



Exploration de l'aptitude aérobie

Anne-Laure Laprérie

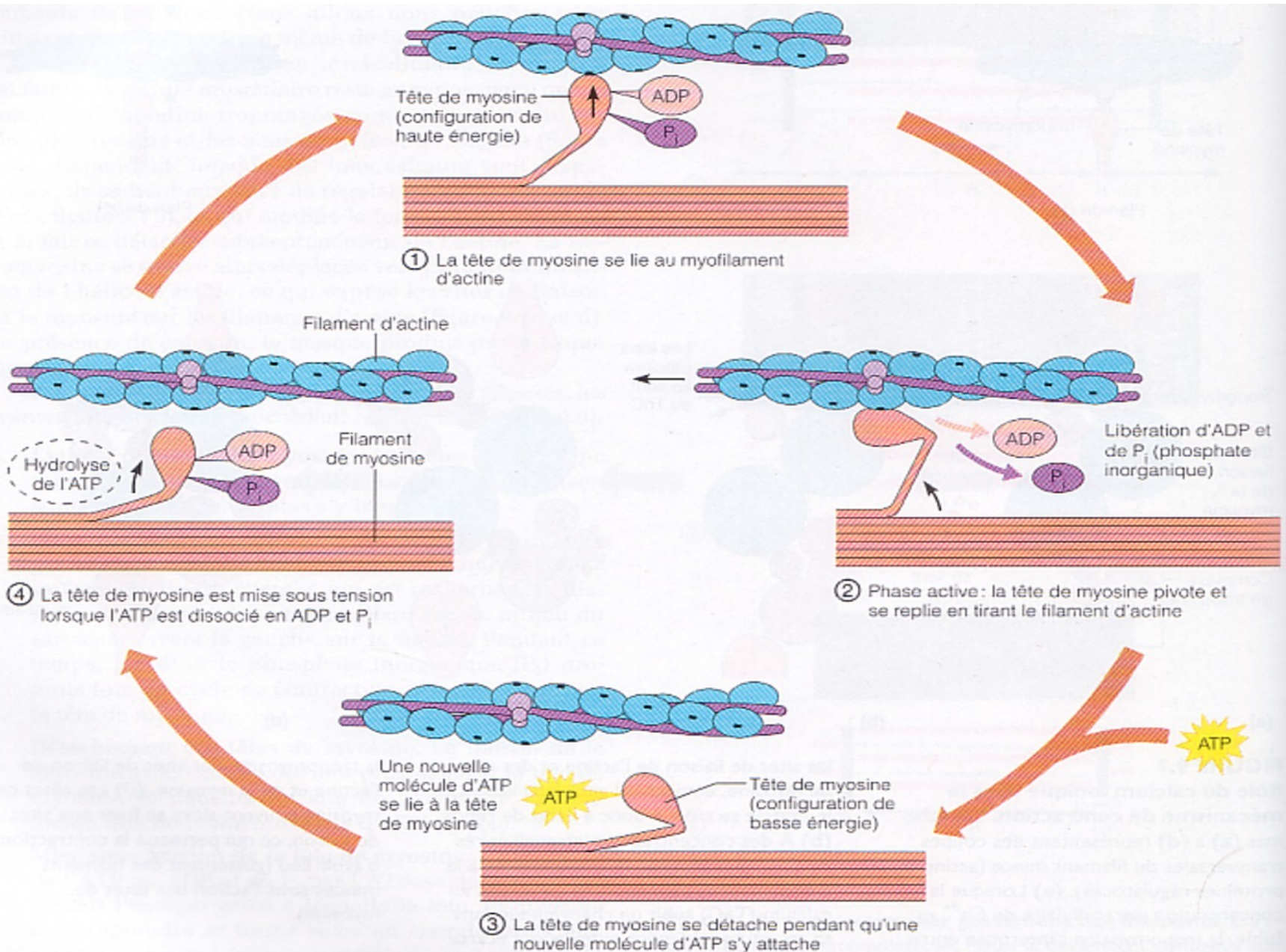
16/12/2010

Métabolismes énergétiques

Contraction musculaire

- Muscles striés squelettiques = 40 % masse corporelle
- Complexe contractile : filaments épais (myosine) et fins (actine)
- Plusieurs types de fibres musculaires : type I, IIa, IIb
 - Fibres I : vitesse contraction lente, voie aérobie
 - Fibres IIa : vitesse contraction moyenne, voie métabolique mixte
 - Fibres IIb : vitesse rapide, métabolisme anaérobie

Energétique de l'exercice musculaire



Energétique de la contraction musculaire

- Activité physique = production d'énergie mécanique
- Transformation d'E. chimique en E. thermique et mécanique

- Rendement médiocre : 75% E. chimique transformée en chaleur, 25% pour la contraction
- E. chimique provient de l'adénosine triphosphate (ATP)

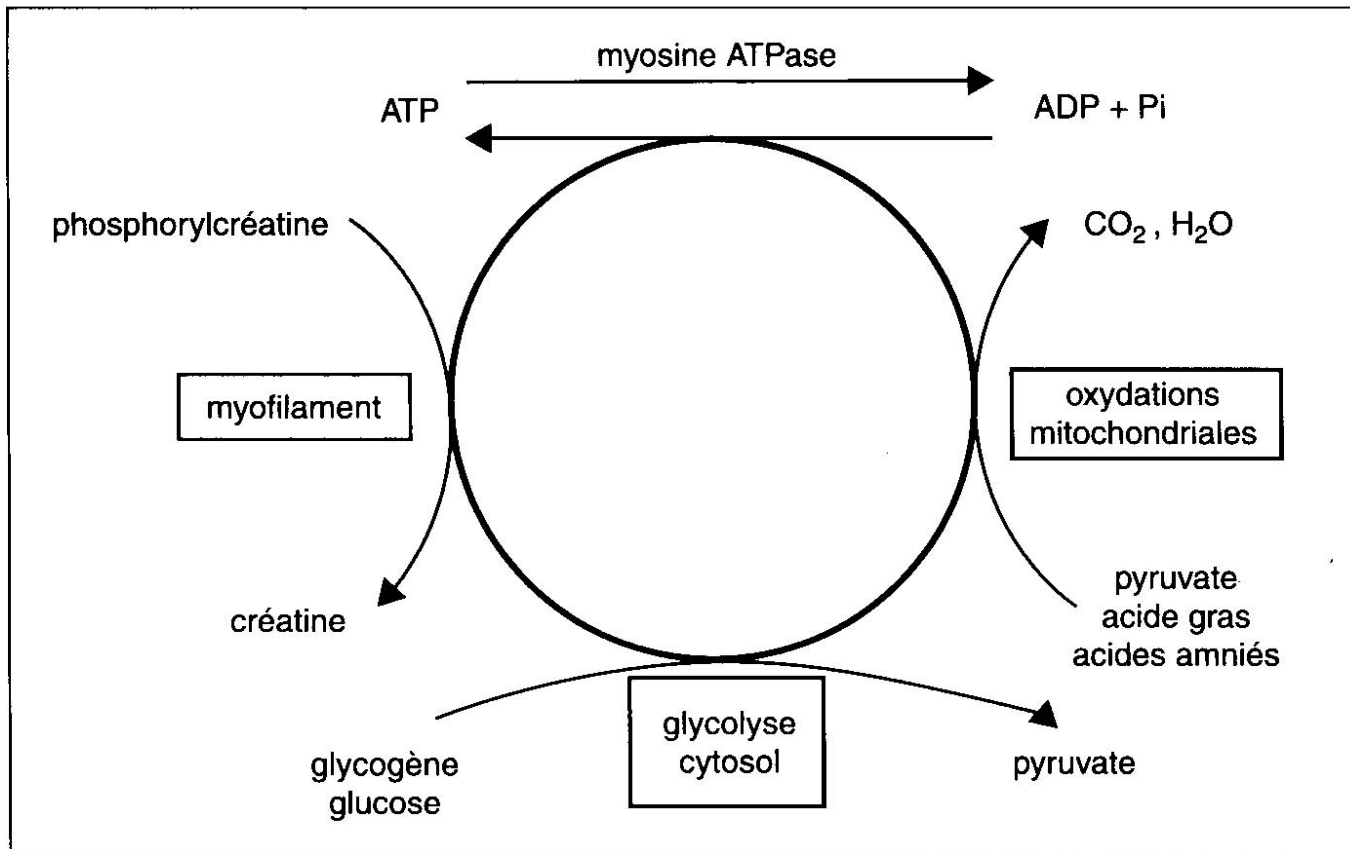
ATP et énergétique musculaire

- ATP seule molécule pour la myosine-ATPase
- 1 molécule-gramme ATP \cong 42 kJ
$$\text{ATP} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ADP} + \text{HPO}_4^- + \text{H}^+ + 7,3 \text{ kCal}$$
- Réserves = 5 mmoles ATP / kg muscle (au max 2 secondes de contraction musculaire !)
→ nécessité d'un système de recharge du stock

Systèmes de recharge de l'ATP

- Resynthèse ATP à partir ADP avec autre source d'énergie
- 3 systèmes de recharge :
 - **Créatine-phosphate** (= phosphagène)
 - $CP \leftrightarrow Pi + C + \text{Energie}$ ($E + ADP + Pi \leftrightarrow ATP$)
 - **Glycolyse anaérobie**
 - $Glycogène \leftrightarrow Glucose$
 - $Glucose \leftrightarrow \text{acide pyruvique} + E$
 - $\text{Acide pyruvique} \leftrightarrow \text{acide lactique}$
 - $E + 3ADP + 3Pi \leftrightarrow 3ATP$
 - **Glycolyse aérobie**
 - $Glucose \leftrightarrow \text{ac pyruvique} + E$
 - $\text{Ac pyruvique} \rightarrow \text{Cycle de Krebs} \rightarrow CO_2 + H^+ + \text{Energie}$
 - Ions H^+ : chaîne respiratoire : $2H^+ + 2e^- + 1/2O_2 \rightarrow H_2O$ (libération d'E)

Systèmes de recharge de l'ATP



Propriétés des systèmes de recharge ATP

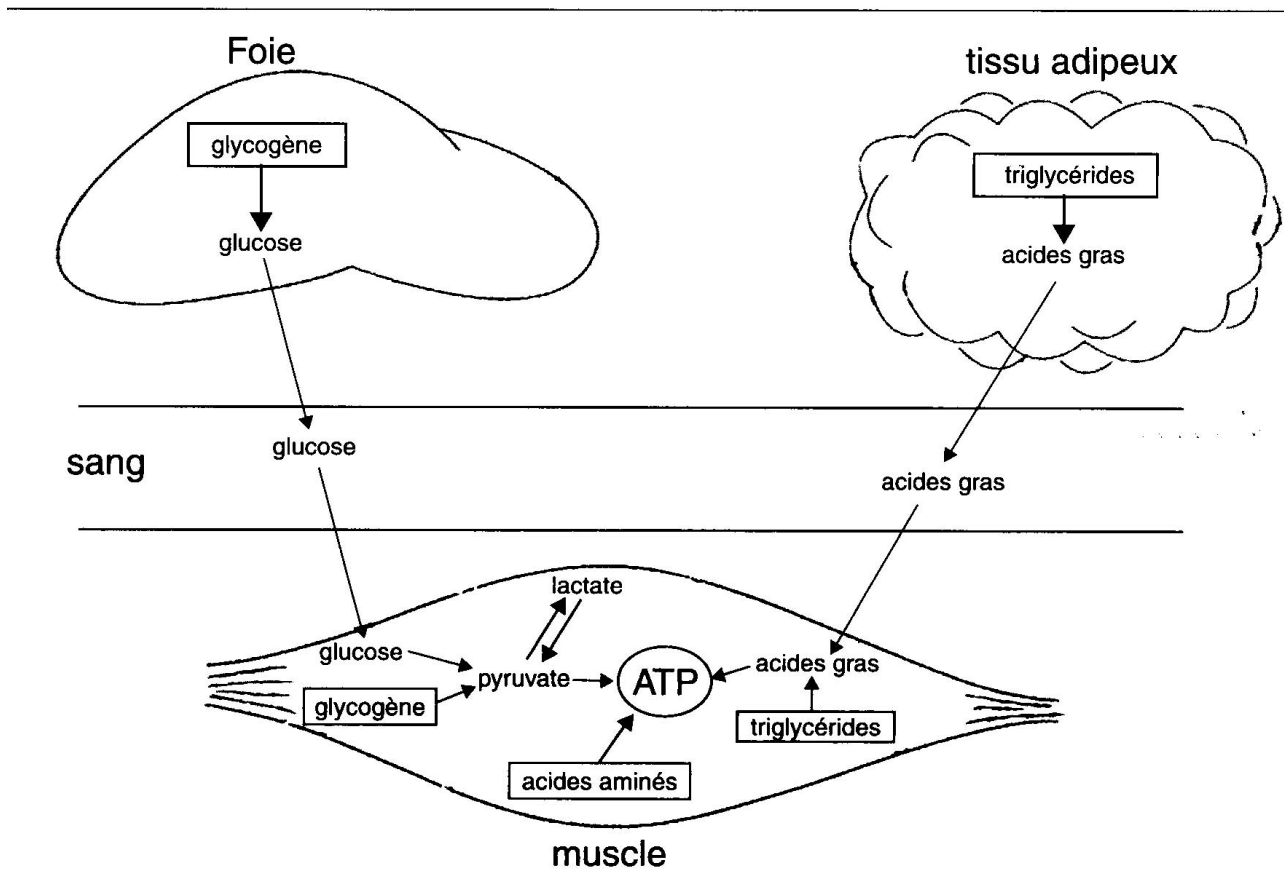
- Site d'exécution, enzyme réactionnelle
- Substrat énergétique
- Efficacité métabolique :
 - CP : 1 molécule CP : 1 molécule d'ATP
 - Glana : 1 molécule glucose = 3 molécules d'ATP
 - Glaer : 1 molécule glucose = 38 molécules d'ATP
- Facteurs limitants :
 - CP : épuisement stock CP
 - Glana : baisse pH (acide lactique)
 - Glaer : valeur VO_2 max (dont facteur central = cœur, facteur périphérique = équipement enz du muscle), épuisement stock glycogène, efficacité thermolyse

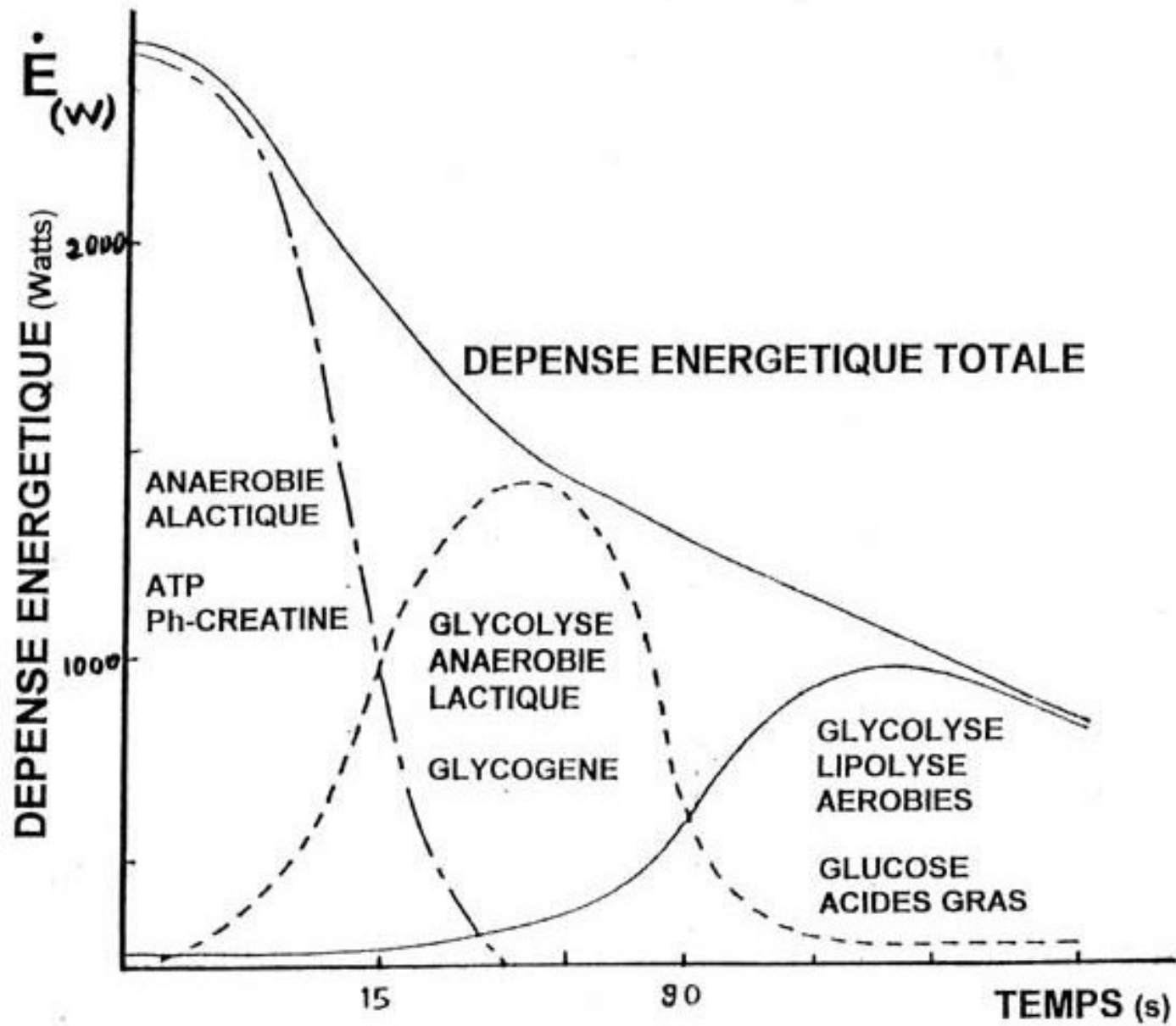
Propriétés des systèmes de recharge ATP

TABLEAU 1-I. – CARACTÉRISTIQUES COMPARÉES DES TROIS FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES.

Caractéristiques	Filière anaérobie alactique	Filière anaérobie lactique	Filière aérobie
Substrats utilisés	Créatine-phosphate (CP)	Glycogène, glucose	Glycogène, glucose, lipides
Délai d'efficacité maximale	< 1 s	20 à 30 s	2 à 4 min
Puissance maximale atteinte	Très élevée # 500 kilojoules/min	Élevée # 300 kilojoules/min	Faible # 80 kilojoules/min
Durée d'action à la puissance maximale	7 à 10 s	30 à 50 s	3 à 15 min
Quantité totale d'énergie disponible (capacité)	Très faible # 40 kilojoules/min	Faible # 100 kilojoules/min	Très élevée (non chiffable) Dépend du pourcentage de VO ₂ max utilisé
Site de production	Cytoplasme cellulaire près filaments actine-myosine	Cytoplasme cellulaire extra-mitochondrial	Mitochondrie
Durée de récupération après sollicitation max.	2 min (resynthèse CP)	1 heure (élimination ac. lactique)	24 heures (reconstitution glycogène)

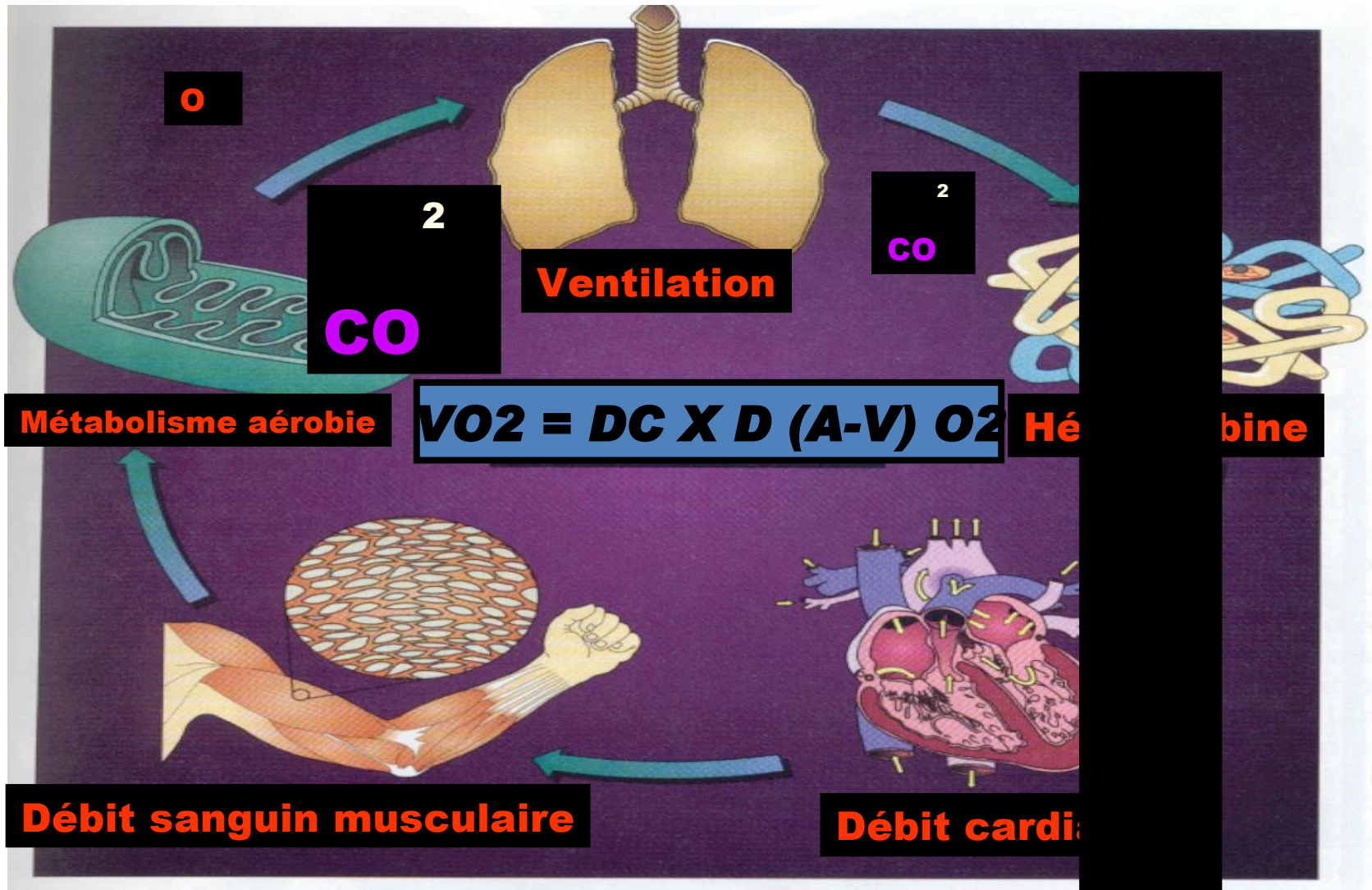
D'après Chignon : La réadaptation ambulatoire à l'effort en pathologie cardiovasculaire





Exploration du métabolisme aérobie

Consommation d'oxygène



Modifié d'après Mc Ardle WD, Katch FI, Katch VI, in Exercise Physiology, 1996

VO₂ et VO₂max

- VO₂ = consommation d'O₂ ou débit d'oxygène consommé

$$VO_2 = Q_c \times C(a-v)O_2$$

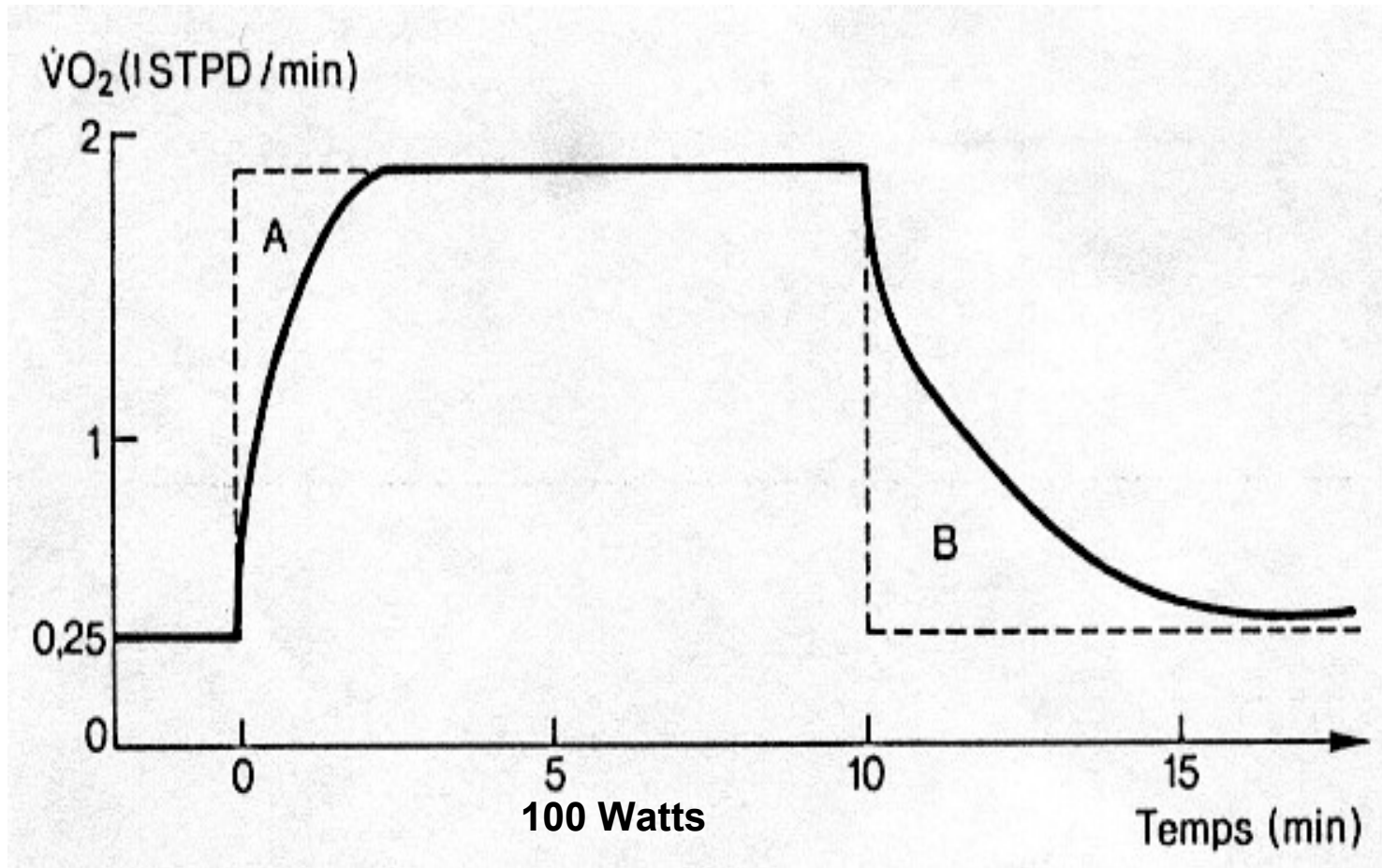
Q_c = débit cardiaque, C(a-v) différence artérioveineuse en O₂

- VO₂max = consommation maximale d'oxygène

Quantité max d'O₂, rapportée à l'unité de temps (en L/min ou ml/min/kg) qui peut lors d'un exercice, être prélevée par les poumons, fixée sur l'hémoglobine du sang, transportée par la circulation, diffusée par les capillaires aux tissus et consommée par les mitochondries.

- VO₂ au repos = 0.2 - 0.3 L/min,
- Peut être multipliée par 5 à 25 (1,5 à 6 L/min) à l'effort

Adaptation de la consommation d'oxygène lors d'un exercice constant sous-maximal



D'après F. Carré

La consommation maximale d'oxygène

$V'O_2$
L/min

2,8

2,2

1,5

0,9

0,25

0

50

100

150

200

250

watts

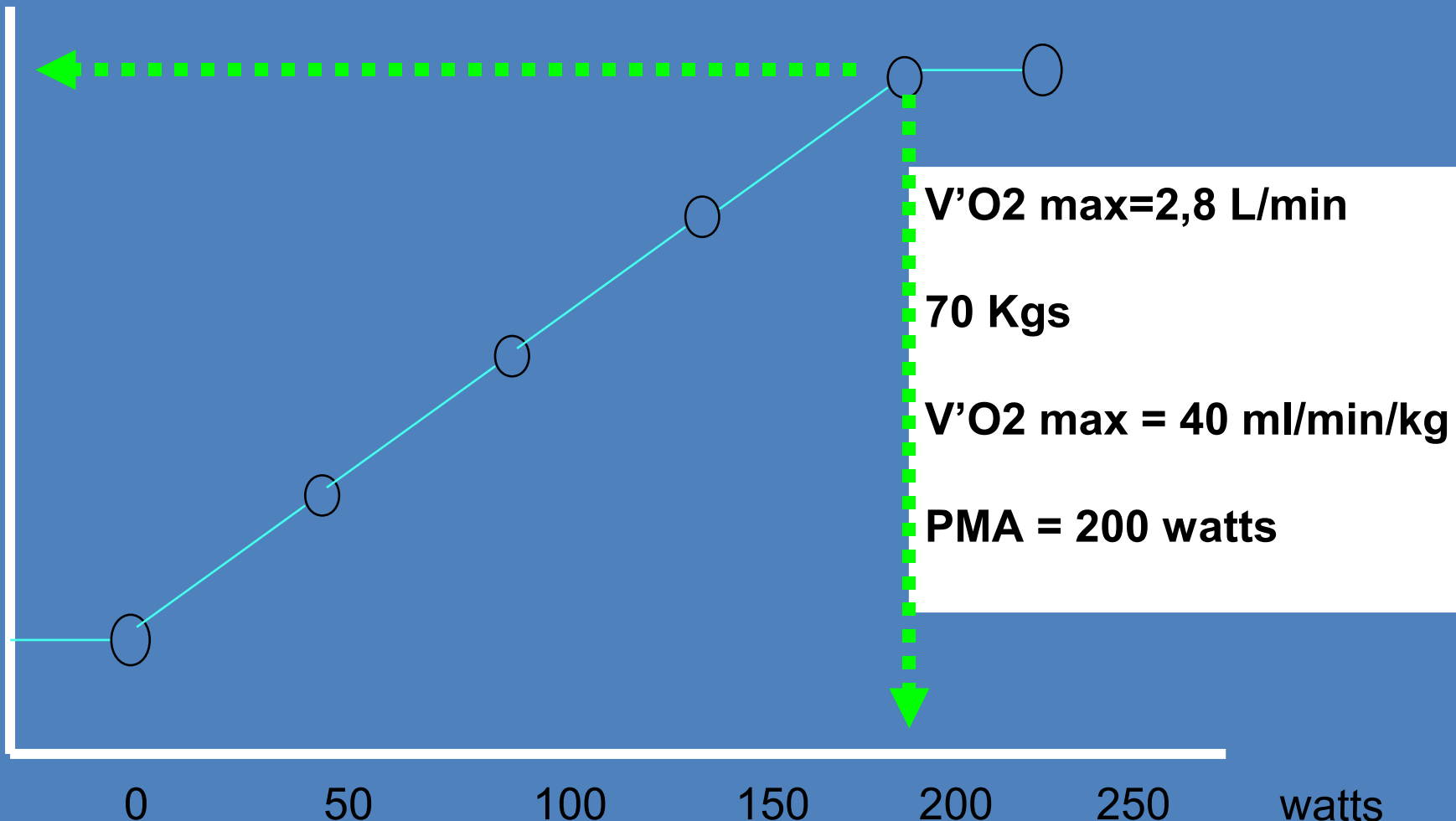
$V'O_2$ max=2,8 L/min

70 Kgs

$V'O_2$ max = 40 ml/min/kg

PMA = 200 watts

D'après F. Carré



S'entendre sur les termes

- $\dot{V}O_2$ explore le métabolisme aérobie
- $\dot{V}O_2 \text{ max.} = \dot{V}O_2$ stable malgré charge l'augmentation de la charge
- Pic de $\dot{V}O_2 =$ Valeur max de $\dot{V}O_2$ mesurée (30'') lors d'un exercice progressif
- Puissance maximale aérobie (PMA):
 - Puissance $\rightarrow \dot{V}O_2$ commence à plafonner
 - Maintenue entre 4 et 8 minutes
- Puissance maximale tolérée :
 - Dernière puissance maintenue
 - au moins 30 secondes

Mesure V O 2 : limites techniques

- Re p r o d u c t i b i l i t é : + / - 4 - 6 %
- Erreurs de procédure et de calibration :
 - Contrôles pré-, per- et post-examen +++

La consommation maximale d'oxygène

Facteurs de variation

Homme > femme

Maximale entre 20 et 25 ans

Baisse avec l'âge : 0,5-1 ml/kg par année

+ 20 à 30 % avec entraînement

Selon le protocole :

Ergomètre : tapis > ergocycle (+10%)

Jambes > bras

Horaire

Familiarisation

Selon le sujet :

sain : entraînement++ : 30l/mn/kg (sédentaire) à 80ml/mn/kg (sportif haut niveau)

Patient : pathologie, traitement, stabilité

Repos

Repas : 2-3h avant

Motivation

D'après F. Carré

Vieillesse et VO₂ max.

$$\dot{V}'O_2 = DC \times D(A-V) O_2$$

Facteurs centraux

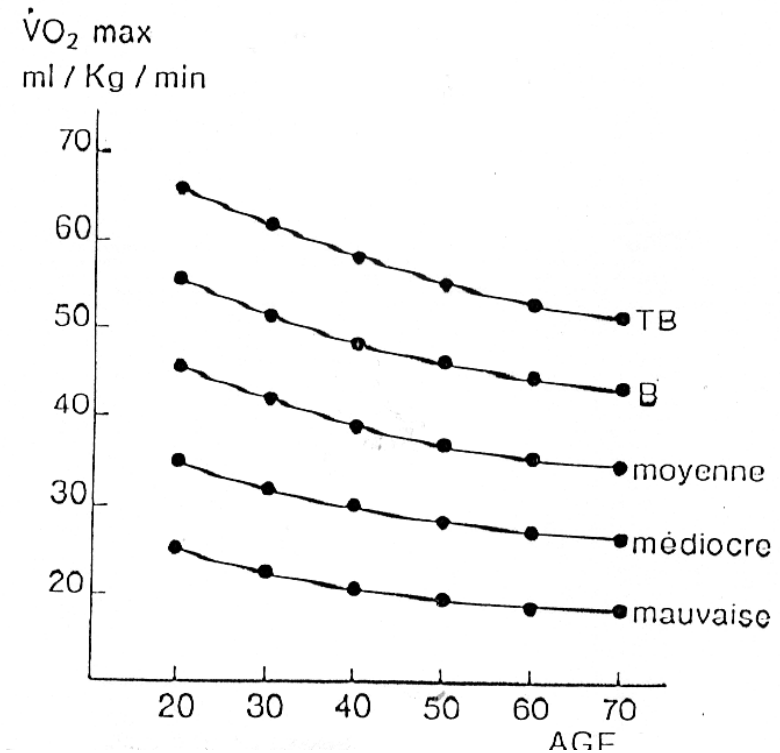
Facteurs périphériques

Diminution linéaire annuelle

0,5-1 ml/min/kg/an

DC maximal

Baisse de masse maigre

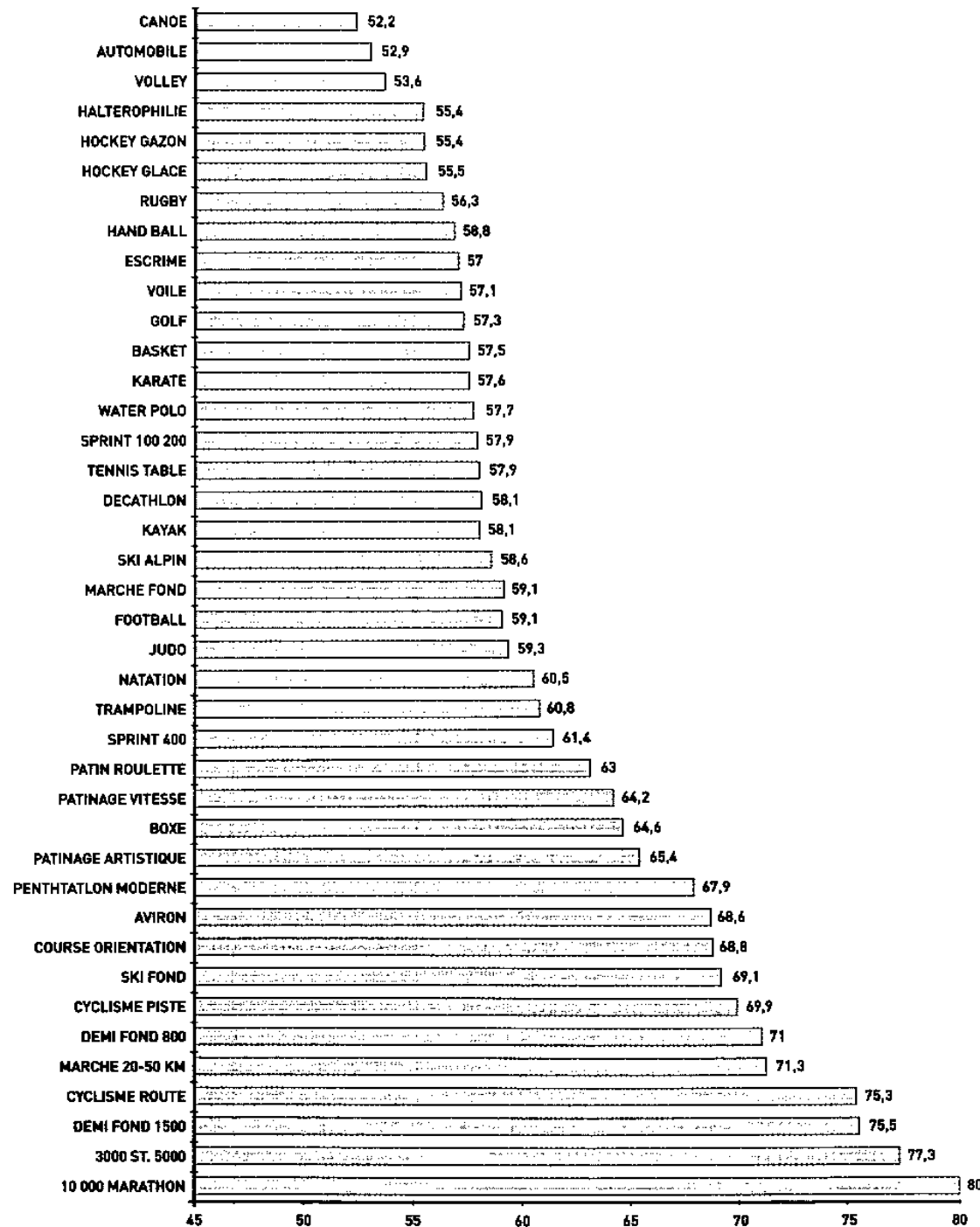


Vie sociale → VO₂ max ≥ 14-17 ml/min/kg

D'après F. Carré

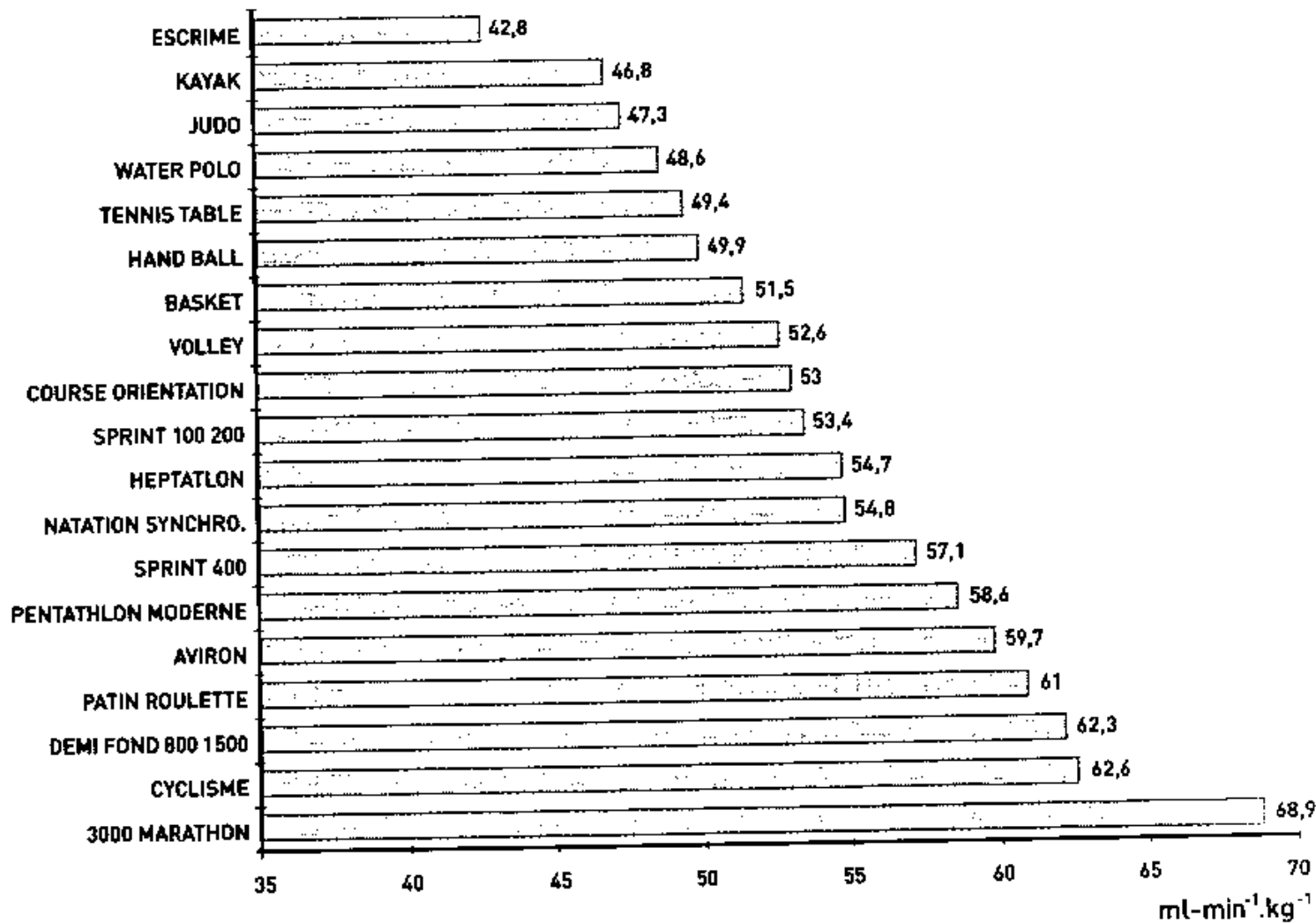
VO 2

sportif homme



VO 2

sportive femme

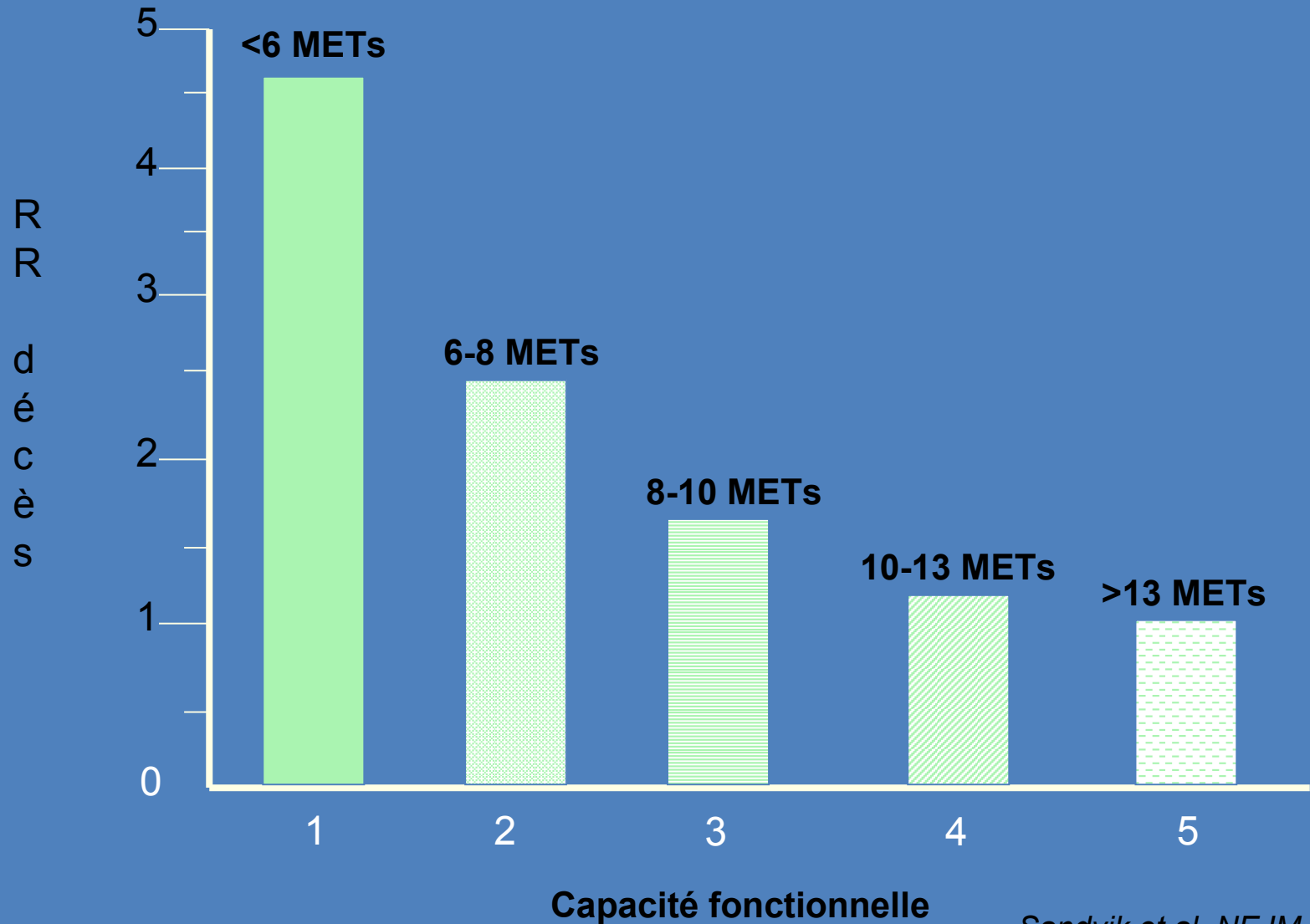


Pourquoi mesurer la VO₂ ?

Indications EE + VO 2

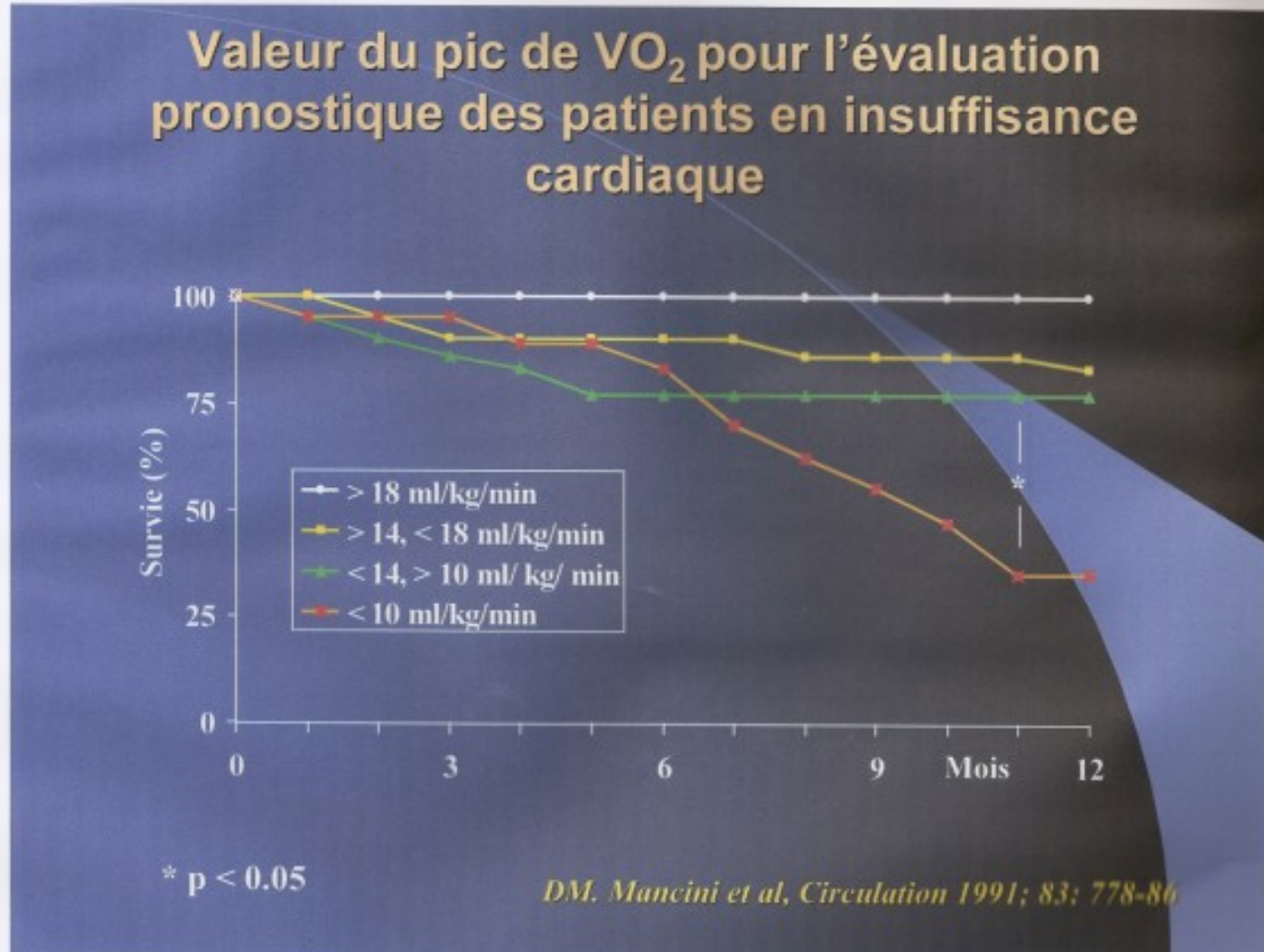
- Exploration de la tolérance à l'effort
 - Facteurs limitant l'exercice
 - Quantification de la capacité d'effort
- Indications cliniques
 - Exploration objective de symptômes d'effort (dyspnée++)
 - Evaluation préopératoire ou pronostique en pneumologie et cardiologie
 - Evaluation des thérapeutiques
- Réentrainement à l'effort + prescription d'APS
 - Prescription individualisée
 - Evaluation de l'efficacité
- Chez le sportif
 - Evaluation capacité aérobie
 - Guide pour l'entraînement

Relation capacité physique et mortalité

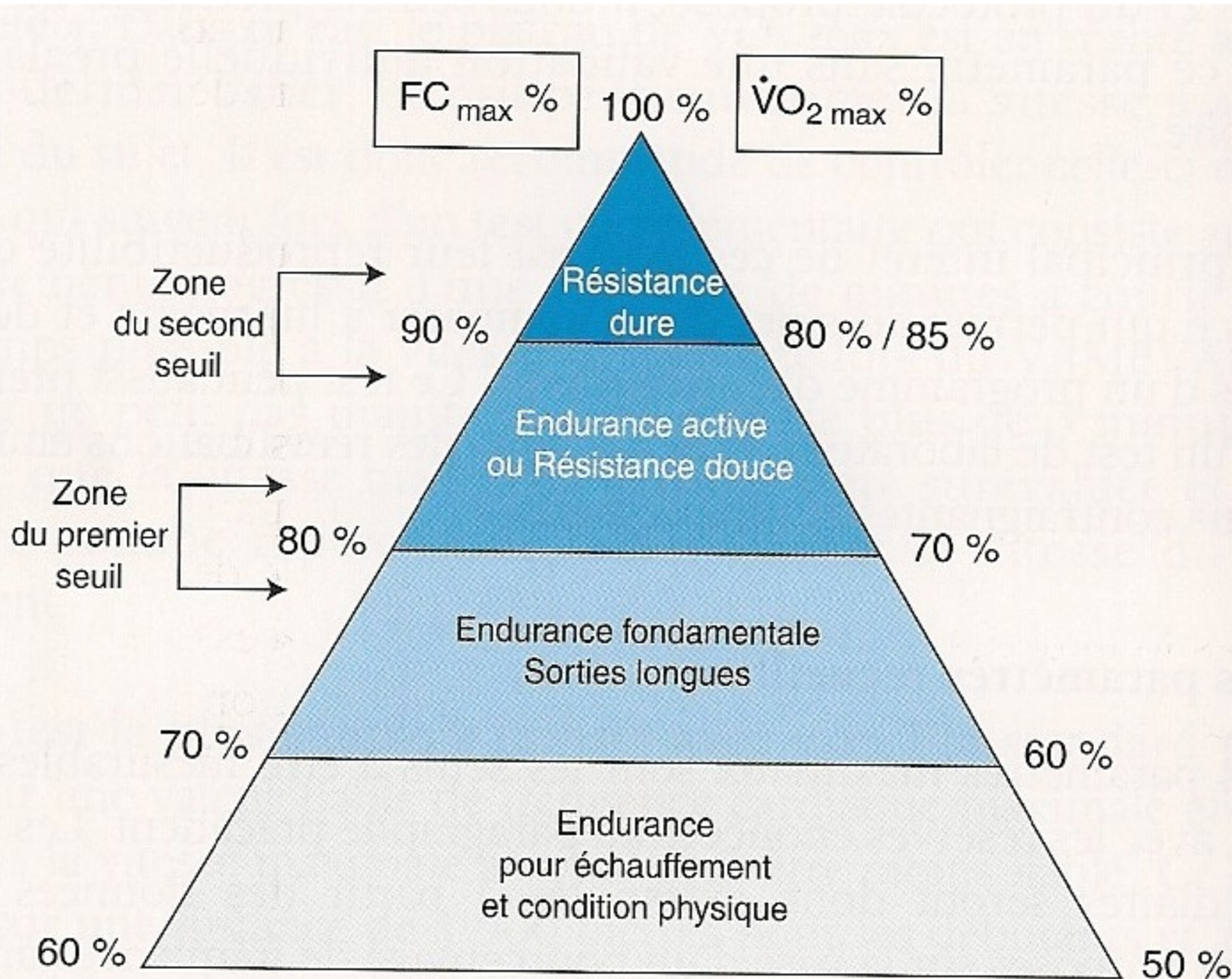


Sandvik et al. NEJM 1993
Myers J. N. Engl. J. Med. 2002
Mark D.B. et al. Circulation 2003

VO₂ = facteur pronostique dans l'insuffisance
cardiaque



VO2 et entraînement

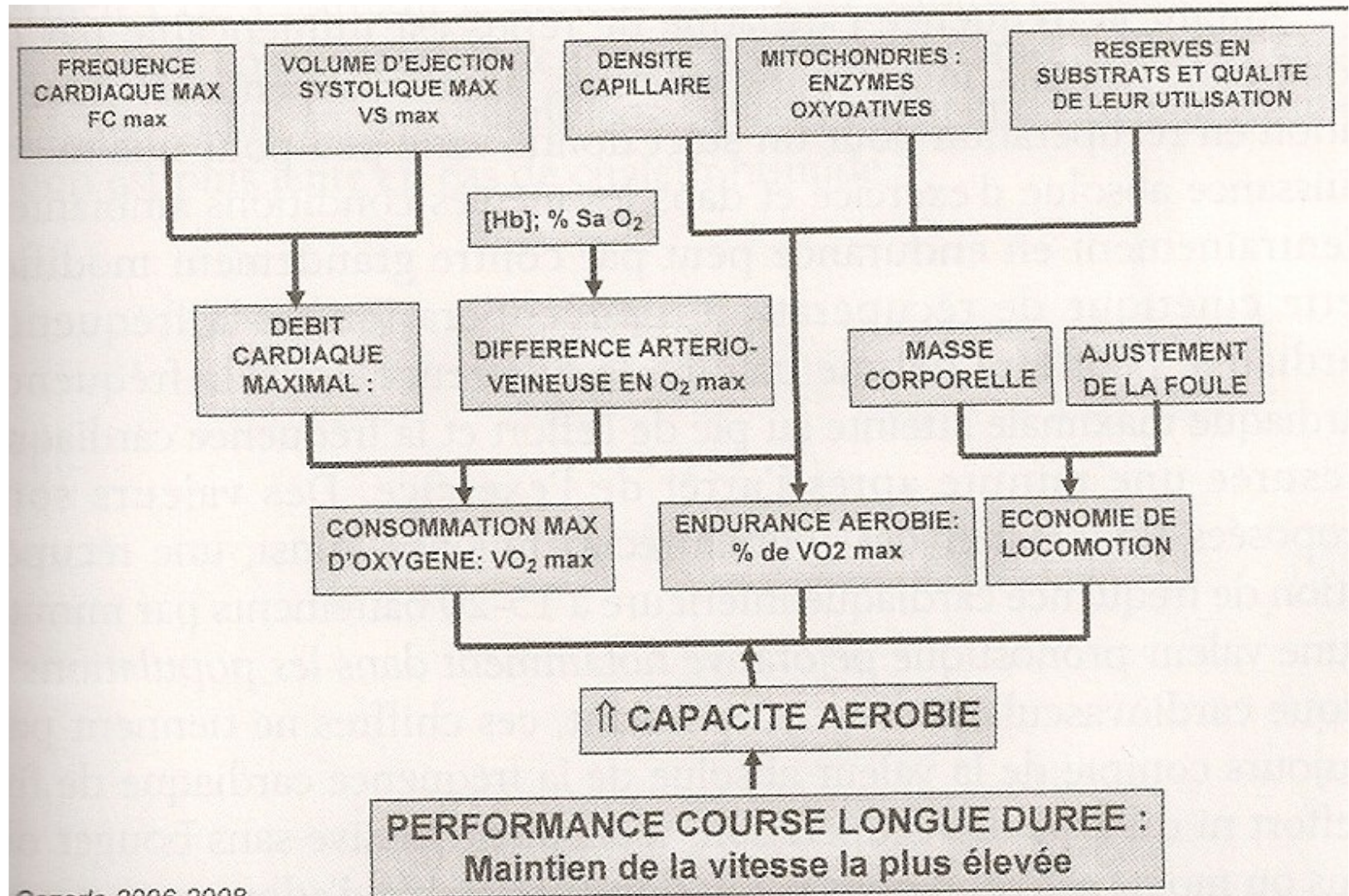


Mesure de la VO_2 chez le sportif

- Choix de l'ergomètre
- Choix du protocole
- Intérêt : mesure de la VO_{2max}
- Détermination des seuils (guide l'entraînement)

- Intérêt des tests de terrain

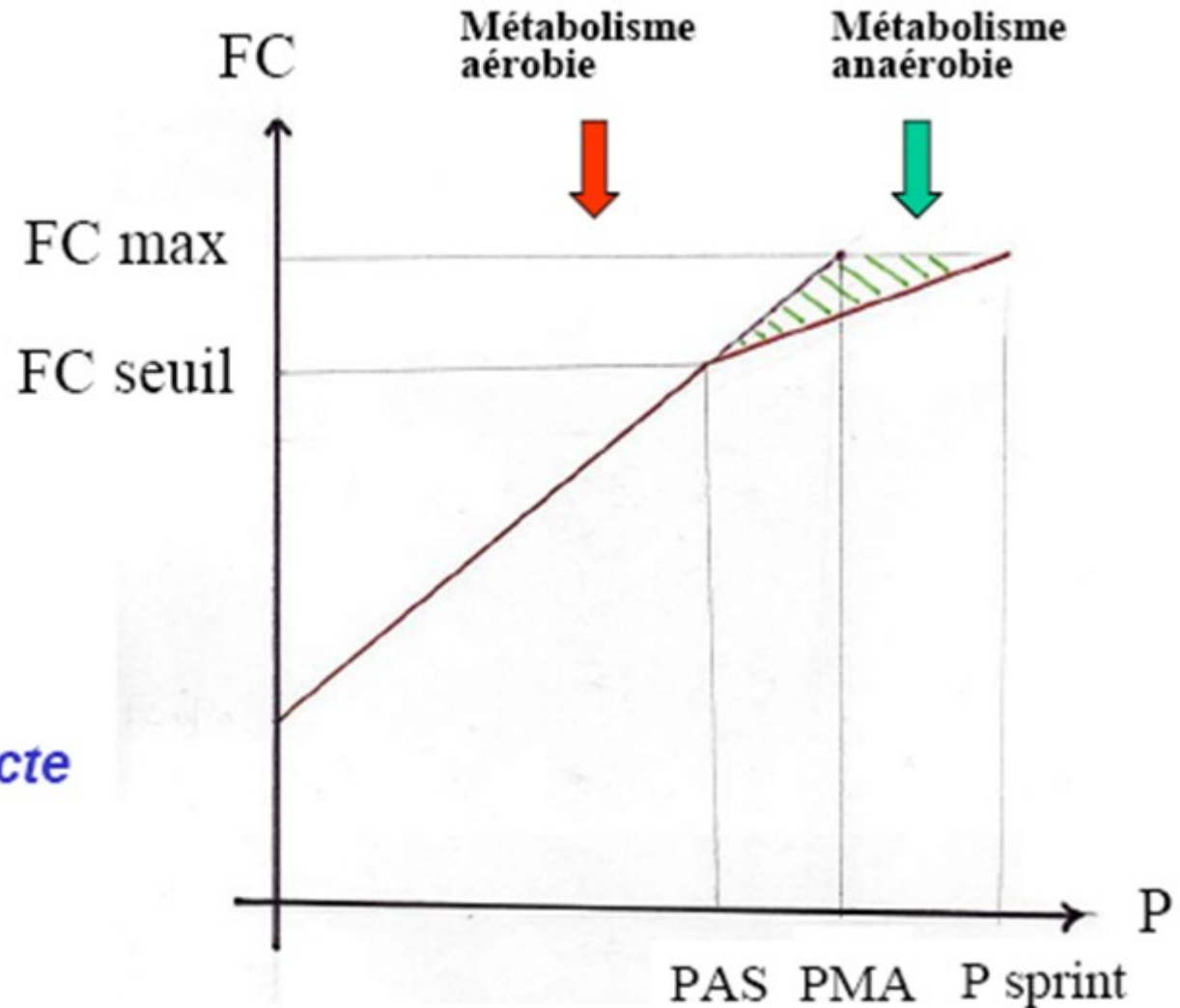
Facteurs de performance



Méthodes indirectes VO₂ ?

- EE simple : détermination de la PMA
- Calcul de la capacité fonctionnelle en Met s
(*Metabolic Equivalent of the Task*)
 - 1 Met = unité de métabolisme énergétique de repos = 3,5 ml/mn / kg

Détermination de la PMA



*méthode indirecte
graphique par
extrapolation*

Evaluation de la capacité fonctionnelle du patient en MET*

Poids corporel (kg)	Charge (watts)						
	50	75	100	125	150	175	200
50	5,1	6,9	8,6	10,3	12,0	13,7	15,4
60	4,3	5,7	7,1	8,6	10,0	11,4	12,9
70	3,7	4,9	6,1	7,3	8,6	9,8	11,0
80	3,2	4,3	5,4	6,4	7,5	8,6	9,6
90	2,9	3,8	4,8	5,7	6,7	7,6	8,6
100	2,6	3,4	4,3	5,1	6,0	6,9	7,7

*MET = Metabolic Equivalent of Task. 1 MET = 3.5 ml / (kg / min)

Classification des activités physiques

Activités d'endurance

Activités de force

Intensité	Intensité relative			Intensité absolue (METS) chez l'adulte sain (âge en ans)					Intensité relative ^a
	% VO ₂ max	% fréq. cardiaque maximale	EPE ^b	Jeune (20-39)	Âge moyen (40-64)	Âgé (65-79)	Très âgé (80 et +)	EPE	% force maximale de contraction
	% fréq. cardiaque de réserve								
Très légère	<25	<30	<9	<3,0	<2,5	<2,0	<1,25	<10	<30
Légère	25-44	30-49	9-10	3,0-4,7	2,5-4,4	2,0-3,5	1,26-2,2	10-11	30-49
Modérée	45-59	50-69	11-12	4,8-7,1	4,5-5,9	3,6-4,7	2,3-2,95	12-13	50-69
Difficile	60-84	70-89	13-16	7,2-10,1	6,0-8,4	4,8-6,7	3,0-4,25	14-16	70-84
Très difficile	≥85	≥90	≥16	≥10,2	≥8,5	≥6,8	≥4,25	17-19	>85
Maximale ^c	100	100	20	12,0	10,0	8,0	5,0	20	100

a Basé sur 8-12 répétitions pour des individus <50 ans et 10-15 répétitions si >50 ans.

b Échelle de perception de l'effort (EPE) basée sur l'échelle de Borg de 6 à 20 (5).

c Valeurs maximales sont les valeurs moyennes atteintes à l'exercice maximal par des adultes sains. L'intensité absolue (METS) sont des valeurs moyennes pour l'homme. Les valeurs moyennes pour la femme sont approximativement 1-2 METS plus basses que chez l'homme.

Niveau d'effort requis pour différentes activités physiques de la vie quotidienne^{1,2}

Classement de diverses activités physiques par valeur de dépense énergétique approximative en MET*^{1,2}

Très léger
≤ 3 METS

Léger
> 3 METS
et ≤ 5 METS

Moyen
> 5 METS
et ≤ 7 METS

Lourd
> 7 METS
et ≤ 9 METS

Très lourd
> 9 METS

Activités de loisirs

- Jardinage léger :
 - Tonte de gazon sur tracteur
 - Ramassage de fruits et légumes
- Bricolage : menuiserie, peinture intérieure
- Conduite automobile
- Billard
- Croquet
- Voyages, tourisme
- Piano
- Frappe machine
- Jeux avec des enfants (effort léger), porter de jeunes enfants
- Jeux avec des animaux (effort léger)
- Danse de société à rythme modéré
- Activité sexuelle

- Jardinage :
 - Taille d'arbustes
 - Semailles
 - Ratissage de pelouse
 - Bêchage en terre légère
 - Désherber, cultiver son jardin
 - usage d'une tondeuse autotractée
- Pêcher à la ligne
- Chasser
- Marcher, courir avec des enfants

- Jardinage :
 - Usage d'une tondeuse manuelle à plat
 - Conduite d'un petit motoculteur
 - Pelletage de neige
- Bricolage :
 - scier du bois
- Danse à rythme rapide

- Bricolage :
 - Port de briques
 - Travaux de menuiserie lourde
 - Déménagement

Activités domestiques

- Se doucher, se raser s'habiller
- Ecrire
- Repasser
- Dépoussiérer
- Laver les vitres
- Faire les lits
- Cuisiner, faire la vaisselle faire les courses
- Arroser les plantes
- Réparer et laver sa voiture

- Passer l'aspirateur
- Balayer lentement
- Cirer les parquets
- Porter des charges jusqu' à 6 kg en montant les escaliers
- Nettoyer

- Porter des charges de 7 à 10 kg en montant les escaliers

- Porter des charges de 11 à 22 kg en montant les escaliers
- Grimper des escaliers, une échelle avec charges

- Porter des charges de 22 à 33 kg en montant les escaliers

Activités d'entraînement et sportives

- Marche 4 km/h
- Stretching,yoga
- Equitation (au pas)
- Bowling

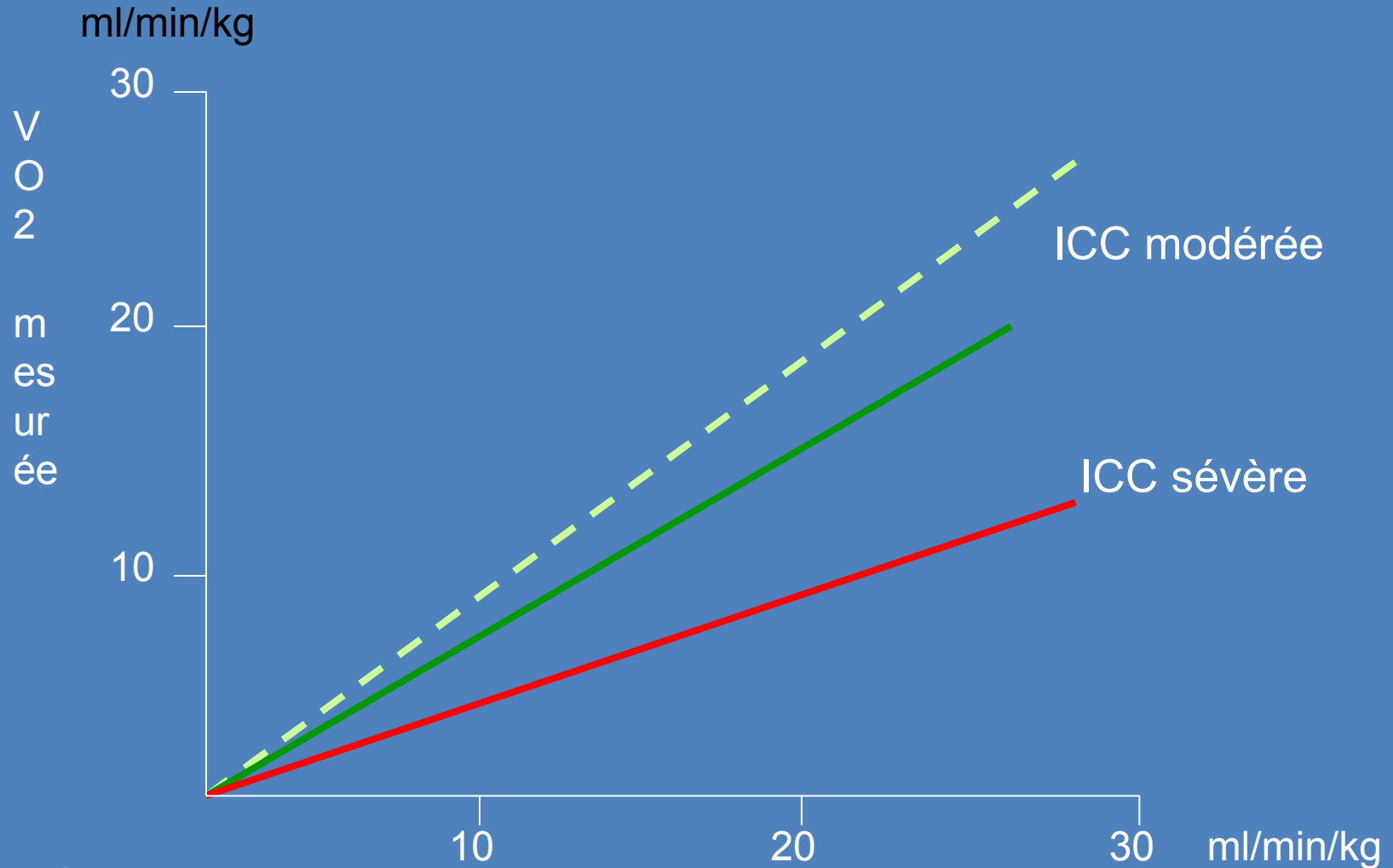
- Marche 6 km/h
- Bicyclette à plat (moins de 16 km/h)
- Gym légère
- Tennis de table
- Golf
- Volley-ball à 6 (hors compétition)
- Badminton
- Ski de descente
- Canoë (loisirs)
- Aquagym

- Marche rapide 7 km/h
- Marche en montée 5 km/h
- Bicyclette statique à faible résistance
- Bicyclette à plat (16 à moins de 20km/h)
- Entraînement en club de mise en forme
- Natation (brasse lente)
- Rameur
- Equitation (trot)
- Tennis en double (hors compétition)
- Ski de randonnée
- Patins à glace patins à roulettes
- Escrime
- Ski nautique
- Jeu de raquettes

- Trottinement (8 km/h)
- Bicyclette (20 à 22 km/h)
- Gymnastique intense
- Natation (crawl lent)
- Tennis en simple (hors compétition)
- Football
- Corde à sauter, rythme lent
- Escalade, varappe

- Course (11 km/h)
- Plongée sous-marine
- Natation (papillon, autres nages rapides)
- Canoë, aviron en compétition
- Handball
- Rugby
- Squash
- Judo

VO₂ mesurée ou prédite chez l'ICC ?



Rapport VO₂/W
varie selon
gravité ICC

VO₂ prédite

Dubach P. Europrevent 2007

Test de marche de 6 mn

- Etude de la capacité d'effort SOUS-MAXIMALE
- Indications : évaluation fonctionnelle (insuffisance cardiaque, respiratoire, sujet âgé), évaluation pré et post-intervention thérapeutique, facteur pronostique (IC, IR, HTAP)
- Standardisation
- Sécurité