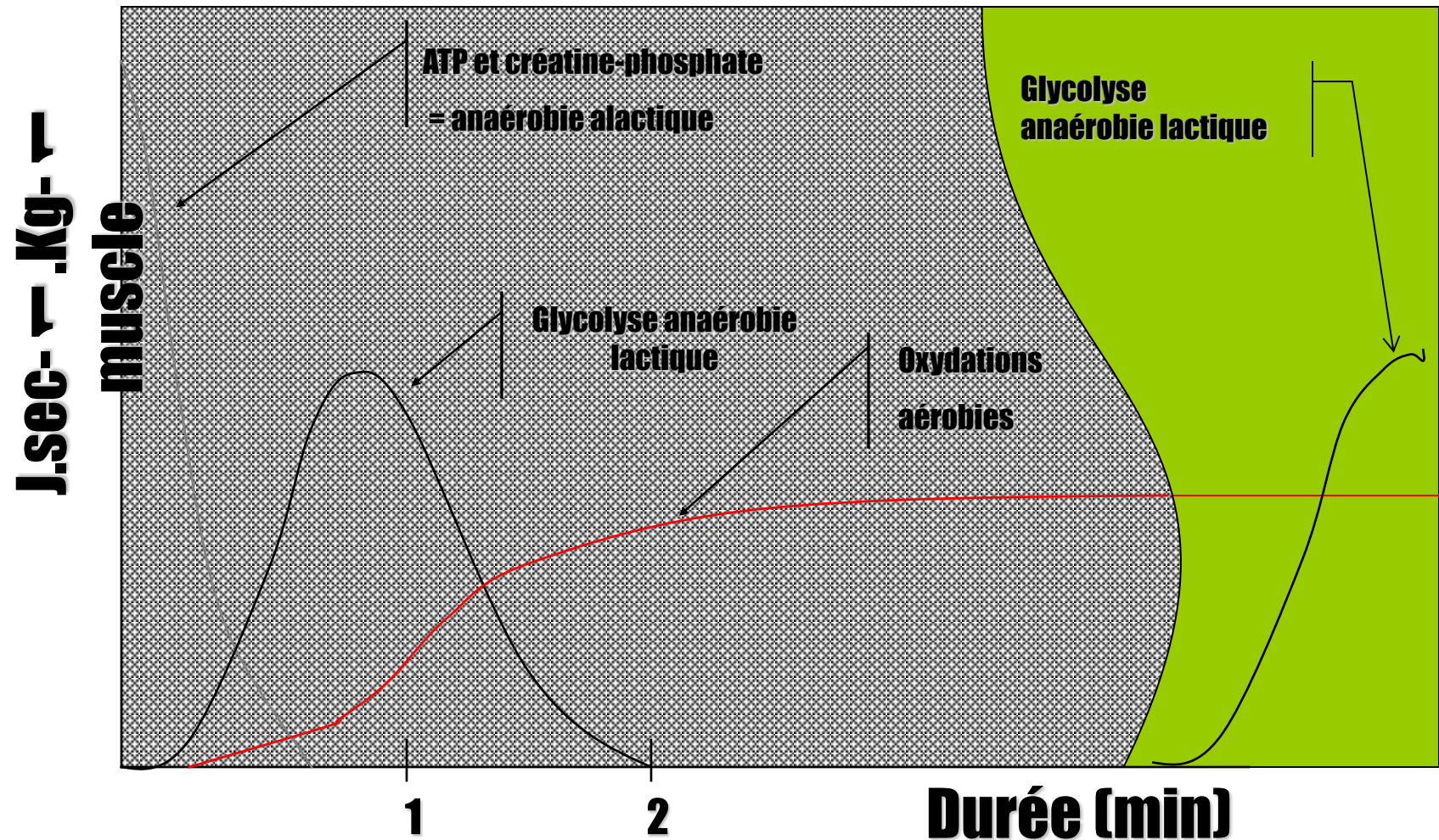
Source d'énergie



$\dot{V}O_2 \Rightarrow$ mesure de la capacité aérobie



Métabolisme énergétique et durée de l'exercice



Réserves énergétiques

- Composition corporelle (3 compartiments):

- mm {
- masse ϕ aire : 1 kcal/g
 - homme 70 kg = 35 kg $\Rightarrow$ 35000 kcal
 - contient :
 - Protéines
 - Lipides de constitution
 - Glycogène hépatique :
 - Hépatique : 280 à 400 kcal
 - Musculaire +++ : 1000 à 4000 kcal
 - eau extra ϕ aire
 - masse adipeuse : 9 kcal/g
 - femme 60 kg : 20% masse grasse $\Rightarrow$ 12 kg $\Rightarrow$ 90000 kcal

Thermochimie respiratoire

- Il existe un QR pour chaque type d'aliment :

$$QR = VCO_2/VO_2$$

$$QR \text{ Glucides} = 1$$

$$QR \text{ Lipides} = 0,7$$

- Coefficient thermique :

une mole de glucose ($C_6H_{10}O_5$)_n brûlée libère 684,5 Kcal en consommant 134 L d'O₂ => le coefficient thermique est 5 Kcal/l.

coefficient thermique lipides : 4,7 kcal/l

coefficient thermique protides : 4,68 kcal/l

coefficient thermique moyen (QR=0,82) : 4,825 kcal/l

Thermochimie respiratoire

- Métabolisme de repos :

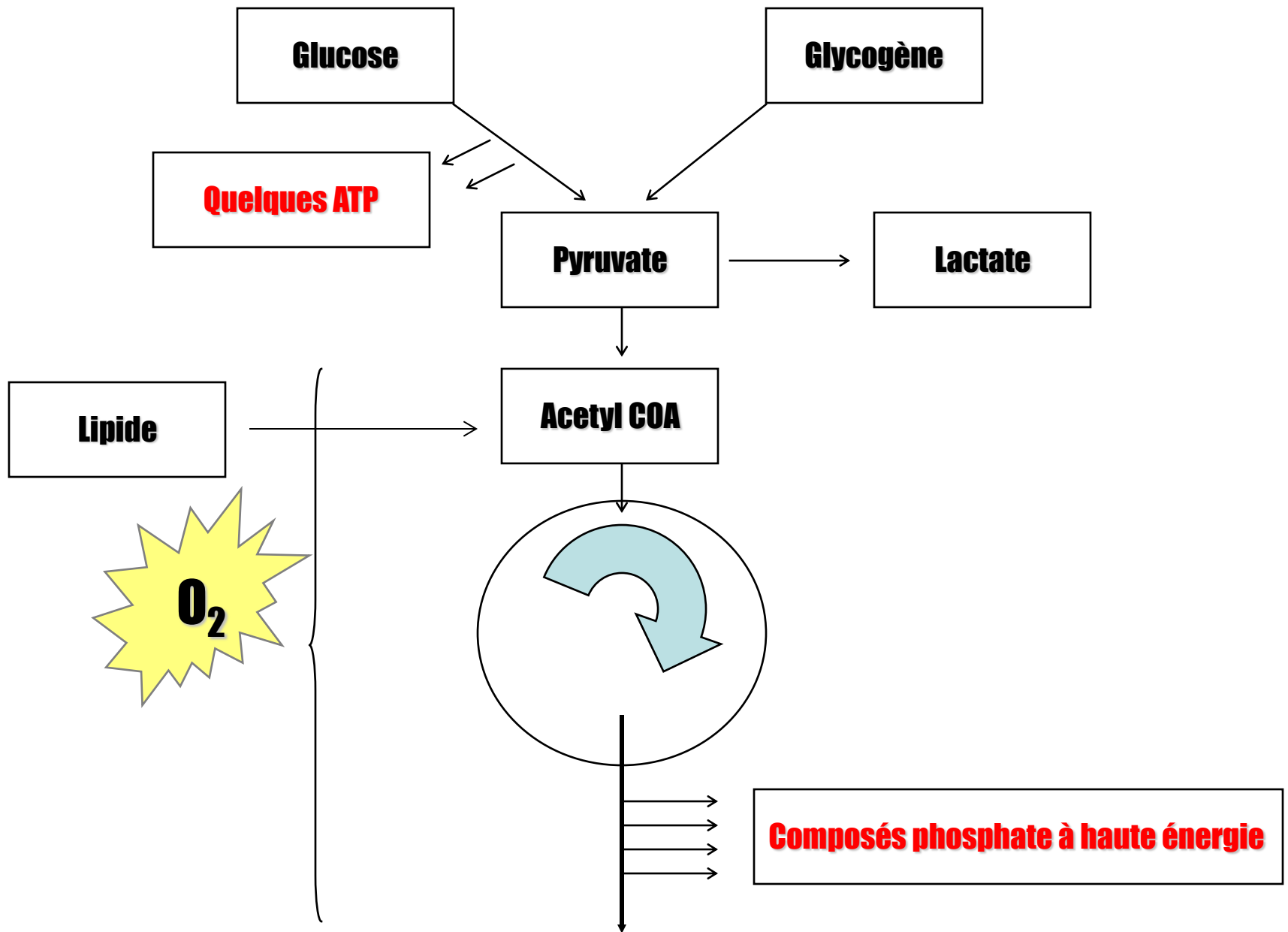
$$\text{DEJ (dépense journalière)} = 370 + (21,6 * \text{MM})$$

Pour un homme de 70 kgs qui à 20 % de MA (14 kgs) :
 $370 + (21,6 * 56) = 1580 \text{ kcal}$

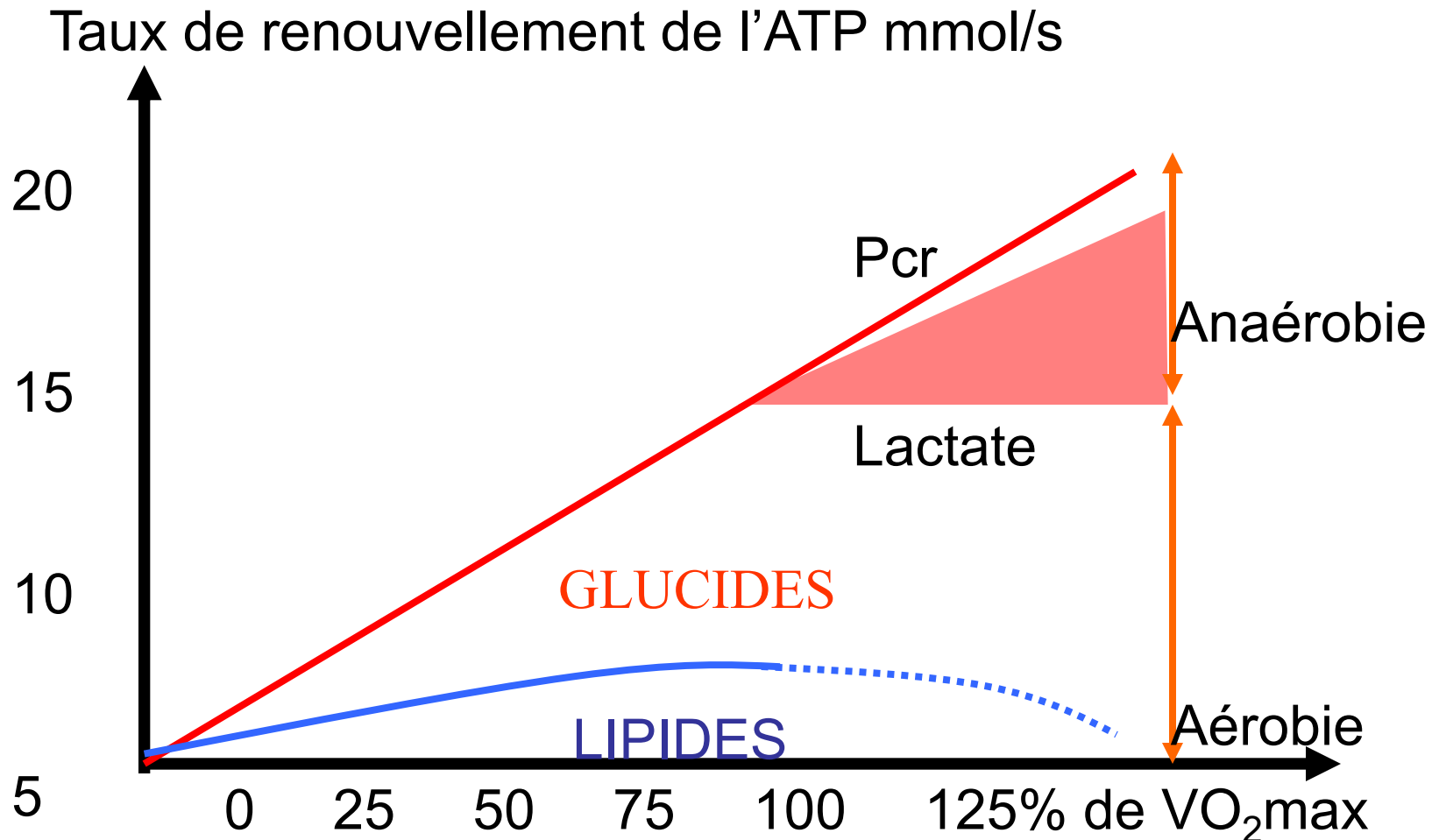
$$1 \text{ Mets} = 3,5 \text{ ml /min/kg (VO}_2\text{)}$$

- Métabolisme à l'effort :

Pour un homme de 70 kgs $\Rightarrow 200 \text{ ml/min/km} \Rightarrow 30 \text{ km} \Rightarrow 420 \text{ L}$
 $\text{O}_2 \Rightarrow 420 * 4,85 \Rightarrow \approx 2027 \text{ kcal}$

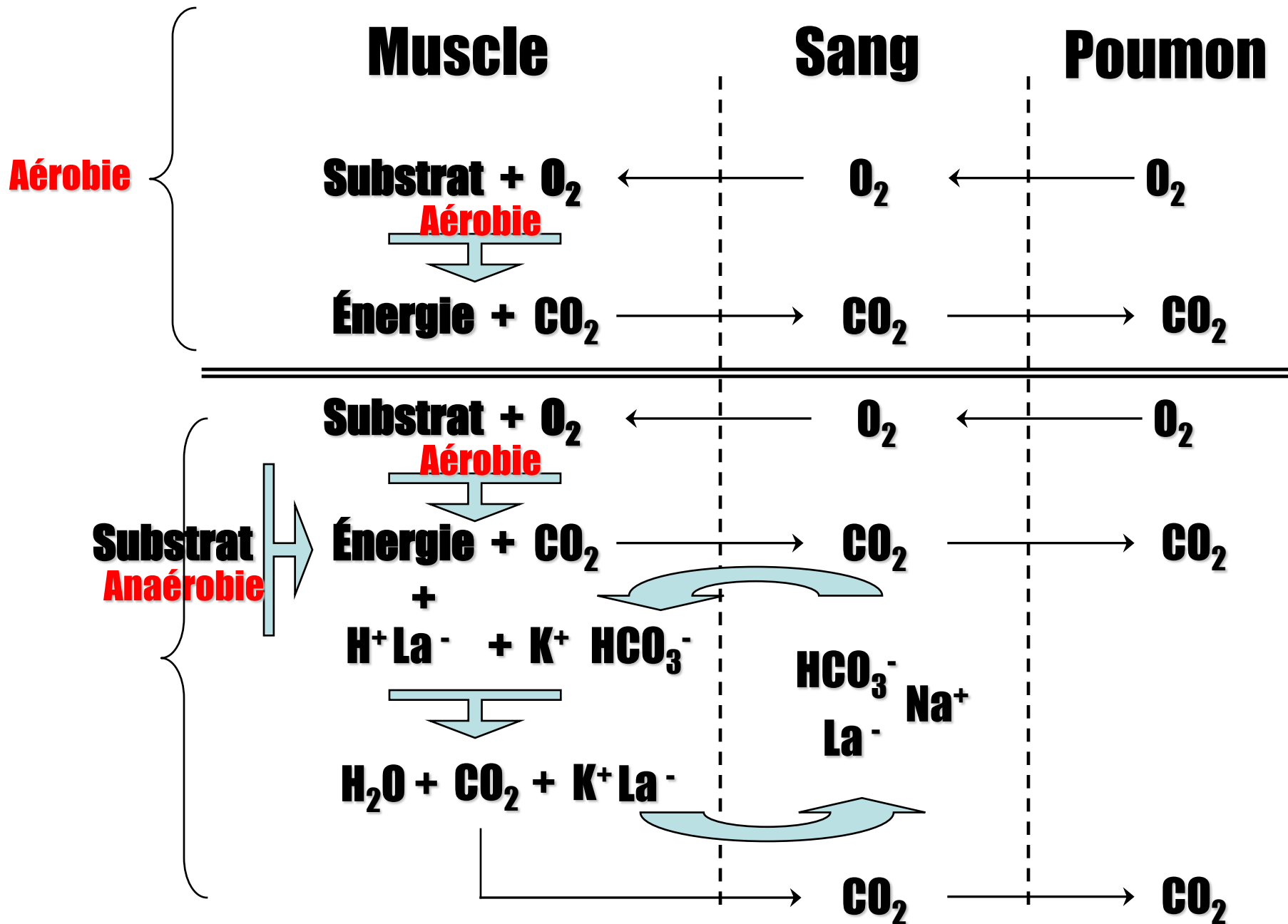


ATP et sources d'énergie



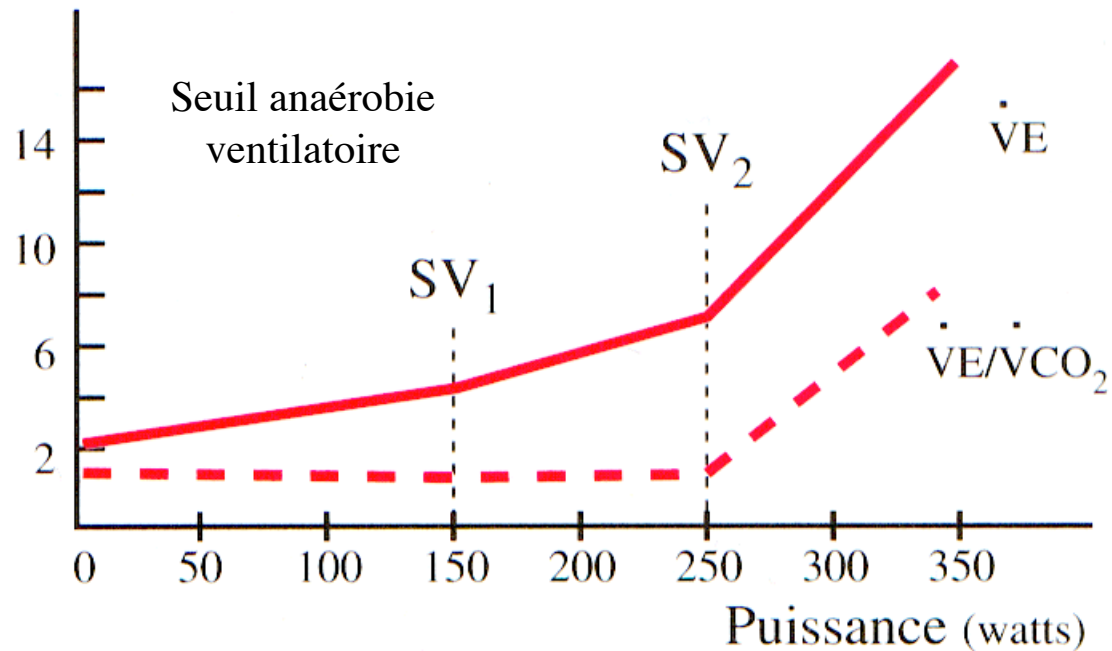
Protocole d'épreuve d'effort pour un patient respiratoire

- P max théorique (âge, poids, taille):
 - eg 200 w
- VEMS (%théorique)
 - 50%
- Pmax théorique X VEMS (%théorique)
 - Pmax prévisible= 100 w
- Echauffement = 20% Pmax prévisible
 - P échauf =20 w
 - P rest = 80 w=> 7 paliers de 1' pour faire 80w=> ≈ 10 w
- Protocole définitif = 20 w +10 w

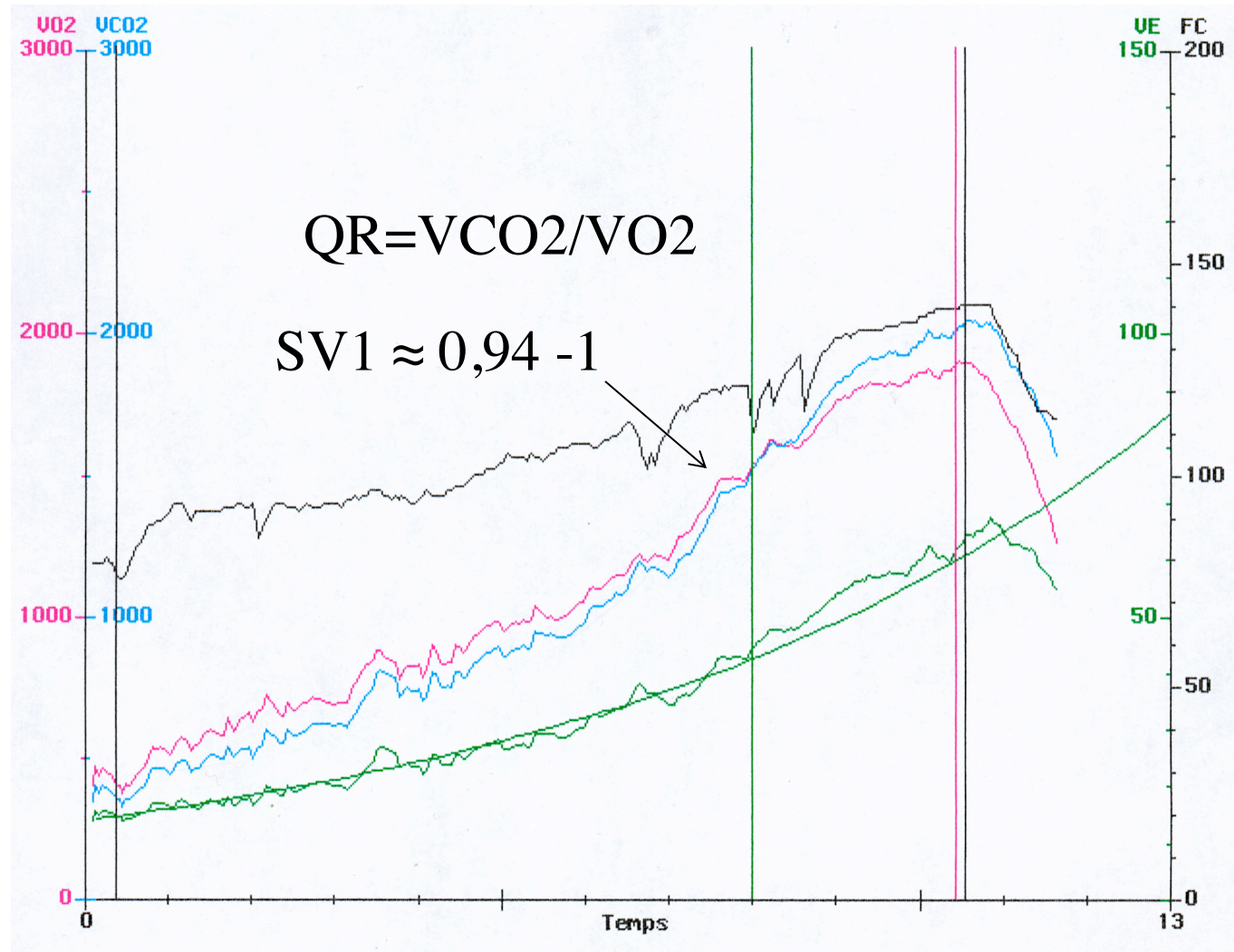


Adaptations ventilatoires

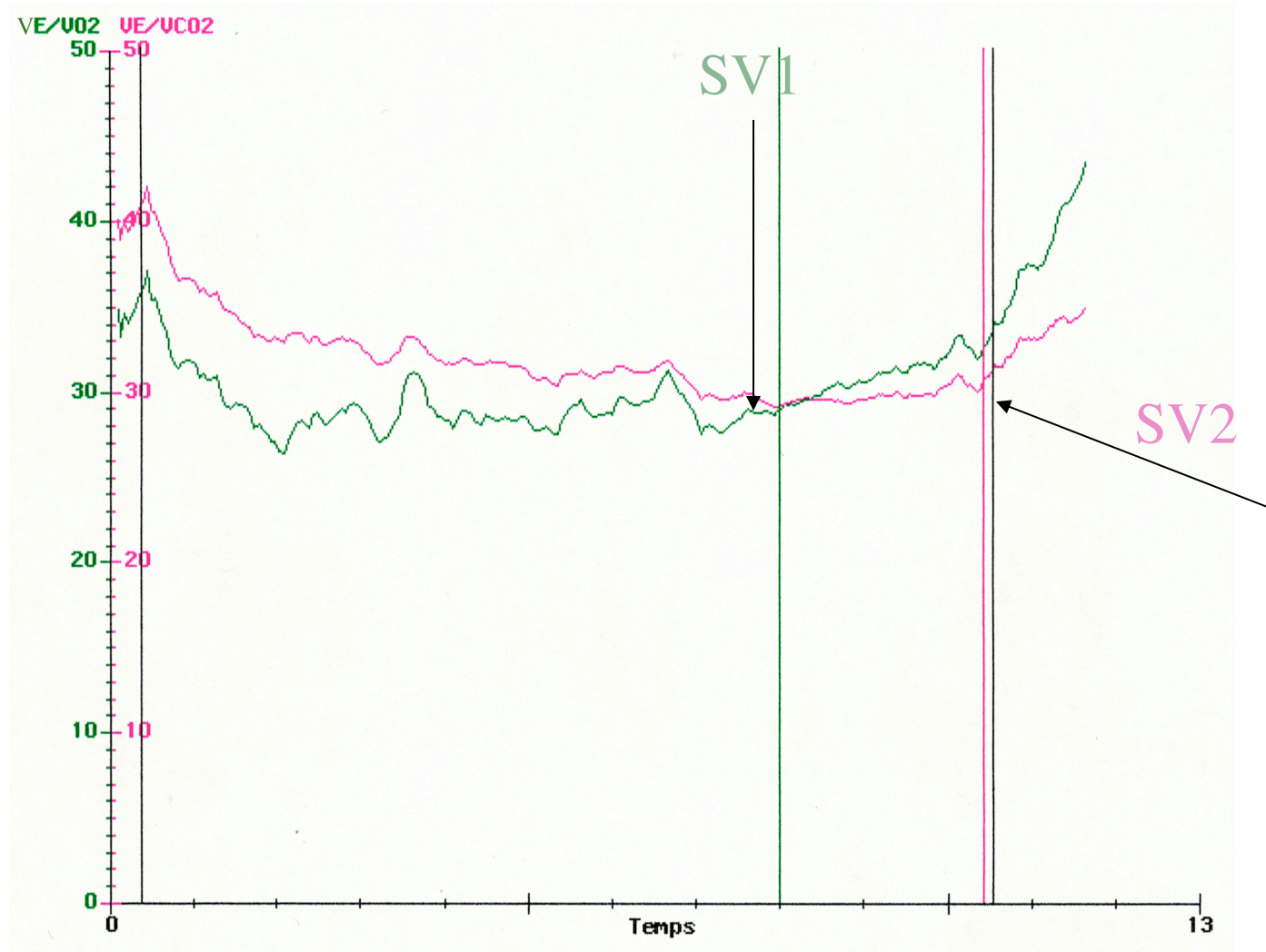
Paramètres ventilatoires

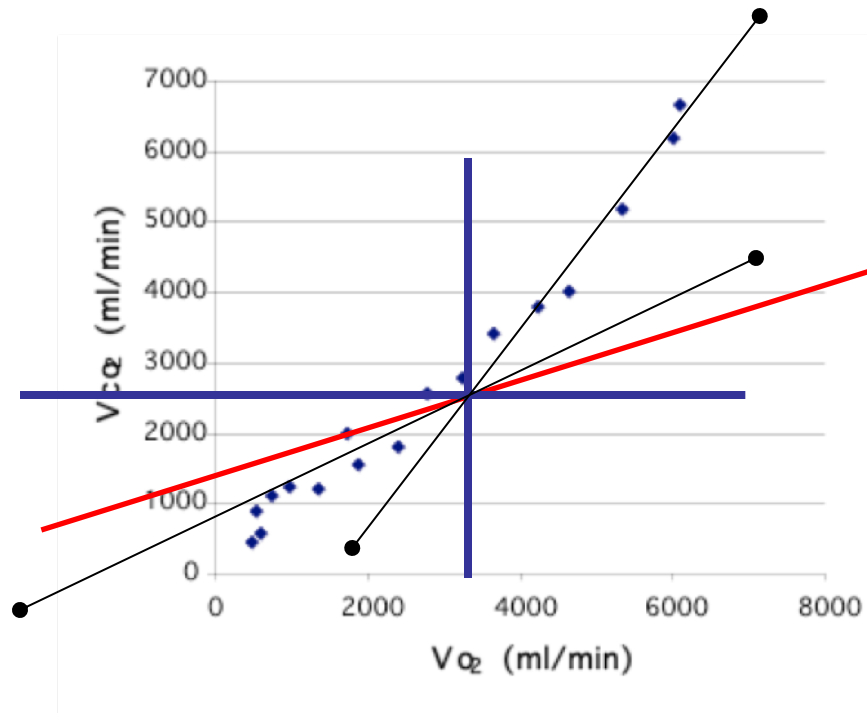


$\dot{V}O_2 \Rightarrow$ mesure de la capacité aérobie



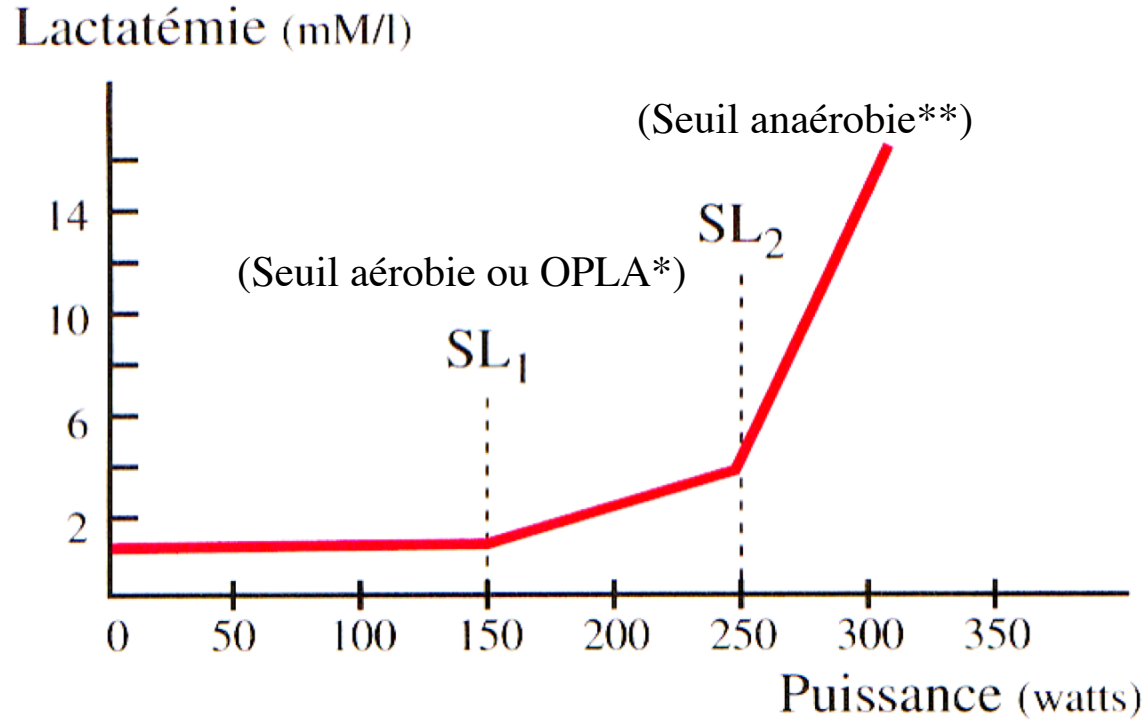
Equivalents respiratoires





Courbe de BEAVER

Les seuils lactates



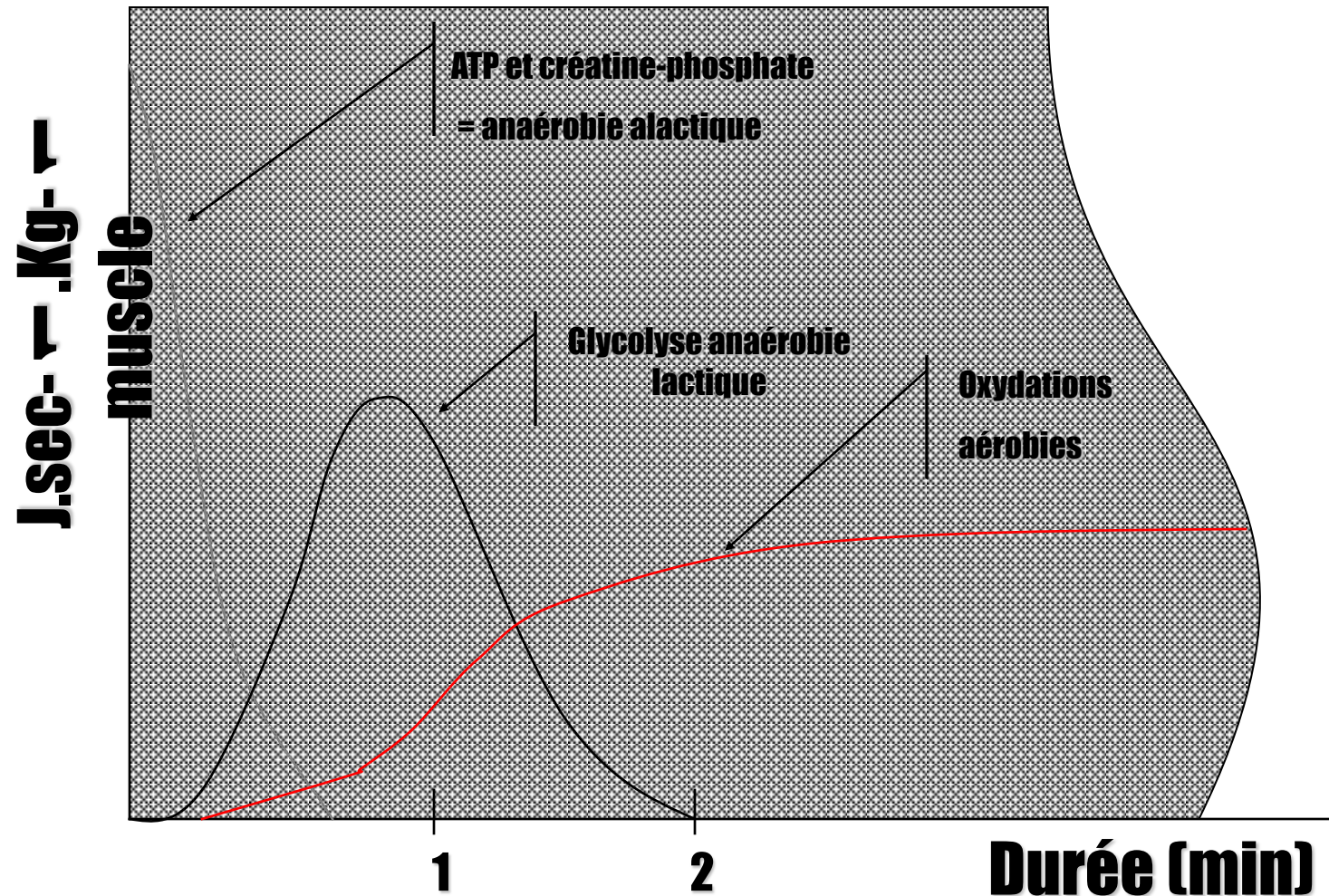
Acide lactique et lactate, ces incompris

- "Il n'existe pas une fatigue musculaire, mais plutôt des fatigues musculaires. En effet, bien que la manifestation objective de ces fatigues soit la même, c'est-à-dire l'impossibilité de poursuivre l'effort, la fatigue du sprinter n'est pas celle du marathonien, celle-ci n'est pas celle du kayakiste ou de l'alpiniste, etc. Il est naïf de penser que les diverses formes de fatigue musculaire ont toutes l'acide lactique comme seule et unique cause."
- "Entre les neurones du cerveau, d'où émane la commande motrice, et les myofilaments des muscles qui exécutent le travail musculaire, la chaîne de transmission de l'information qui permet le développement de la force comprend de nombreux maillons. Chacun d'eux peut faillir à sa tâche et empêcher la poursuite de la contraction musculaire et de l'exercice. Cela fait une longue liste de suspects possibles dans le développement de tel ou tel type de fatigue, parmi lesquels il y a peut-être, dans certains cas, la présence d'acide lactique. Mais ce n'est certainement ni le principal, ni l'unique coupable. On trouve plusieurs arguments expérimentaux qui tendent à montrer que l'acide lactique n'a finalement pas grand-chose à voir avec la fatigue musculaire. Il en ressort que la perturbation de l'équilibre acido-basique du muscle squelettique n'est pas un facteur aussi crucial de la fatigue qu'on le suggère souvent."
- L'argument le plus convaincant, c'est qu'il peut y avoir fatigue musculaire alors que la concentration d'acide lactique du muscle n'est pas élevée alors qu'inversement, on peut observer une absence de fatigue musculaire alors que la concentration d'acide lactique du muscle est élevée."
- Par ailleurs, les patients porteurs de la maladie de McArdle, qui sont incapables de produire, et donc d'accumuler, de l'acide lactique, sont très susceptibles de souffrir de fatigue musculaire. Il peut donc y avoir fatigue musculaire avec très peu, voir même sans acide lactique.
- Thibault, G. Péronnet, F. (2005) Acide lactique et lactate, ces incompris, Sport et vie, en presse.

Evaluation du métabolisme anaérobie alactique

- Doit être courte

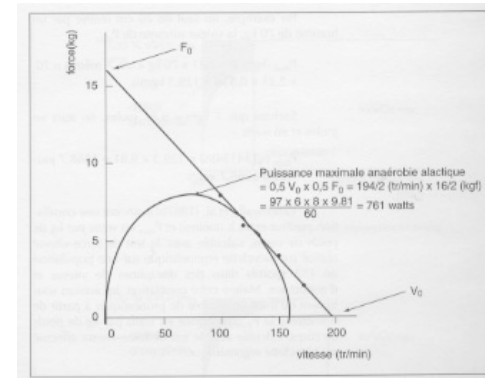
Métabolisme énergétique et durée de l'exercice



Evaluation du métabolisme anaérobie alactique

- Détermination de la puissance maximale anaérobie alactique
 - Épreuve de force-vitesse sur cyclus2 ou monark

$$P = F \cdot v$$



- Test de détente verticale
- Test des escaliers de Margaria

Evaluation du métabolisme anaérobie lactique

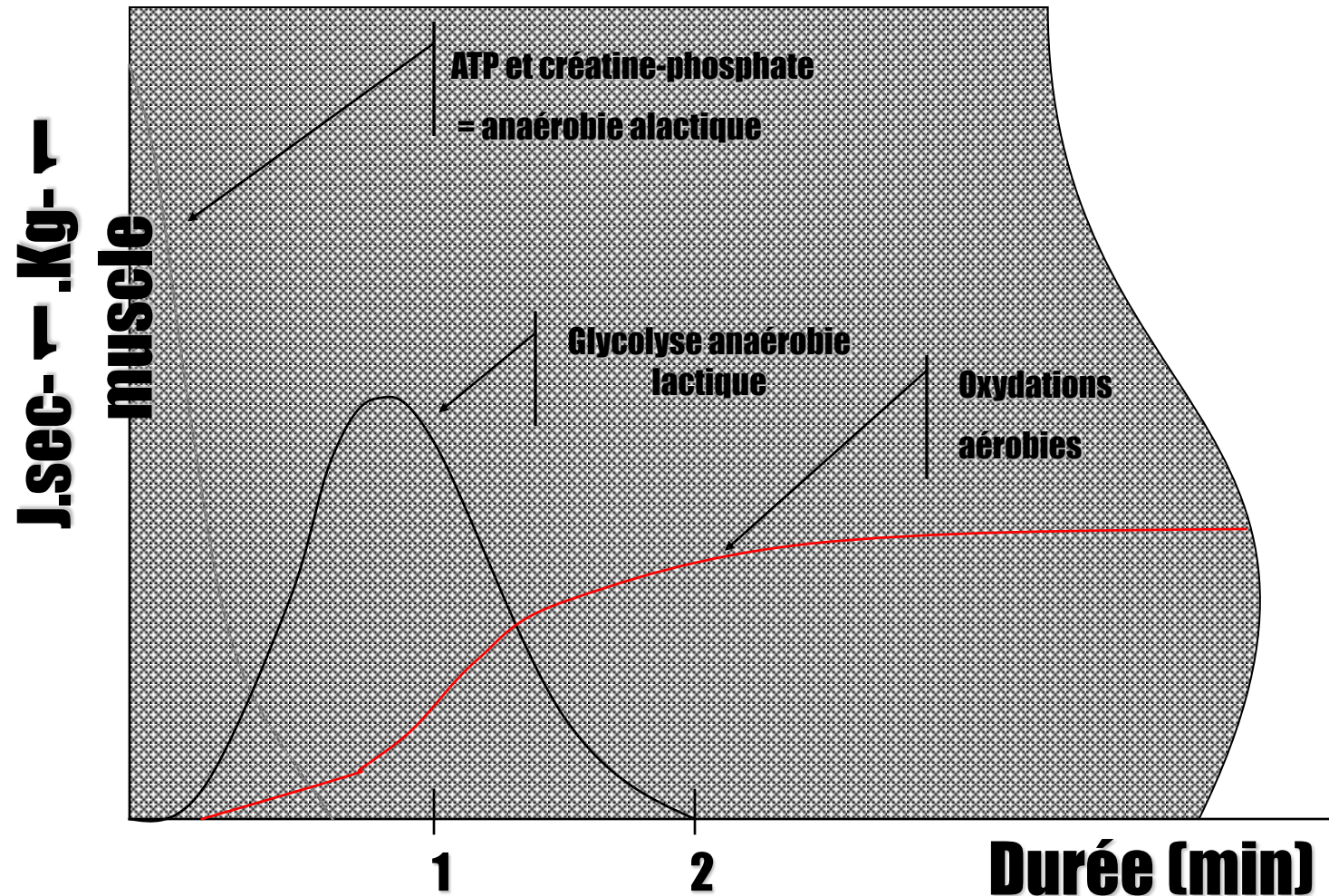
- Détermination de la puissance maximale anaérobie lactique

- Test de wingate : puissance max développée

Le sujet pédale le plus vite possible pdt 30 sec et à fournir le plus grand nbre de tours pdt 30 sec

- Pic de vitesse
 - Puissance moyenne des 30 sec = $p_{\text{max anaérobie lactique}}$
 - Baisse de puissance au cours de l'épreuve

Métabolisme énergétique et durée de l'exercice

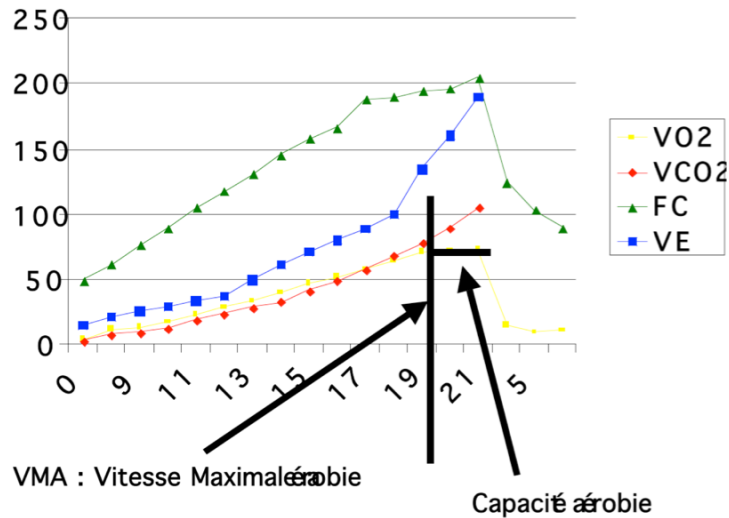


Evaluation du métabolisme aérobie

- Détermination de la puissance maximale aérobie et VMA

VO_2 max et VMA (ou PMA)

Épreuve d'Effort Triangulaire Maximale Progressive : capacité aérobie



- Vit max Aérobie ou vVO_2max ou
- Epreuves de terrain :
 - Léger/boucher (bip)
 - Brue (lièvre)
 - 1/2 cooper +30/30

Test léger et boucher

- <https://www.youtube.com/watch?v=bC2seXT38eo>
- $VO_{2Max} = 3,5 * VMA$
(km/h)

Test 1/2 cooper +30/30

- https://www.youtube.com/watch?v=sehqi_9SmX4
- $2*8*30/30$ =débutant
- $2*10*30/30$ =confirmé
- $2*12*30/30$ =expert

Relation avec la performance

- VO2 Max
- Fraction VO2 Max
(seuils)
- Cout énergétique

Relation avec la performance

- Rendement énergétique

$$\bullet \quad \frac{\dot{V}_{\max}}{\text{CE}} = \frac{F \{ \text{VO2 max} \}}{\text{CE}}$$

$$R = \frac{W \text{ dynamique effectuée}}{E_T - E_R} \approx \text{CE}$$

Equation de Di
Prampéro(1986)

E_T = énergie totale dépensée

E_R = énergie dépensée au repos

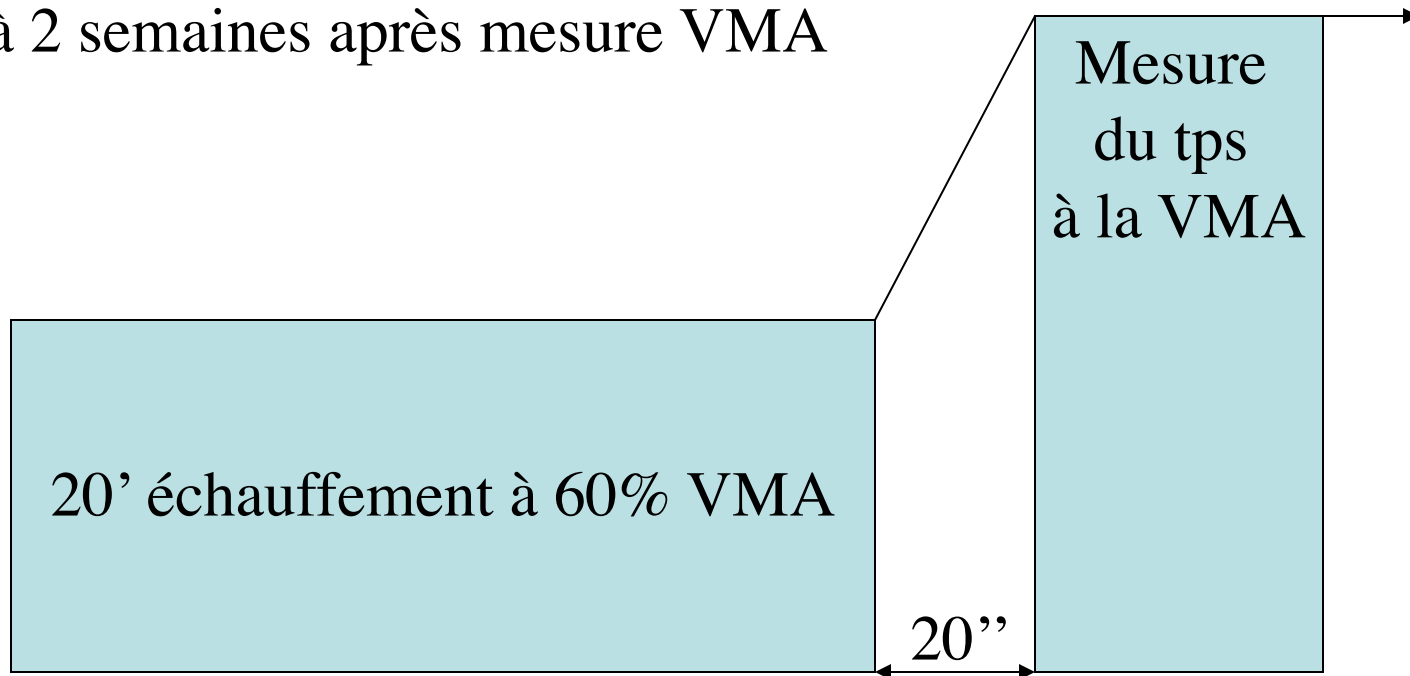


Test rectangulaire

- En pratique :
 - On fixe une vitesse ou une puissance ss max
 - ⇒ On mesure le tps écoulé
 - ⇒ Mesure du coût énergétique sur un effort de 7 min à 65-70% VO_2max (2 dernières minutes)
 - On fixe un temps
 - ⇒ On mesure une distance (Test de 6', Test de 12' (cooper), Test de la navette etc...)

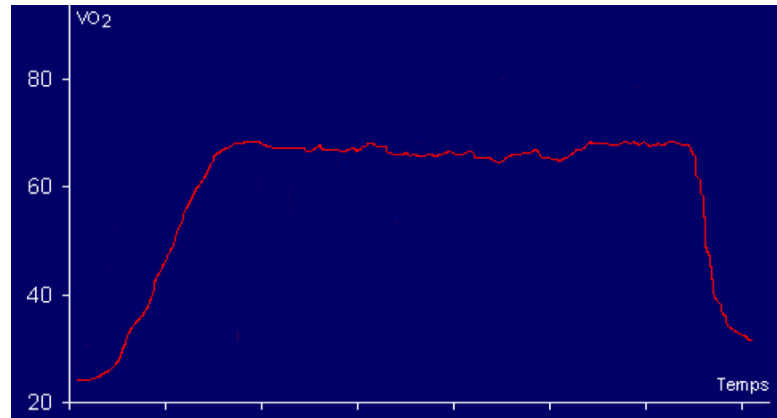
Test rectangulaire pour la mesure du Temps limite

- 1 à 2 semaines après mesure VMA



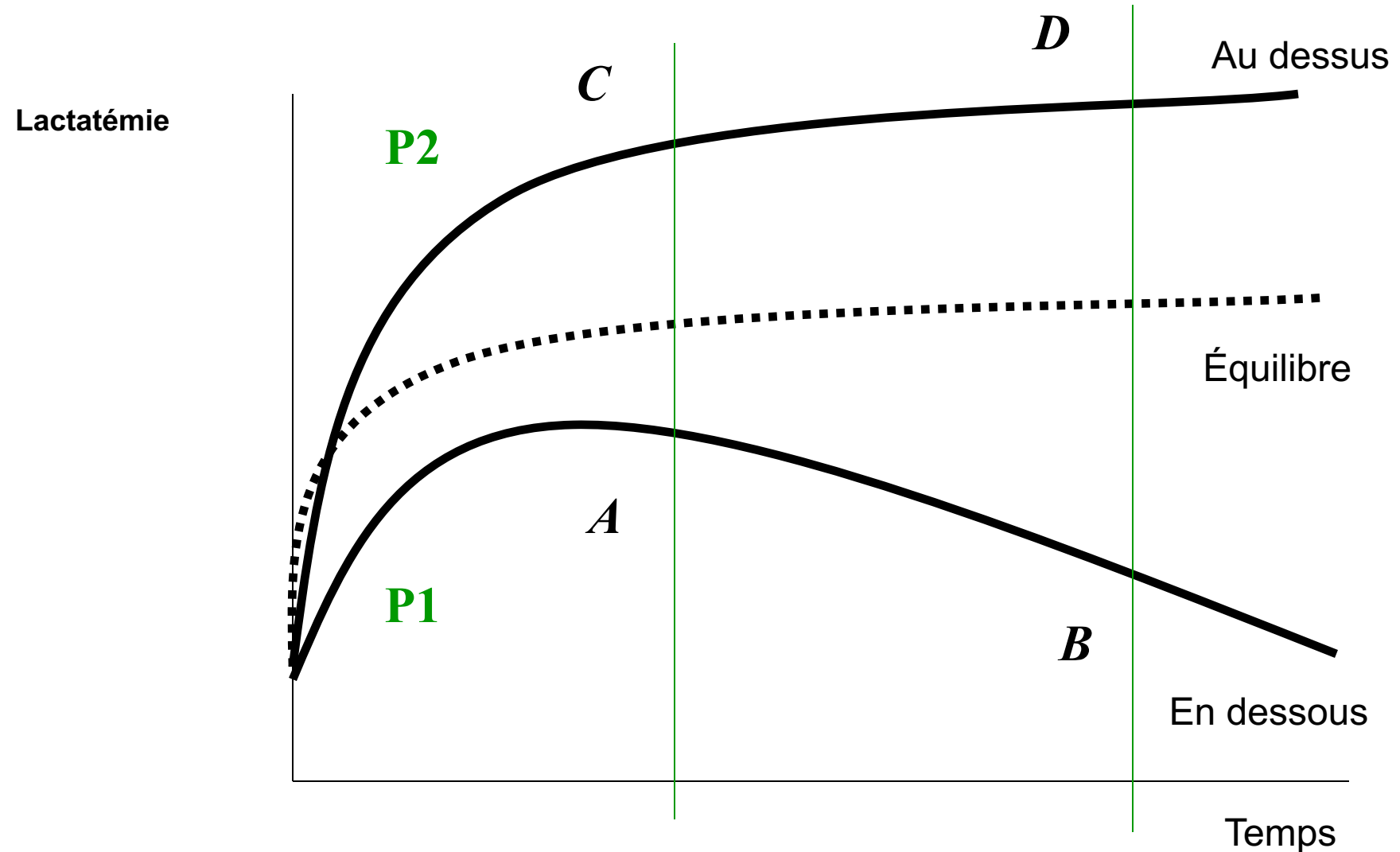
Test rectangulaire

- Représentation de l'évolution moyenne de la VO_2 en fonction du temps au cours d'un exercice réalisé à vitesse ou puissance constante :
 - VO_2 moyenne (2ème partie de course) : économie de course (coût énergétique)
 - Vitesse d'augmentation de la VO_2 (temps de réponse)

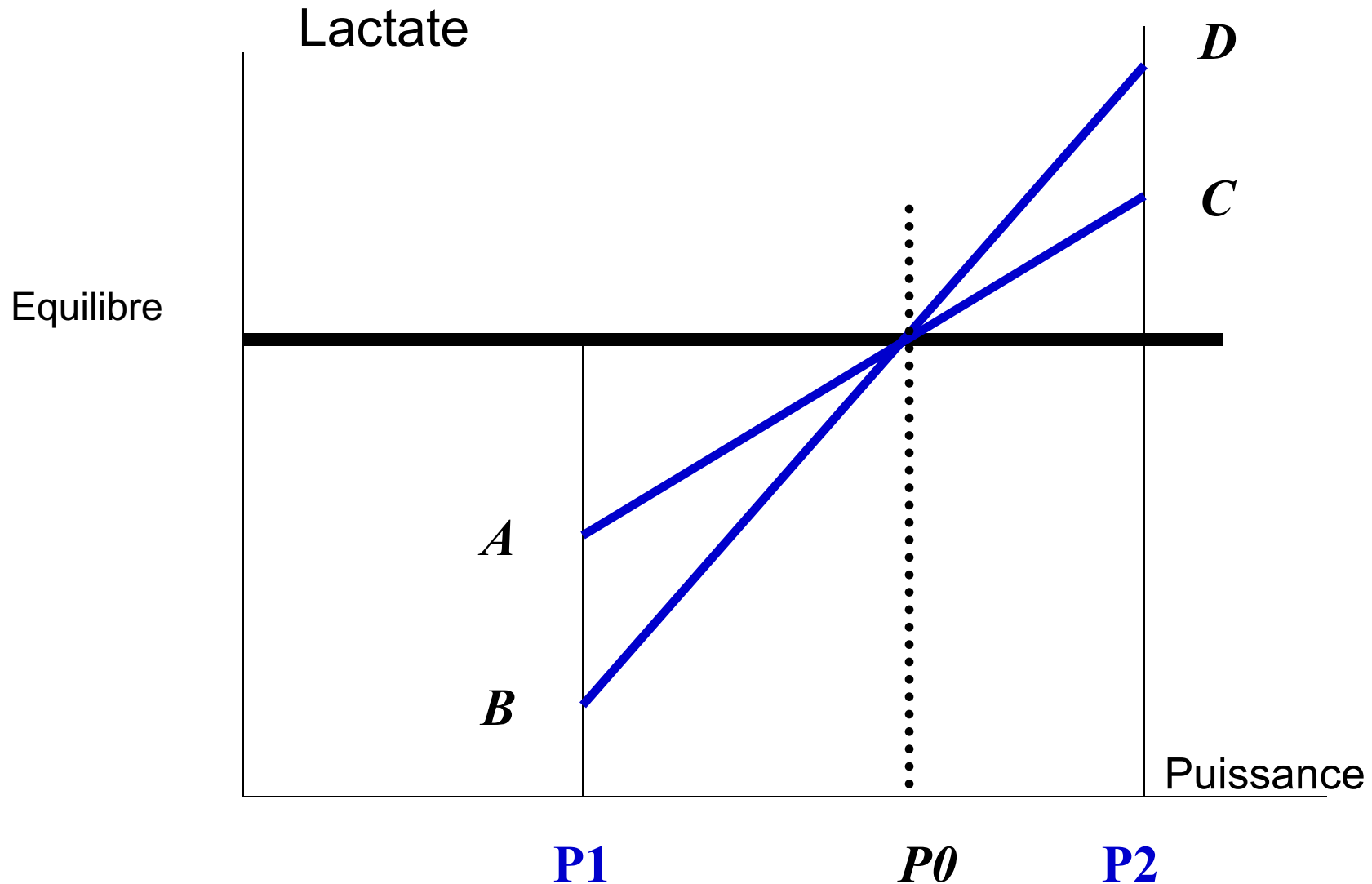


- La comparaison dans le temps des VO_2 d'un coureur à une même vitesse sous maximale permet de savoir si son efficacité s'est améliorée.
- Autres indicateurs physiologiques : VE , Fc , VCO_2 , VD/VT , FR
- Evaluation du seuil anaérobie : détermination de la puissance maximale d'état stable de la lactatémie (Brooks ; Chassain 1986)

Détermination de la puissance maximale stable de la lactatémie (billat 1994)



Détermination de la puissance maximale stable de la lactatémie (billat 1994)

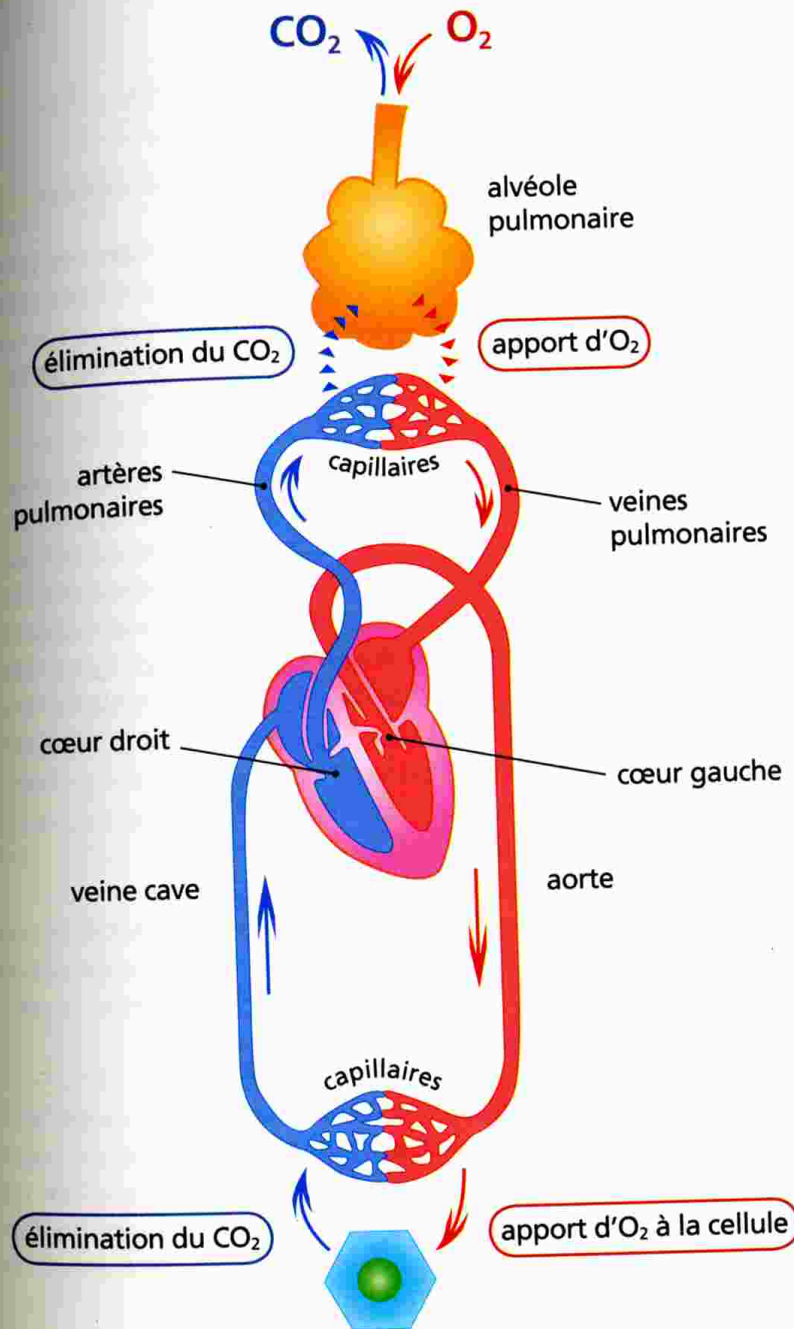


Détermination de la puissance maximale stable de la lactatémie (billat 1994)

Remplacer les valeurs en rouge		
Test P1	230	Puissance de l'exercice le plus faible
La 5'	2.2	Lactatémie à la 5ème minute
La 20'	1.51	Lactatémie à la 20ème minute
Delta La (20' - 5')	-0.69	
Test P2	300	Puissance de l'exercice le plus fort
La 5'	4.41	Lactatémie à la 5ème minute
La 20'	4.92	Lactatémie à la 20ème minute
Delta La (20' - 5')	0.51	
<u>WCL</u> = 270 W		<u>LCL</u> = 3.47 mmol.l

Mécanisme normal d'adaptation
à l'effort et primum movens ?

Organes concernés dans la dyspnée

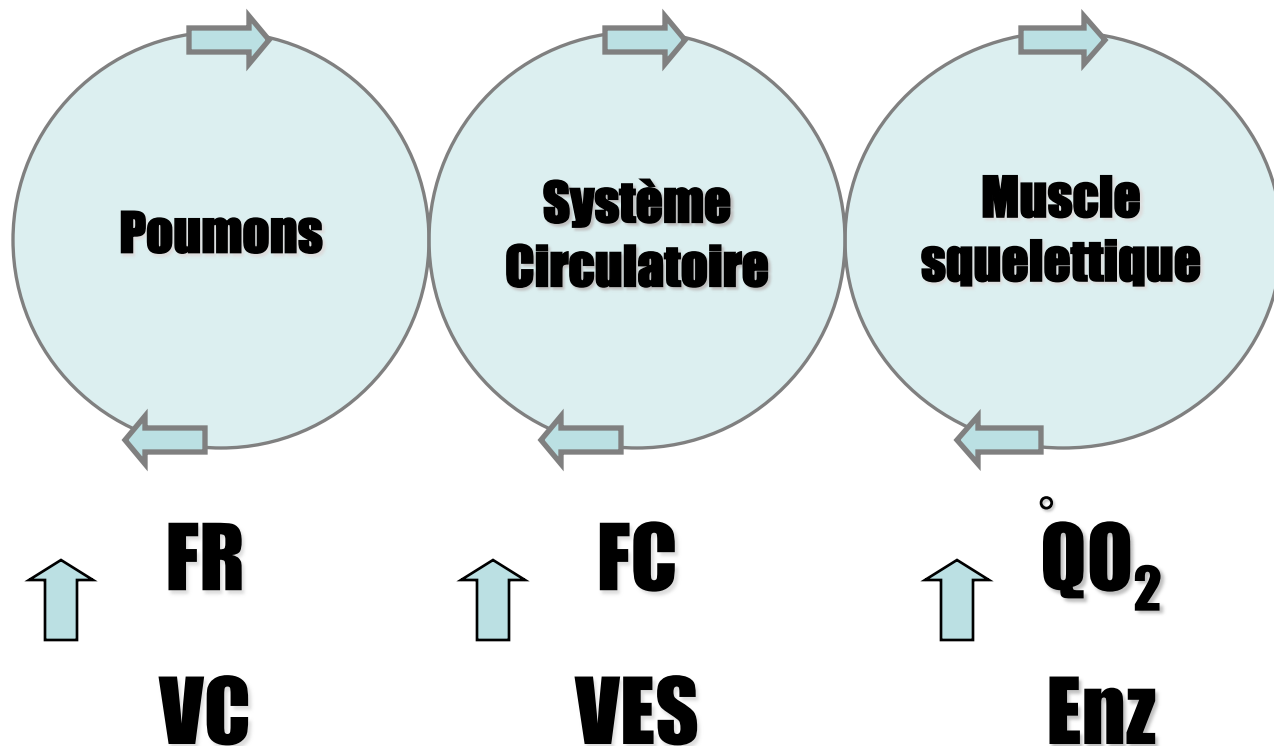


- **Poumon**
- **Cœur**
- **Transport O₂**
- **Utilisation O₂**
- **Commande centrale**

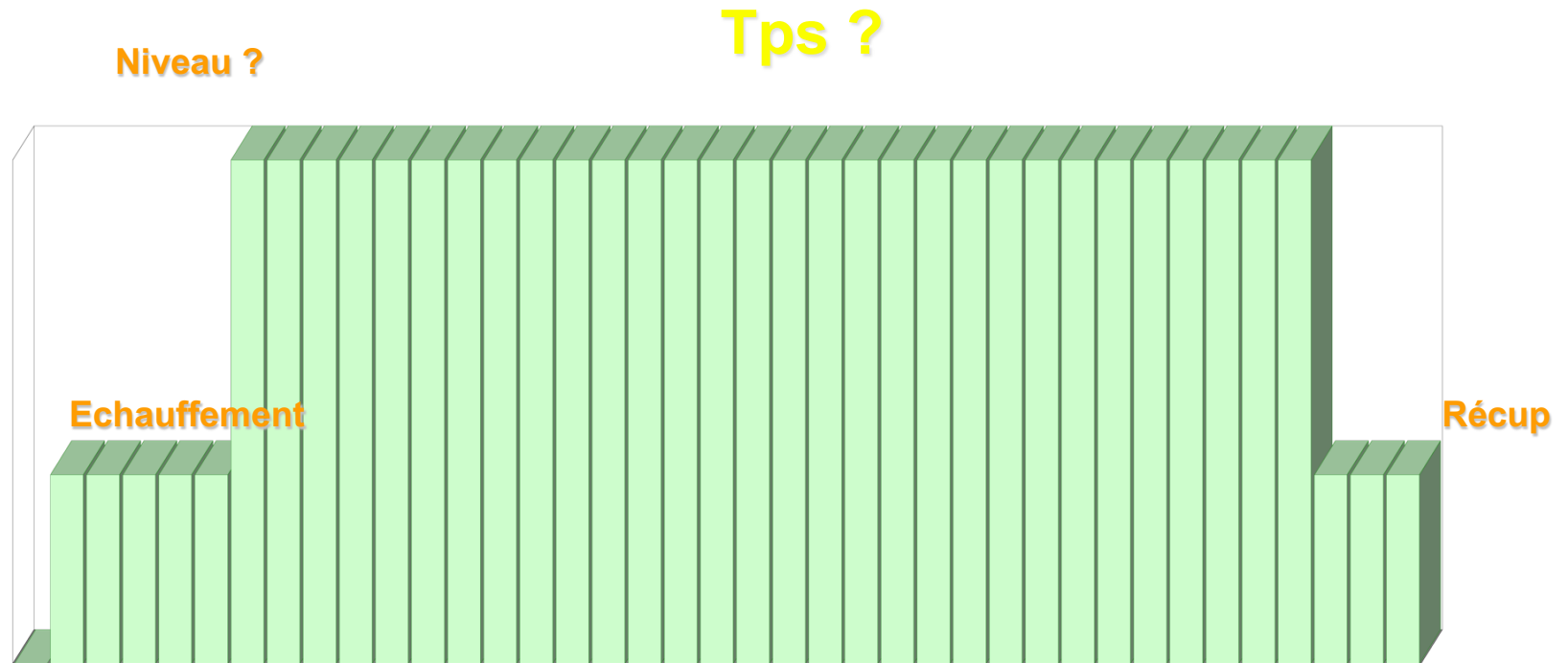
Adaptation à l'effort



$$\nearrow \text{Vo}_2 = \text{Qc} \cdot \text{D} (\text{Ca O}_2 - \text{CvO}_2)$$



Protocole d'entraînement continu



programme d'entraînement à deux niveaux de charge ou en créneau

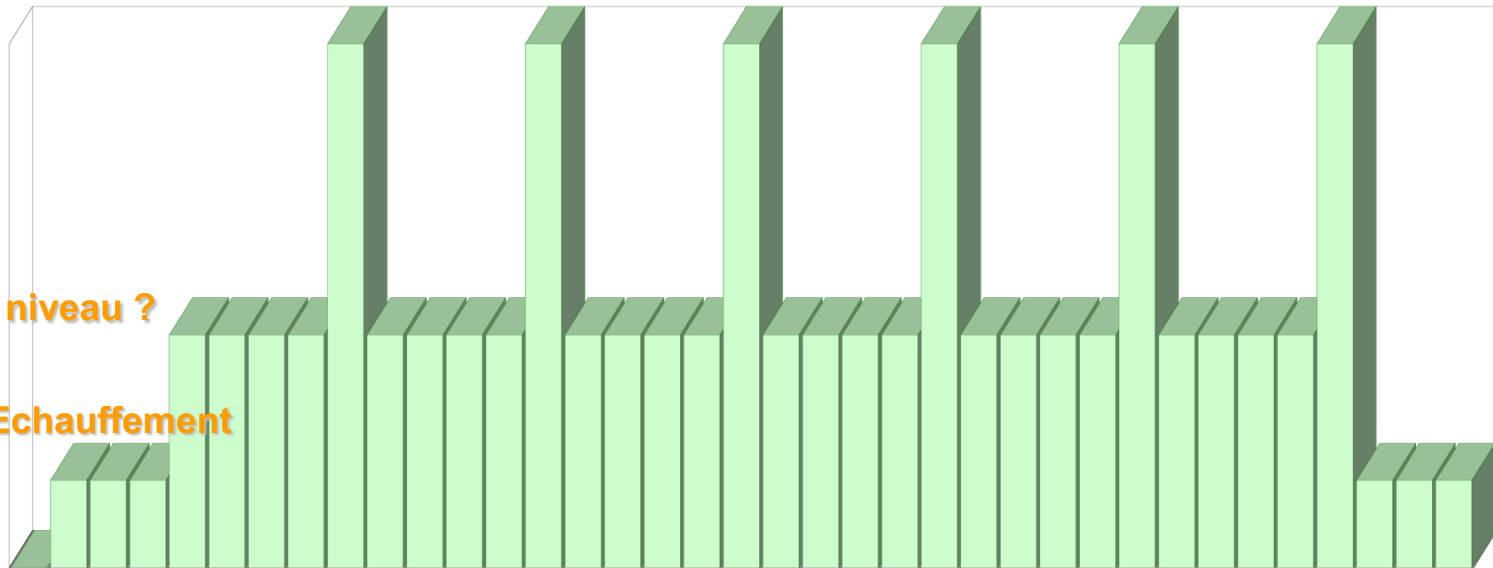
Tps ?

Pic = niveau ?

Base = niveau ?

Echauffement

Récup



Effets globaux de l'entraînement aérobie observés au repos

- Cardiaque :
 - VES ↗ et donc ↗ Fc
- Musculaire :
 - ↗ densité capillaires
 - ↗ mitochondries
 - ↗ enzymes glycolyse aérobie (krebs)
 - ↗ enzymes lipolytiques
 - ↗ stock glycogène

Effets de l'entraînement observés à l'exercice max triangulaire

- Adaptation CardioRespiratoire :
 - VES ↗ et donc ↗ Q_c
 - ↗ VE max
- Tolérance à l'effort :
 - ↗ VO2 max
 - ↗ VMA, PMA
 - ↘ TA
- Adaptation musculaire
 - ↗ seuil ventilatoire (SV1)

Effets de l'entraînement observés sur un test rectangulaire

- Adaptation CardioRespiratoire :
 - $\approx$ ou $\searrow$ Q_c
 - VES $\nearrow$, $\searrow$ F_c
 - $\searrow$ VE
- Tolérance à l'effort :
 - $\approx$ ou $\searrow$ VO_2
- Adaptation musculaire
 - Utilisation accrue de lipides
 - Épargne glycogène
 - $\searrow$ Ac lactique
 - Meilleure extraction périphérique de l'oxygène

Influence du type de sollicitation, du type d'organisation de l'entraînement sur les qualités aérobies

- Intervalle training :

Il s'agit d'un effort alternant des phases d'activité **intense** avec des phases de récupérations
=> Intérêt

- Fractionné :

Il s'agit d'un exercice réalisé à la même vitesse qu'en compétition et sur une même distance mais fractionné en plusieurs parties

Course à pied

	Footings lent	Footings moyen	Footings rapide $\approx$ IT seuil lactique	Intervalle Training Aérobie	Intervalle Training Anaérobie (vit max)
% VMA	50%	75%	75-90%	90 100 105	110% et +
% Fc max de réserve	50%	80%	90%	100%	
Fc repos: 70 Fc max: 200	145	170	187	200	
Tps max de course	∞	3h00	45'-1h00	6 à 7'	< 5'
Distances	Raid	Marathon	1/2 Marathon	2-3 km	1500 m
vitesse	8-9 km/h	10-11km/h	12-13km/h 45' au 10 km	15 km/h	16 km/h
	Endurance			résistance	

Footing lent

- Effort continu

Suivant le temps de course, l'objectif de ce travail est différent :

- de 10 à 20' : échauffement ou récupération après une séance
- de 20 à 40' : séance de récupération ou de transition
- au-delà de 40' : séance destinée à améliorer la micro irrigation des muscles et à favoriser l'utilisation des graisses.

Course à pied

	Footings lent	Footings moyen	Footings rapide $\approx$ IT seuil lactique	Intervalle Training Aérobie	Intervalle Training Anaérobie (vit max)
% VMA	50%	75%	75-90%	90 100 105	110% et +
% Fc max de réserve	50%	80%	90%	100%	
Fc repos: 70 Fc max: 200	145	170	187	200	
Tps max de course	∞	3h00	45'-1h00	6 à 7'	< 5'
Distances	Raid	Marathon	1/2 Marathon	2-3 km	1500 m
vitesse	8-9 km/h	10-11km/h	12-13km/h 45' au 10 km	15 km/h	16 km/h
	Endurance			résistance	

Footing rapide (IT au seuil)

- Effort avec des Intervalles
- Accélérer récupération
- Développer l'aptitude à épargner le glycogène et utiliser lipides
- Augmentation du débit cardiaque (VES)

Course à pied

	Footings lent	Footings moyen	Footings rapide $\approx$ IT seuil lactique	Intervalle Training Aérobie	Intervalle Training Anaérobie (vit max)
% VMA	50%	75%	75-90%	90 100 105	110% et +
% Fc max de réserve	50%	80%	90%	100%	
Fc repos: 70 Fc max: 200	145	170	187	200	
Tps max de course	∞	3h00	45'-1h00	6 à 7'	< 5'
Distances	Raid	Marathon	1/2 Marathon	2-3 km	1500 m
vitesse	8-9 km/h	10-11km/h	12-13km/h 45' au 10 km	15 km/h	16 km/h
	Endurance			résistance	

Intervalle Training Aérobie

	Course	Récupération	Total répétitions
VMA par répétitions longues	800-2000 m	$\leq$ Tps de course	5X1000 m r=2'
30"-30"	30 sec	30 sec	3X5 minutes de 30"-30"

- ↗ mitochondries (nbre,taille)
- ↗ contenu enzymatique
- ↗ densité capillaire
- Améliorer la VO2 Max ++
- Ratio (rapport entre durée travail et durée de récupération) :entre 1 et 2 (30'' 30'' ou 40'' 20'')

Intervalle Training Anaérobie

	Course	Récupération	Total répétitions
30"-60"	30 sec	60 sec	3X5 minutes de 30"-60"

- Améliorer la P Max ++, travail du sprint
- Ratio (rapport entre durée travail et durée de récupération) :entre 0,2 et 0,5 (30'' 60'')

Influence du type de sollicitation, du type d'organisation de l'entraînement sur les qualités aérobies

- Intervalle training versus(IT) effort continu (C):
 - Effort triangulaire
 - + grande $\nearrow$ VO₂ max $\nearrow$ P max pour IT => capacité oxydative max *
 - $\nearrow$ équivalente seuil lactique ($\approx$ SV2) ***
 - + grande $\nearrow$ seuil ventilatoire (SV1) pour IT ***
 - Mieux toléré chez sujet âgé (adhérence)****=> SV1 !!!
 - Effort rectangulaire :
 - $\searrow$ lactate, QR C > IT capacité oxydative et élimination lactate*

* Gorostiaga et al, Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1991

*** Pool and Gaesser, Appl Physiol, 1985

**** Amaidi et al, Eur J appl Physiol Occup Physiol, 1998

Influence du type de sollicitation, du type d'organisation de l'entraînement sur les qualités aérobies

- Le temps limite continu est positivement corrélé au seuil lactique (SV2) (Billat et al)

Règles de base de l'entraînement

- Principe de surcharge :
 - 1 heure par jour: 2 à 3 MET => bonne santé
 - 1 heure par jour: 5 à 6 MET => améliorer
 - 1 heure par jour à 4 séance hebdo => sportif
 - Entraînement ds ts les registres
- Principe de spécificité
- Principe d'individualisation
- Principe de réversibilité
 - Stock de glycogène +++

Application à la pratique de l'entraînement

- 3 registres de vitesse :
 - Vitesse au dessous du seuil lactique (SV2)
 - Vitesse = ou légèrement > au seuil lactique : 2*20' couru à la vitesse de non accumulation d'acide lactique avec $r=5'$ à 60% VMA => footing rapide
 - Vitesse à la VMA : 5*50% tlim avec $r=50\%tlim$ à 60% VMA=> VMA par intervalle long
- Amplitude lors des séances d'IT:
 - Vitesse de récup au moins > 50% Vit de w max (idéal :20/30%), ds le but de développer VO2 Max

Application à la pratique de l'entraînement

- La charge de travail => DIVR
 - Distance (ou tps)
 - Intensité ++
 - Récupération
 - X séries => Volume +

Type de sollicitations étudiés

Etude		Protocole IT				Protocole rectangulaire				Durée
	Nbre sujets	Pic	Base	tps	séances	Nbre sujets	Pic	Tps	séances	
Gaesser, wilson.1988	?	100% VO2 max	Pédalage à vide ?	2'*10	3 hebdo	?	50% VO2 max	40'	3 hebdo	6 Sem
Poolle,Gasser. 1985 3 groupes	6	105% VO2 max	Pédalage à vide ?	2 séries 10*2' r=2'	3 hebdo	5*2	•50% VO2 max et •70% VO2 max	55' 35'	3 hebdo	8 Sem
Gorostiada et al . 1991 2 groupes	6	100% VO2 max		30 "-30 " Pdt 30'	3 hebdo	6	50% VO2 max		3 hebdo	8 Sem
Ahmaidi et al 1998 2 groupes	11	SV1	?	⌘ de 30' à 60'	2 hebdo	11 sans exercice				