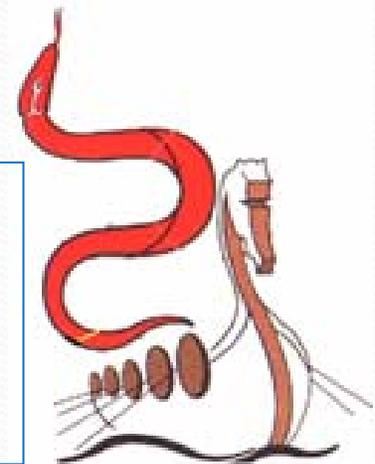


Réunion de Médecine du Sport



VO₂Max – VMA

de la théorie à la pratique
Temps de travail/Temps de récupération



Docteur Didier POLIN

Mercredi 09 décembre 2009

Amphi DELAPILLE UFR Staps

Bibliographie

De nombreuses diapositives sont tirés d'exposés présentés depuis 2000.

De nombreux documents sont issus du:

- Laboratoire de physiologie respiratoire et sportive du CHU Rouen

Décryptage physiologique

De la théorie pour la pratique...

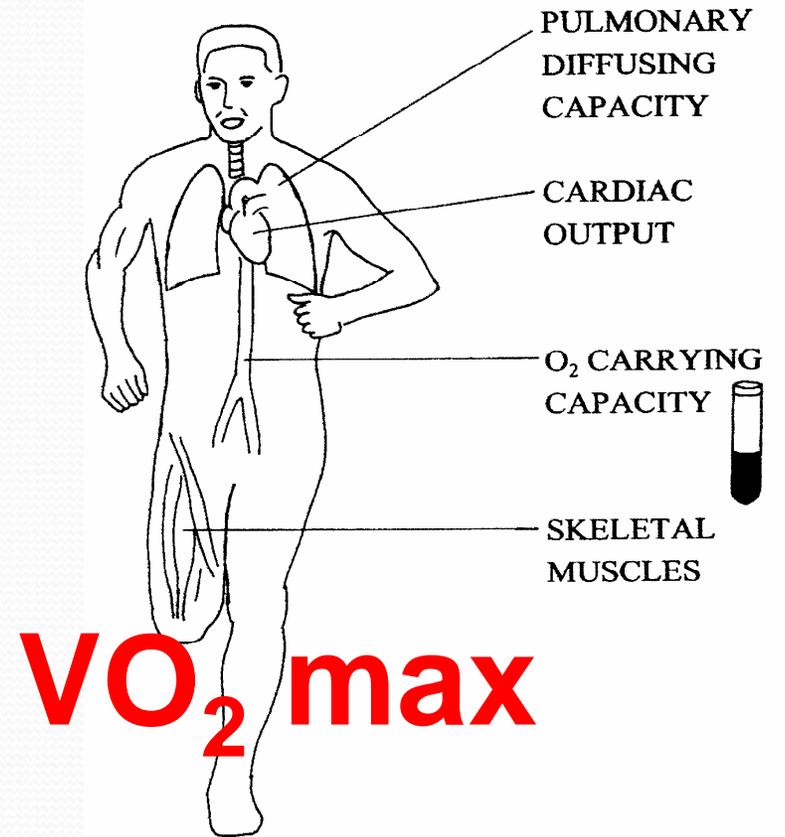
Facteur(s) limitant des performances

Evolution des $\dot{V}O_2$ max

A quoi ça sert l'O₂?

Quels sont les facteurs limitant de la performance?

Facteurs physiologiques limitant potentiellement la consommation maximale d'oxygène lors de l'exercice physique



↗ du nb.total GRs

↗ de la quantité d'hémoglobine

↗ capacité de transport de l'O₂

↗ de l'O₂ livré aux muscles

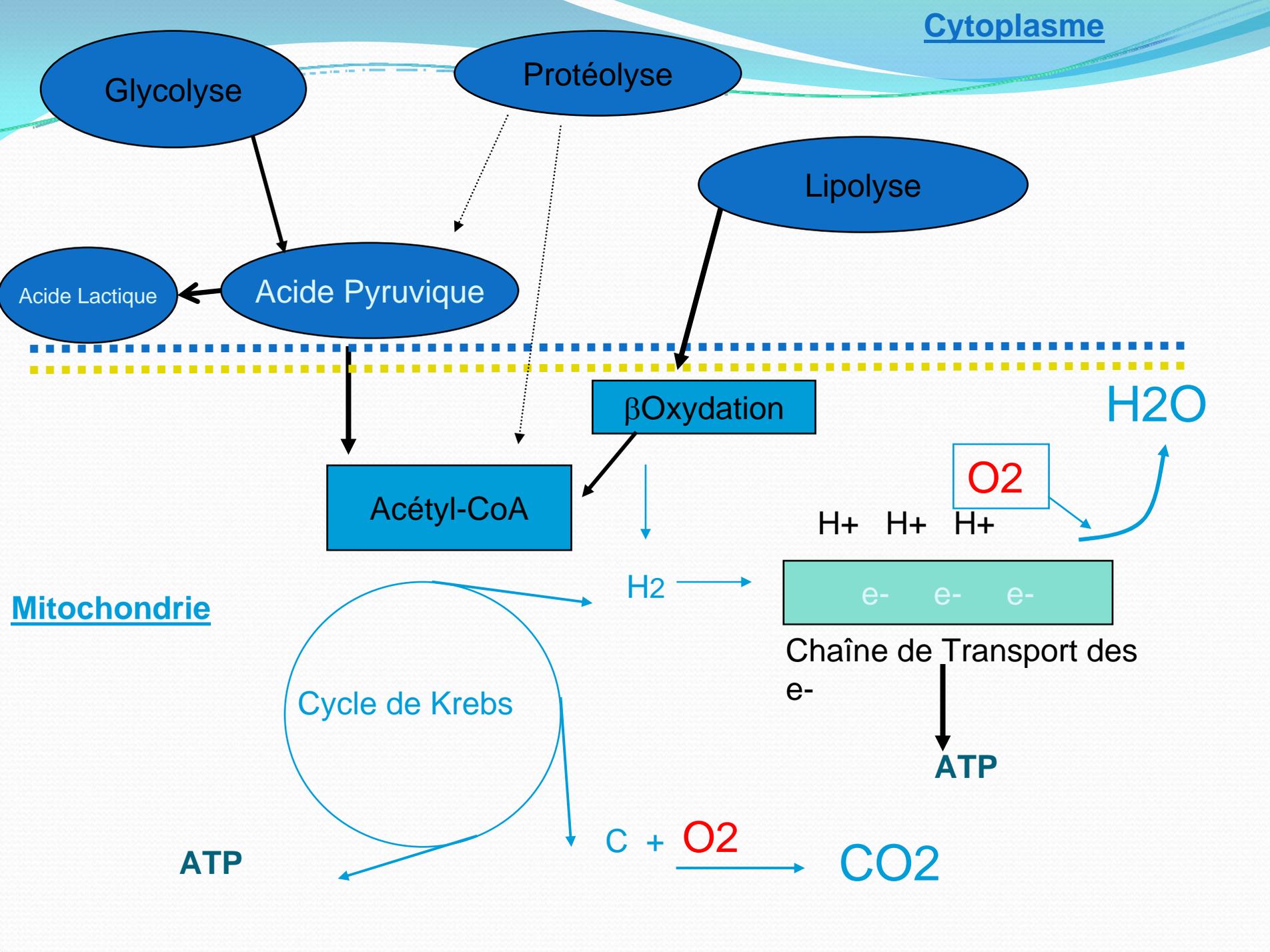
↗ Extraction par la myoglobine

↗ de la $\dot{V}O_2\text{max}$

Rein et EPO
Moëlle osseuse et production

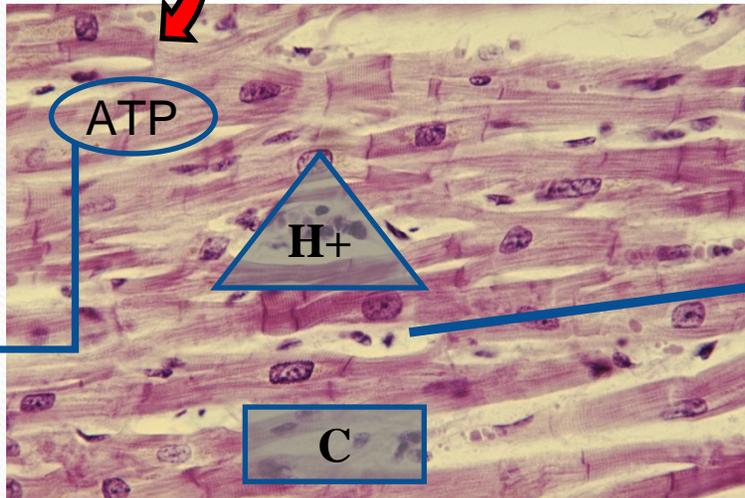
Rôle de la pompe
cardiaque et du
système respiratoire

Consommation par
le muscle



A quoi sert l'O₂ dans le muscle?

O₂



Permet d'éliminer les déchets C et H⁺ sous forme de H₂O et CO₂

Poumons

Reins

à chaque foulée, notre corps est capable de régénérer 10 milliards de milliard (10 puissance 19) de molécules d'ATP

Remarque « pratique » N°1

- L'oxygène
 - Est un grand récupérateur de déchets
 - Il a un rôle à l'effort...
 - ...mais aussi et surtout en récupération

RAPPELS

- La consommation d'O₂ comme le rejet de CO₂ sont des débits (L/mn ou ml/mn/kg)
- Ils sont symbolisés:
 - $\dot{V}O_2$ ou $\dot{V}CO_2$, où le $\dot{\circ}$ a toute son importance physiologique
 - De la même façon le débit cardiaque est symbolisé par:
 - \dot{Q}

ÉQUATIONS pour O₂ et CO₂

AIR
AMBIANT

APPAREIL
VENTILATOIRE
(Convection)

Paroi alvéolo-
capillaire
(Diffusion)

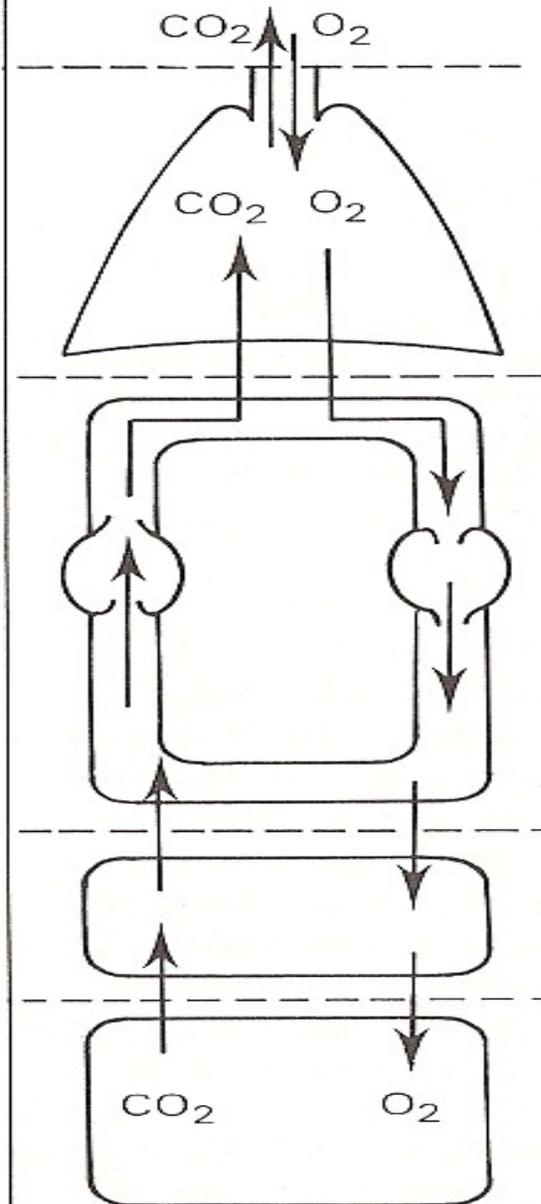
APPAREIL
CARDIO-
VASCULAIRE
(Convection)

Parois capillaires
(Diffusion)

LIQUIDES
INTERSTITIELS

Parois cellulaires
(Diffusion)

CELLULES



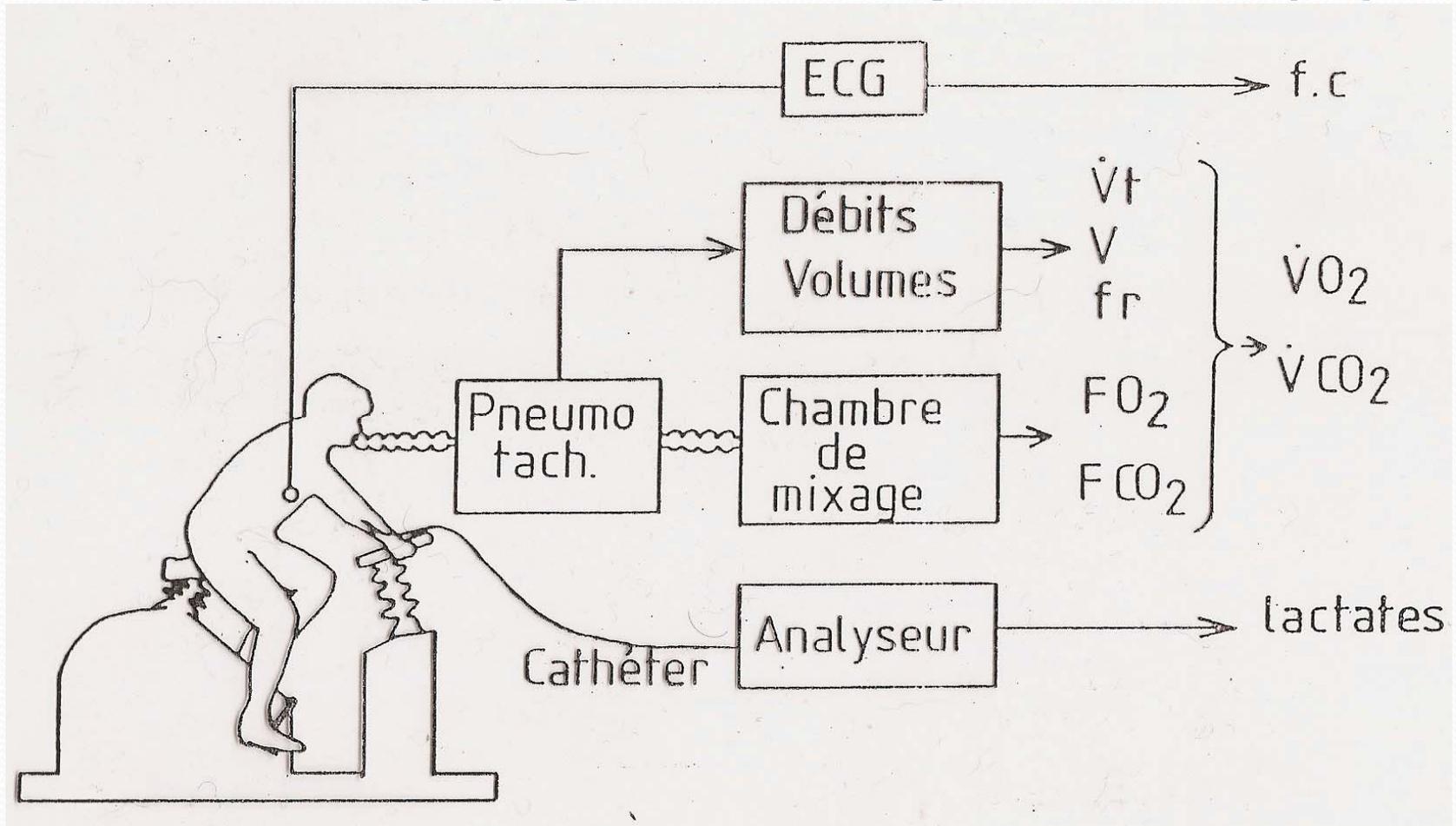
$$\begin{cases} \dot{V}_{O_2} = \dot{V}_I \cdot F_{IO_2} - \dot{V}_E \cdot F_{EO_2} \\ \dot{V}_{CO_2} = \dot{V}_E \cdot F_{ECO_2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{V}_{O_2} = D_{LO_2} (P_{AO_2} - P_{\bar{C}O_2}) \\ \dot{V}_{CO_2} = D_{LCO_2} (P_{\bar{C}CO_2} - P_{ACO_2}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{V}_{O_2} = \dot{Q} (C_{aO_2} - C_{\bar{v}O_2}) \\ \dot{V}_{CO_2} = \dot{Q} (C_{\bar{v}CO_2} - C_{aCO_2}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{V}_{O_2} = D_{tO_2} (P_{\bar{C}O_2} - P_{tO_2}) \\ \dot{V}_{CO_2} = D_{tCO_2} (P_{tCO_2} - P_{\bar{C}CO_2}) \end{cases}$$

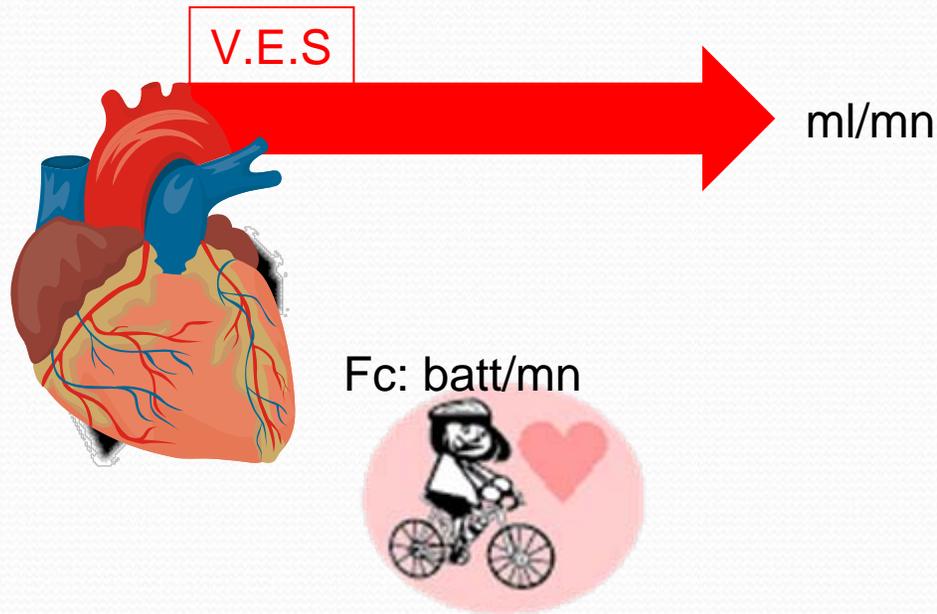
Matériel(s) pour équation(s)




$$\dot{V}O_2 = Q \times (CaO_2 - C_vO_2)$$

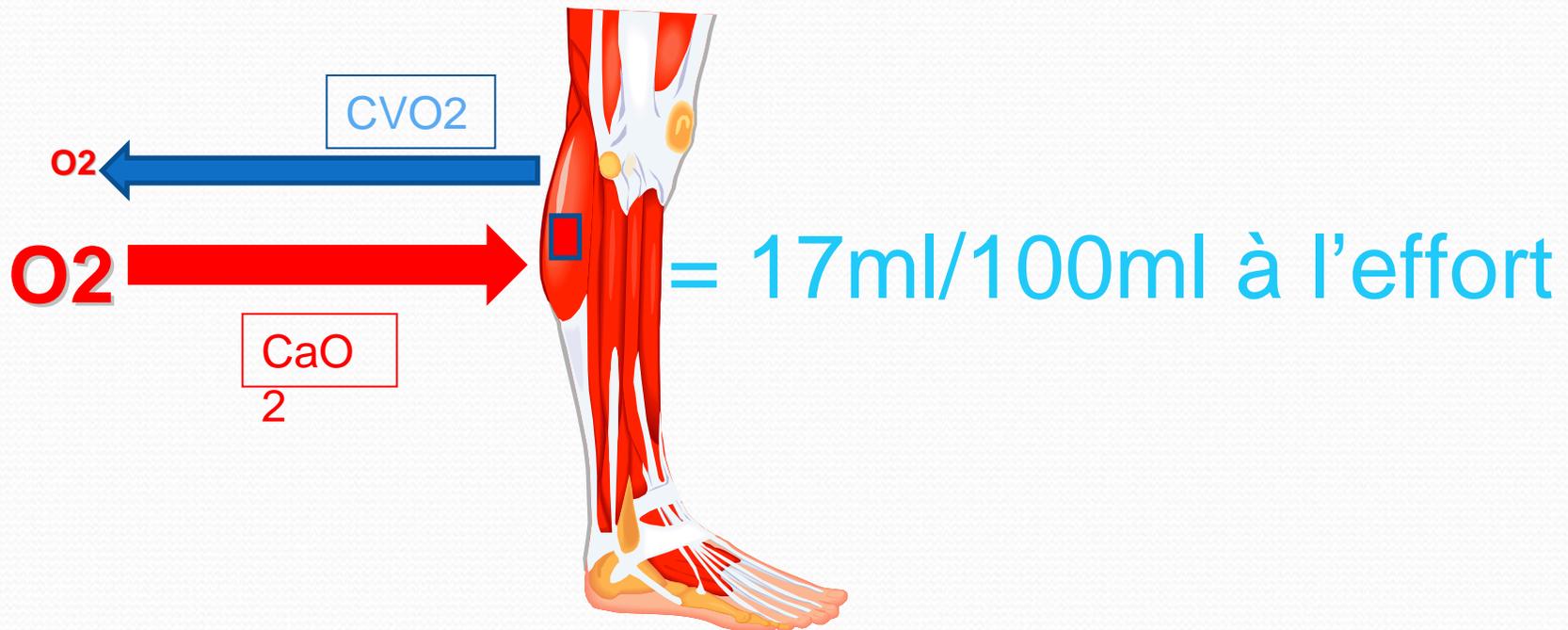
Débit cardiaque

$$\dot{Q} = V.E.S. \times Fc$$



Différence Artério-Veineuse en O₂

$CaO_2 - CVO_2 = 6\text{ml}/100\text{ml}$ au repos



Remarque « pratique » N°2

- Le poumon

- Permet d'apporter une quantité suffisante d'oxygène
- Il a un rôle prépondérant dans l'élimination des déchets
- Il n'est pas limitant de l'effort aérobie

Débit cardiaque au repos

	VES	FC	Q°
Sédentaire	70,2 ml	70/mn	4940 ml/mn
Sportif	98,4ml	50/mn	4920 ml/mn
Haut niveau	140,4 ml	35/mn	4914ml/mn

Evolution du Débit Cardiaque

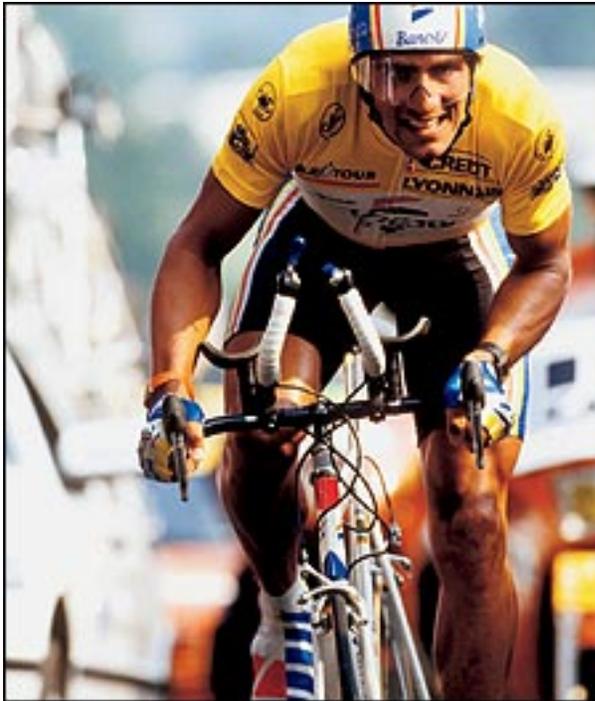
- Au repos
 - Indépendant de l'entraînement
 - Sédentaire= Sportif= Haut niveau
- A l'effort
 - VES augmente en premier
 - Puis la FC augmente
 - Puis la différence artério-veineuse en O₂ augmente

VO₂ du sportif de 60kg

	VES ml	FC mn	Q° ml/mn	Ca-Cv ml/100ml	V°O ₂ L/mn	V°O ₂ ml/kg/mn
Au repos	98,4	50	4920	6	0.295	4.91
A l'effort	131,2	200	26240	15	3.93	65.5

VO₂ de Miguel Indurain

6,762 L/mn pour 78kg



- Soit:
 $6762/78=86.692$ ml/mn/kg
- Presque 87 de VO₂max !!

Remarque « pratique » N°3

- Plus le niveau augmente:
 - Plus la consommation max d'O₂ augmente
 - Plus la fréquence cardiaque de repos baisse
 - Plus le sportif à un gros coeur

Résultats

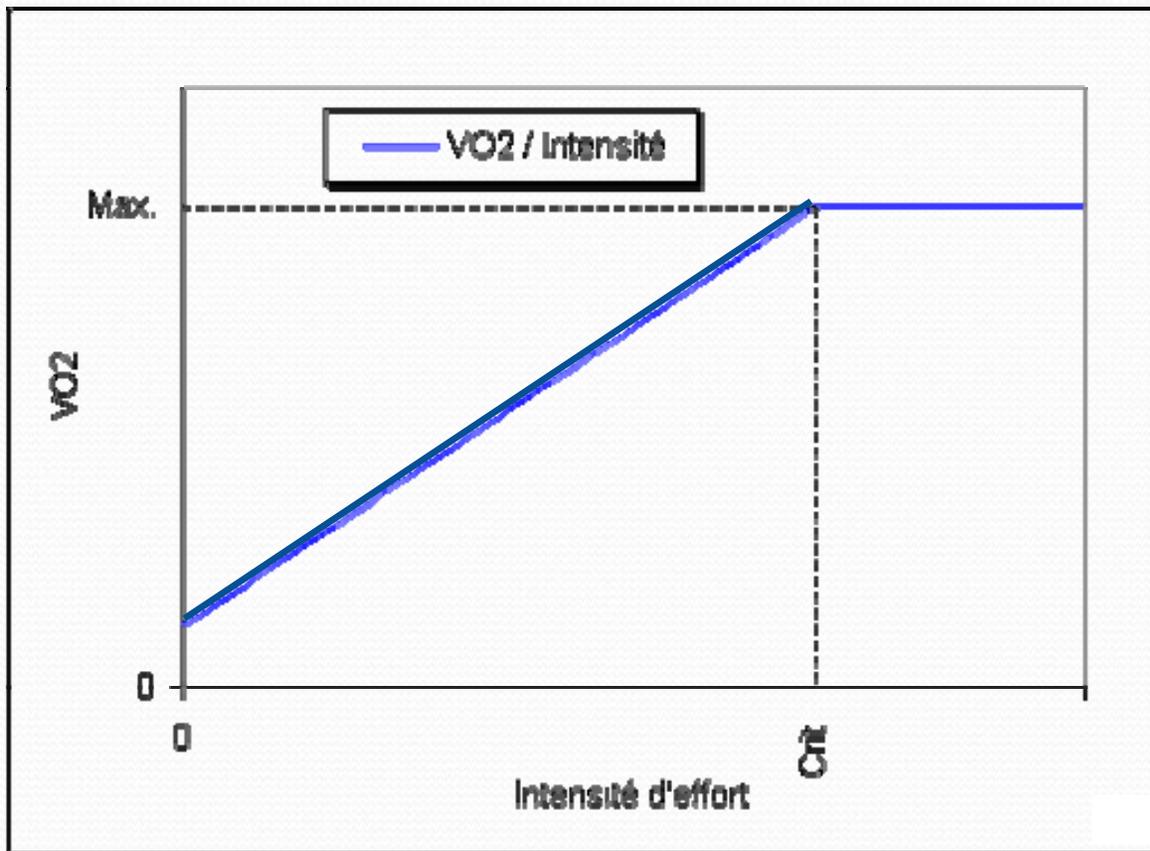
- Hommes
 - Sédentaires : 35 à 50 ml/kg/mn
 - Entraînés: 45 à 85 ml/kg/mn
- Femmes
 - Sédentaires: 25 à 40 ml/kg/mn
 - Entraînées: 40 à 75 ml/kg/mn
- Enfants
 - Jusqu'à 10 ans égal chez les garçons et les filles
 - Max:
 - 17 ans pour les garçons
 - 13 ans pour les filles

Remarque « pratique » N°4

- Entre 10 et 13 ans
 - Les programmes éducatifs au collège sont-ils bien adaptés pour les filles par rapport aux garçons?
 - Les programmation d'entraînement en club permettent-ils aux jeunes filles d'optimiser leur potentiel aérobie?

$$\dot{Q} = VES \times Fc$$
$$VO_2 = Fc \times \{VES \times (CaO_2 - CvO_2)\}$$

Consommation d'O₂ et effort

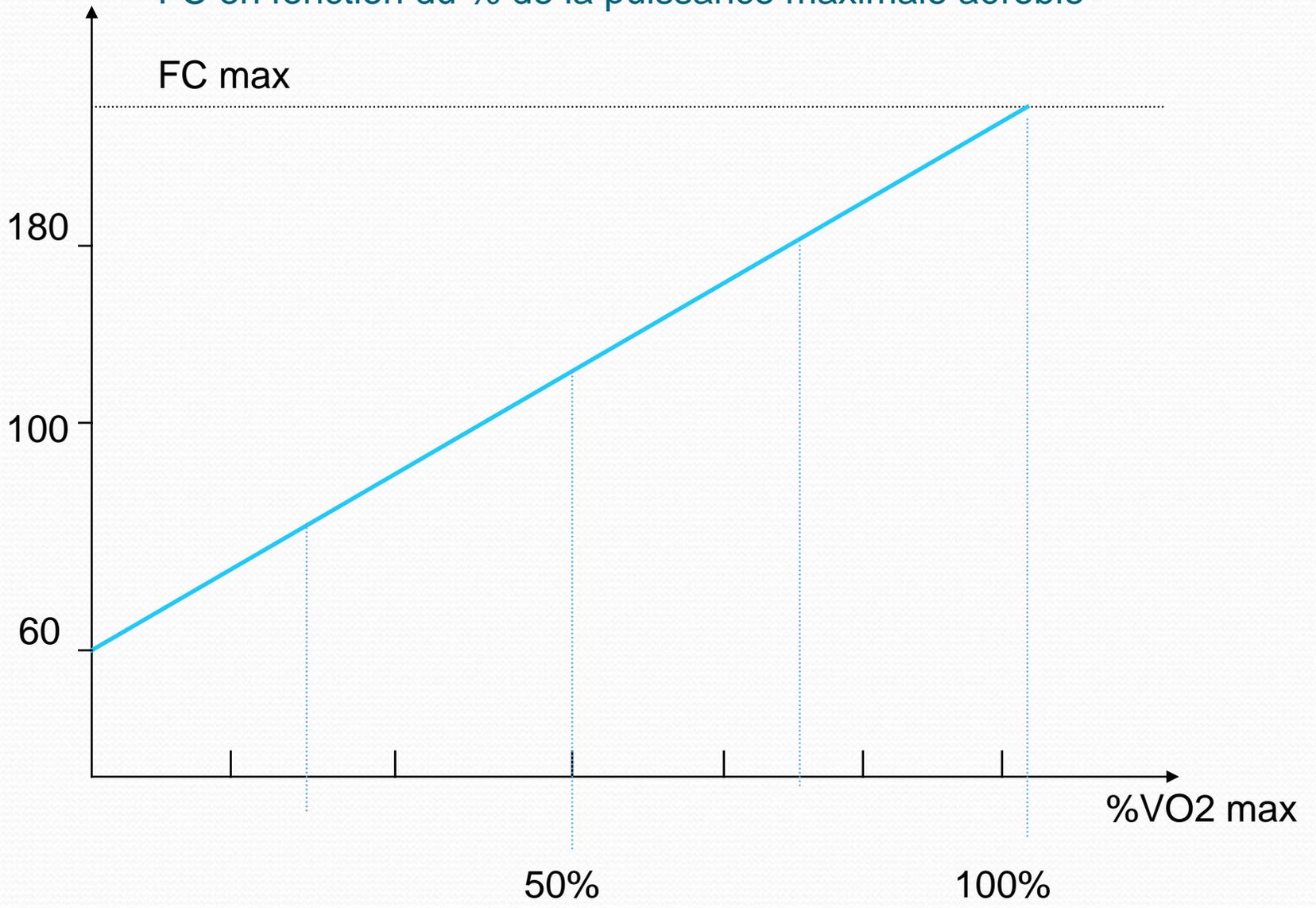


Variation de FC au cours de l'effort

- L'évolution de FC dépend de :
 - De la puissance imposée
 - Du niveau d'entraînement
- Elle évolue linéairement avec la puissance
 - La pente dépend du degré d'aptitude
 - Sauf si évaluée en puissance relative

FC en fonction du % de la puissance maximale aérobie

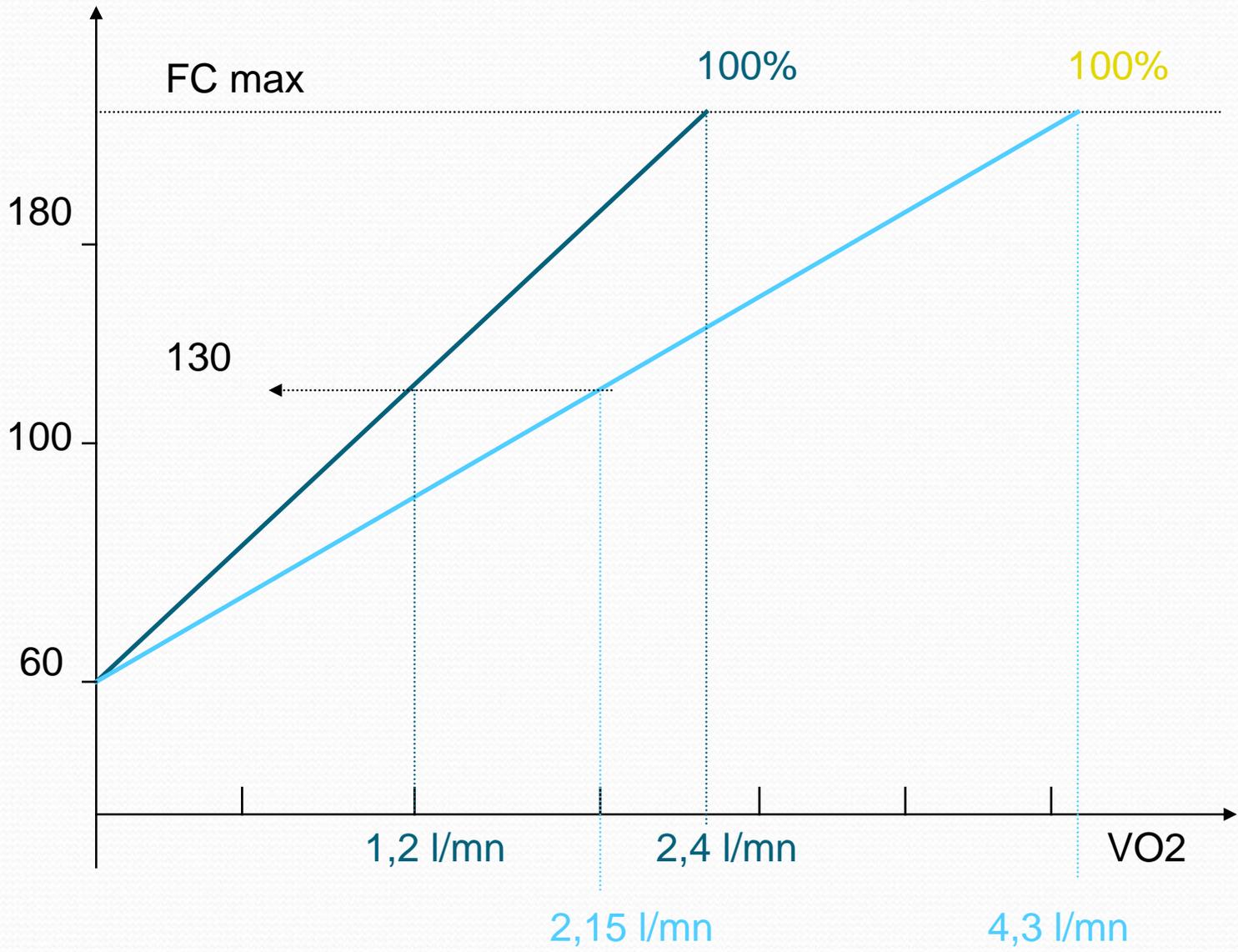
FC max



Remarque « pratique » N°5

- Sur le terrain:
 - La Fréquence cardiaque est un bon reflet de la VO_2
 - Le contrôle régulier du pouls est indispensable!!

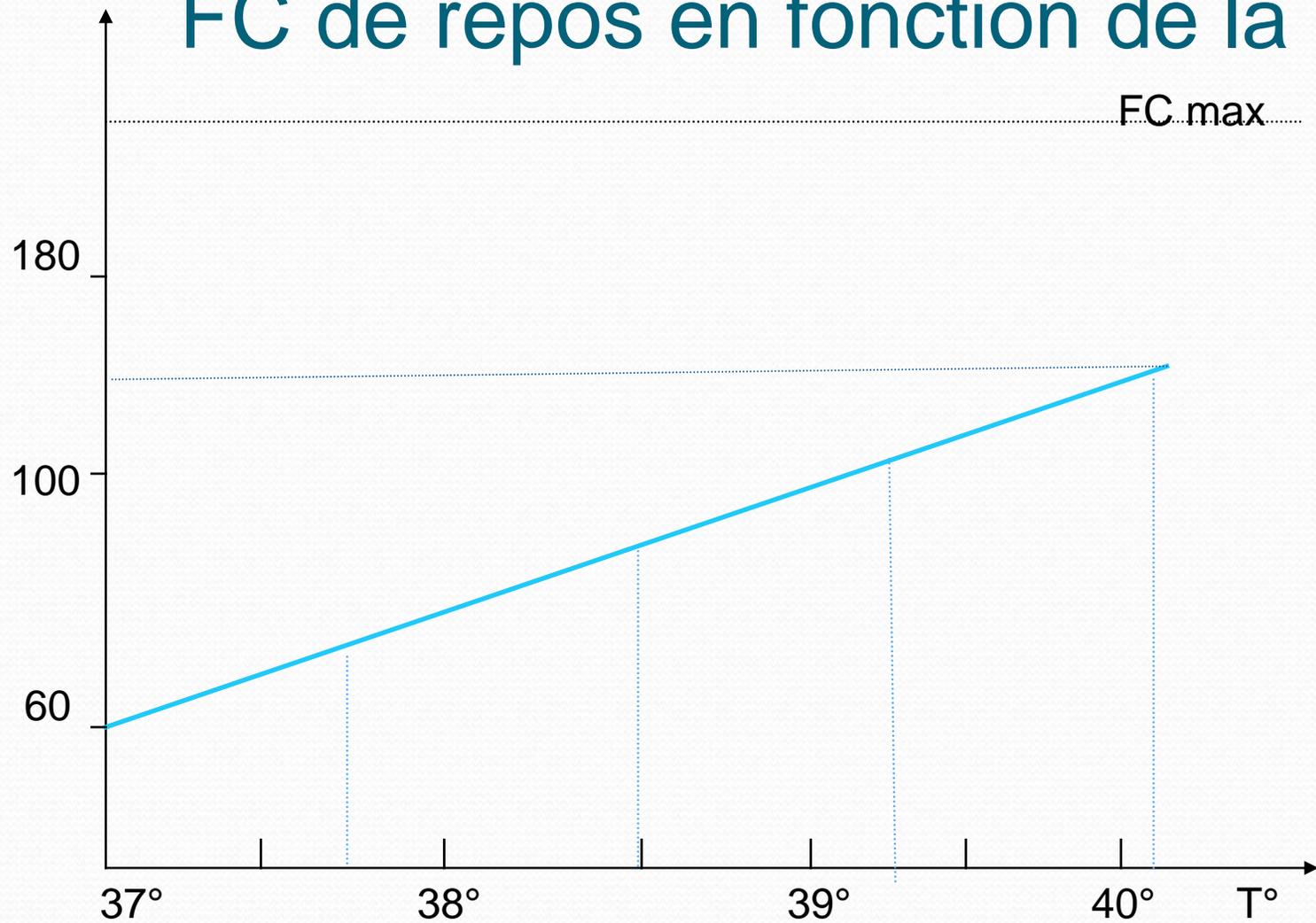
FC en fonction de la puissance chez 2 sujets d'aptitude différente



Variations de la FC

- Facteurs extérieurs
 - Tabac/Alcool/Drogues
 - Alimentation/hygiène de vie
 - Entraînement +++
- Facteurs pathologiques
 - Fièvre/Anémie
 - Dysfonction thyroïdienne/Diabète
 - Dénutrition/carences

FC de repos en fonction de la T°



Remarque « pratique » N°6

- Pas d'APS si T°
 - Le cœur augmente sa FC de repos, donc le débit!
 - L'O₂ est destiné aux organes infectés, pour produire de l'ATP et des anticorps, pour éliminer les déchets
 - Avec l'effort le virus peut être disséminé ailleurs dans l'organisme et les muscles (avec risque de myosite, myocardite et mort subite!!)

Remarque « pratique » N°7

- Récupération et sauna
 - Le cœur augmente sa FC de repos avec la T°
 - Le débit cardiaque augmente, sans travail musculaire (sans production de déchet supplémentaire)
 - L'élimination du CO₂ et de l'H₂O « usée » est favorisée

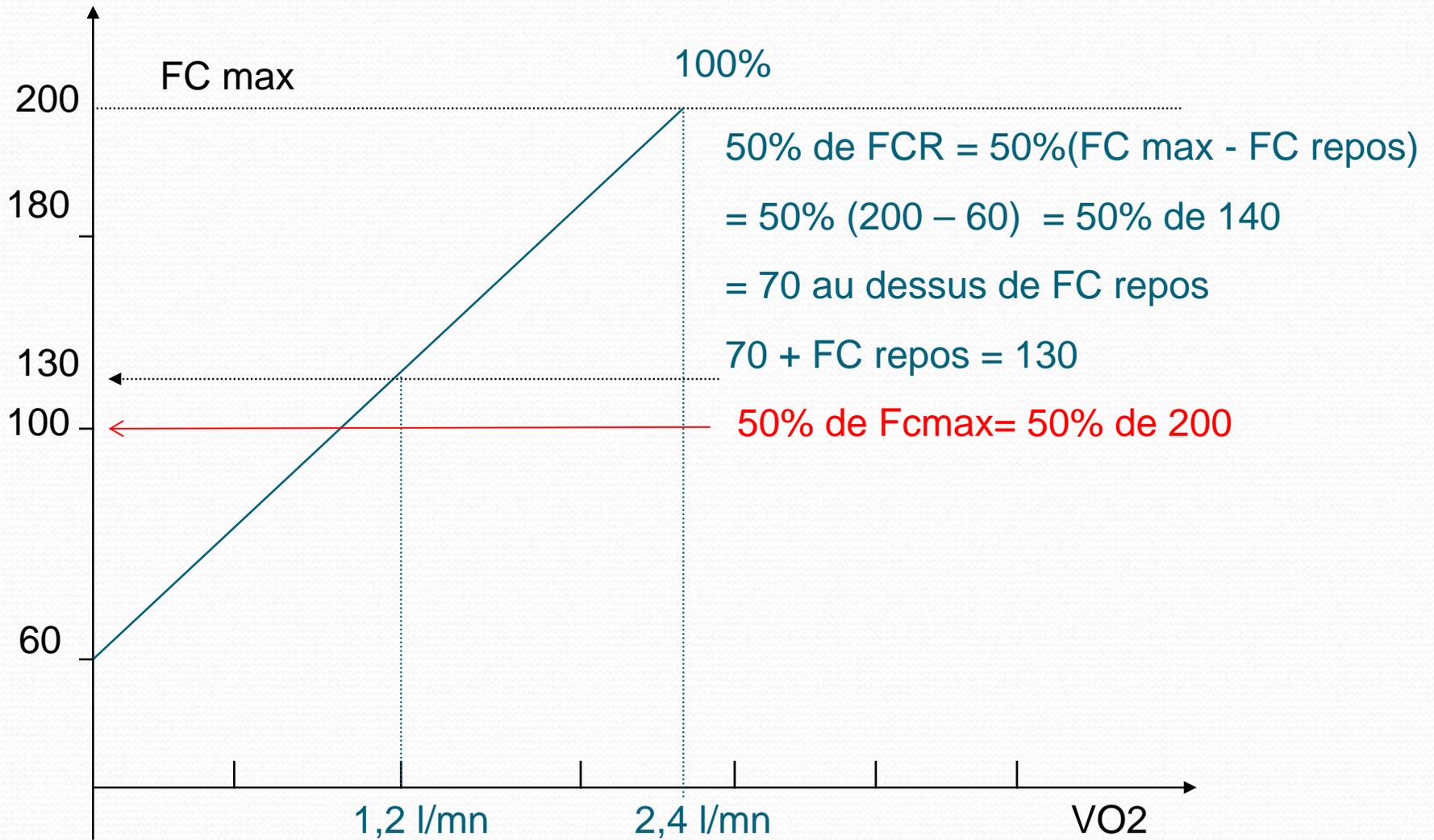
Remarques « pratique » N°8

- Récupération et footing
 - Le cœur augmente sa FC avec le footing
 - Le débit cardiaque augmente, avec travail musculaire modéré (sans production de déchet excessive)
 - L'élimination du CO₂ et de l'H₂O « usée » est favorisée

Variation de FC max

- Diminution de FC max avec l'âge
- $FC \text{ max} = 220 - \text{âge}$ (sédentaire)
- $FC \text{ max} = 210 - (60\% \text{ de l'âge}) \pm 10$ (sportif)
- $FC \text{ de réserve} = FC \text{ max} - FC \text{ de repos}$
- Variable selon l'ergomètre utilisé

Intensité de travail en fonction de la Fréquence cardiaque



Remarques « pratique » N°9

- Programme d'entraînement
 - L'intensité proposée pour une séance est en % de Fc de réserve
 - Les programmes en fonction du % de la Fc max sont faux!

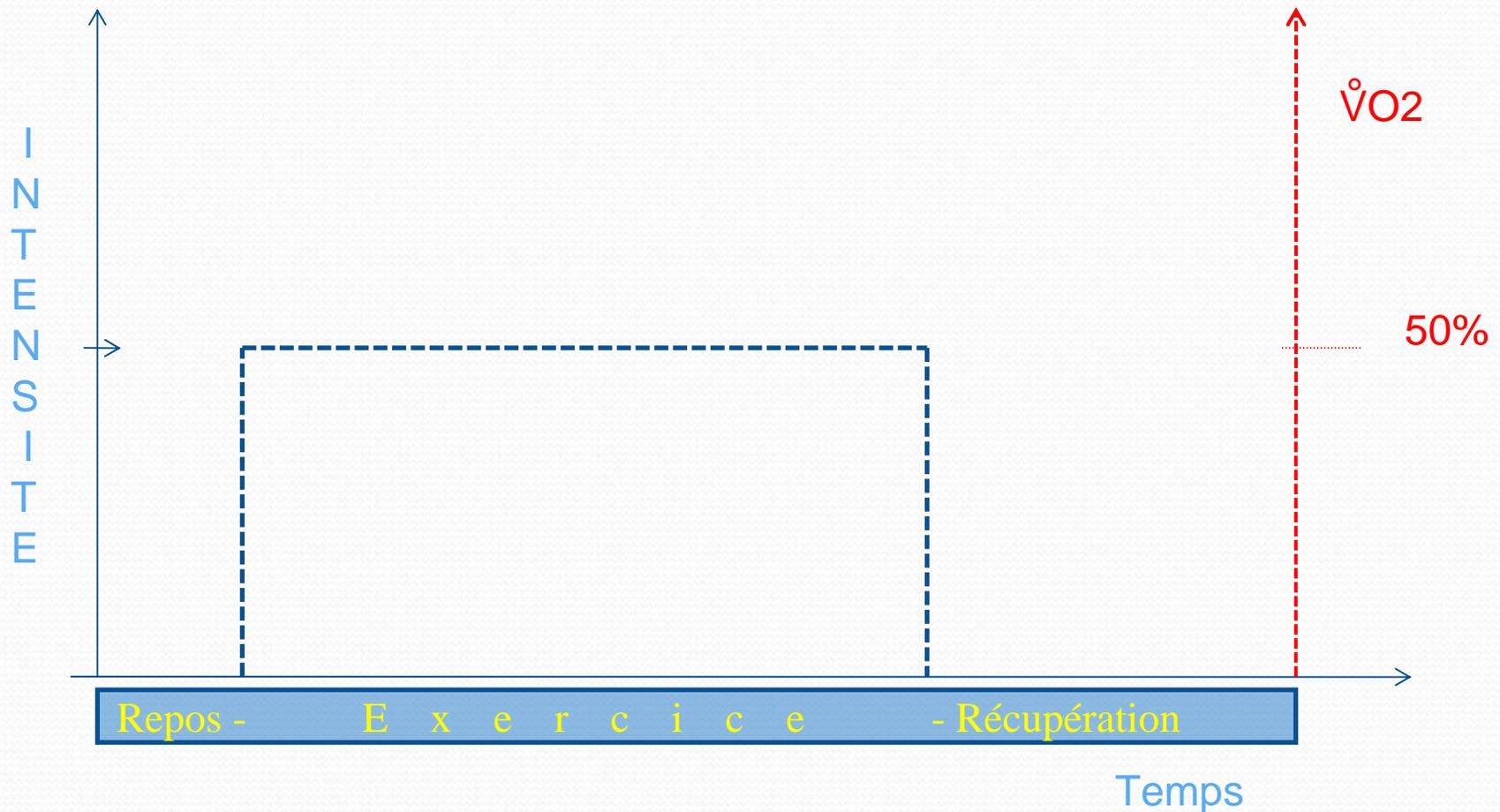
Variation du potentiel aérobie

- Hérité : 25 à 50% selon les études
- Age: Baisse de 0,7%/an après 30 ans
- Le sexe: 25% inférieure chez les femmes
- L'entraînabilité : variation de 0 à 40%
- L'entraînement: spécificité

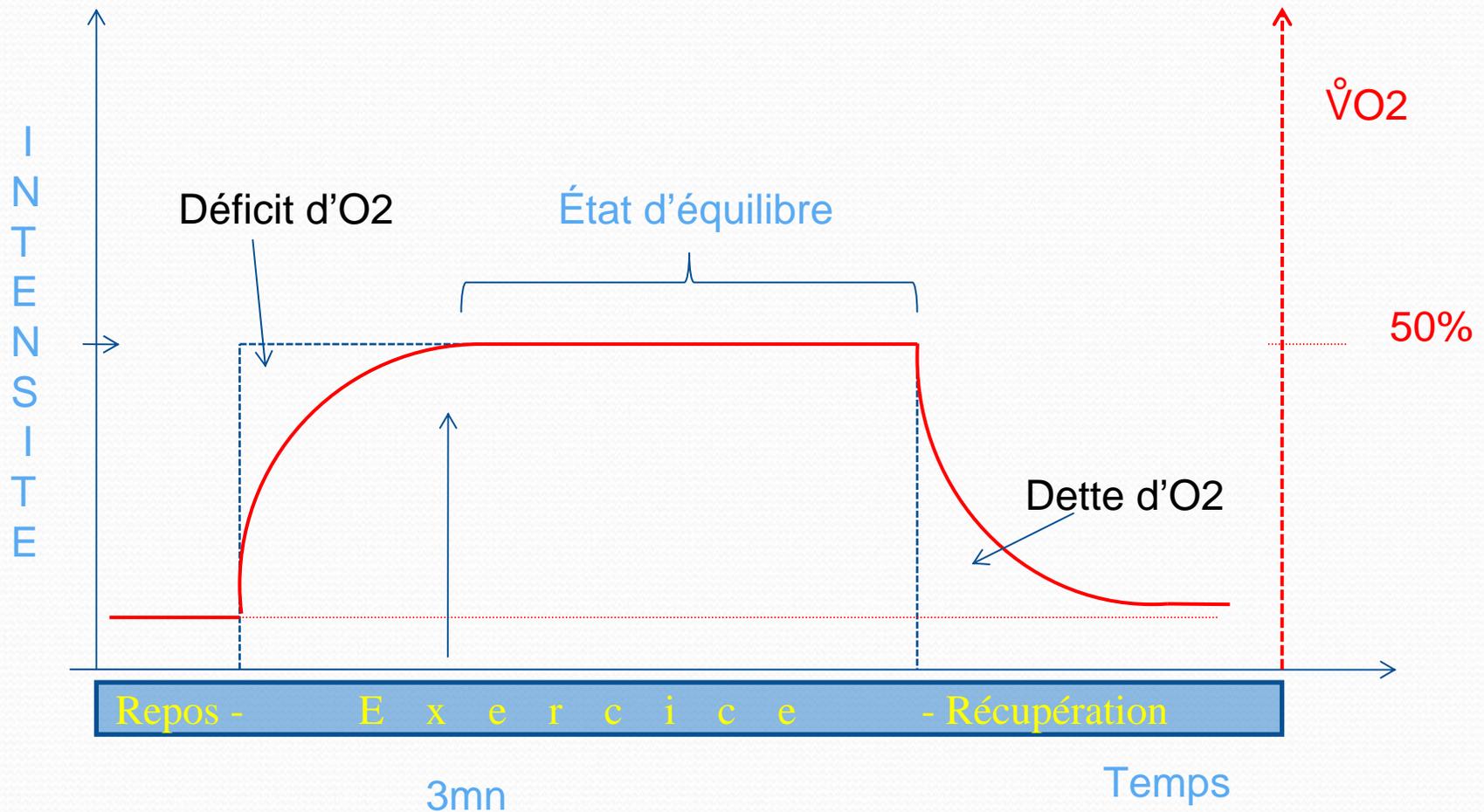
Evolution de la VO₂ avec l'exercice

- Rectangulaire: Intensité constante
 - VO₂ augmente progressivement
 - Constitution du déficit en O₂
 - Utilisation des réserves d'O₂ sur la myoglobine
 - Utilisation d'ATP et de CP
 - Stabilité: Plateau d'équilibre
 - Couverture des besoins énergétiques
 - Niveau du plateau proportionnel à l'intensité
 - Récupération
 - Progressive en trois phases

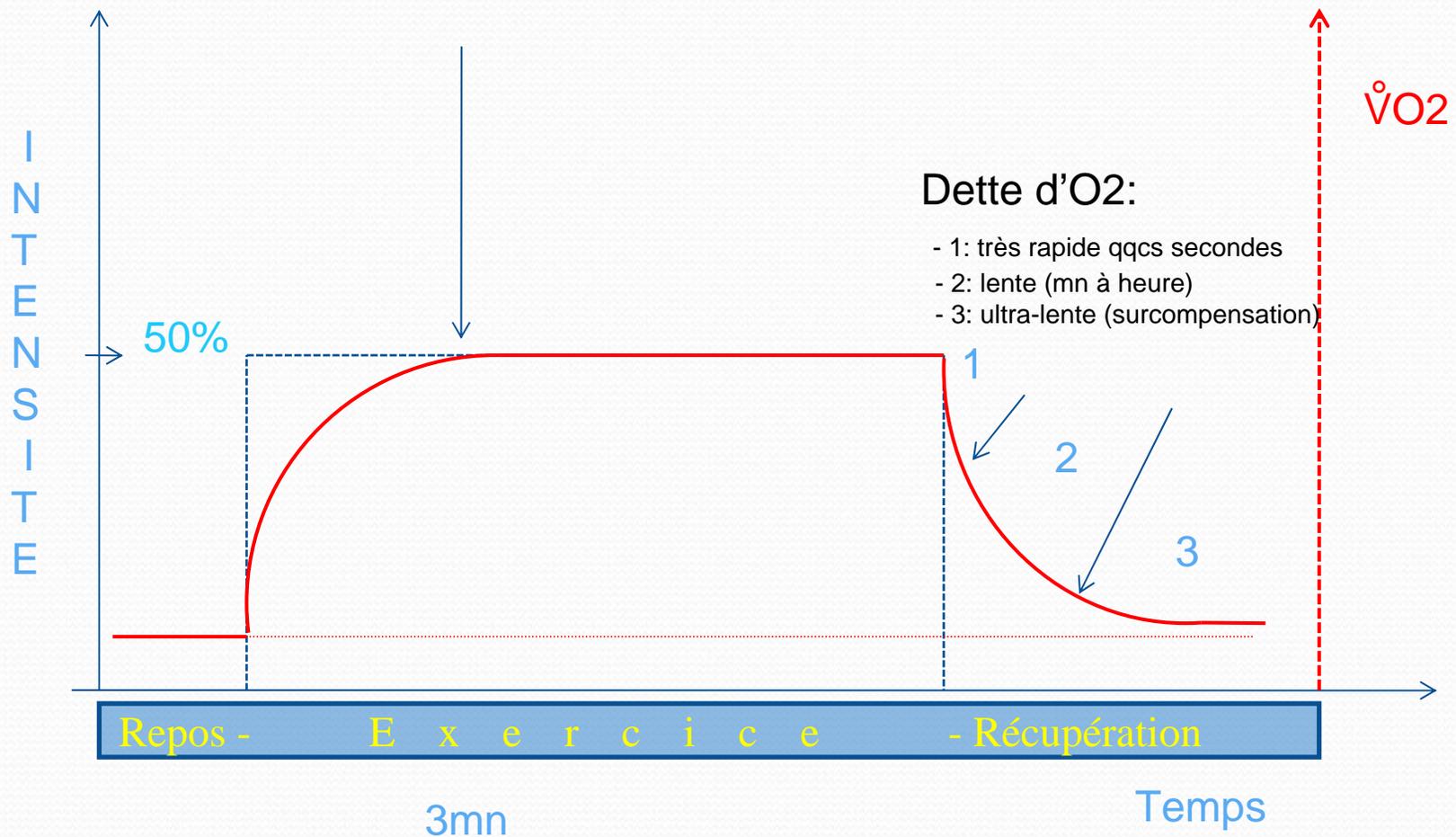
Exercice rectangulaire modéré



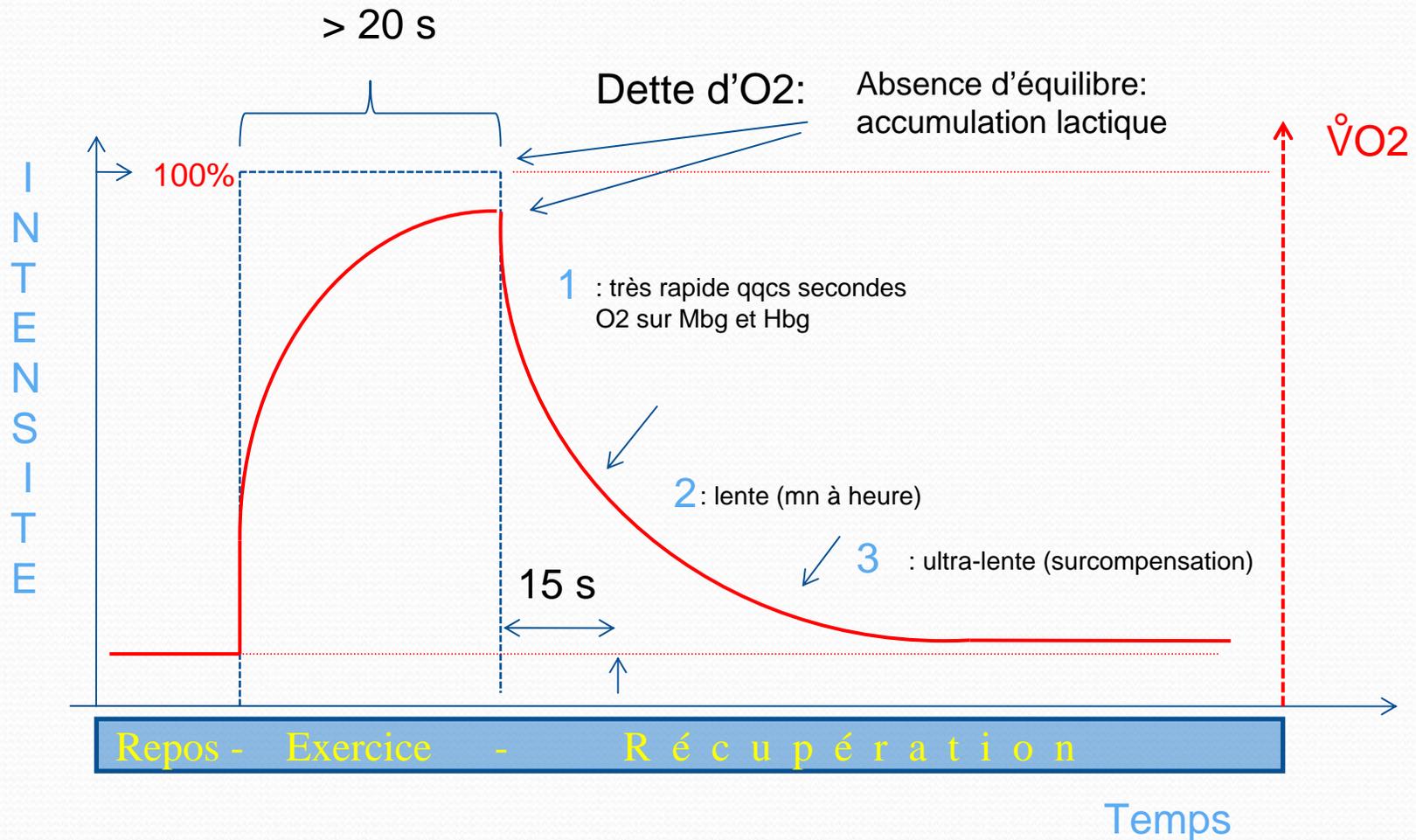
Exercice rectangulaire modéré



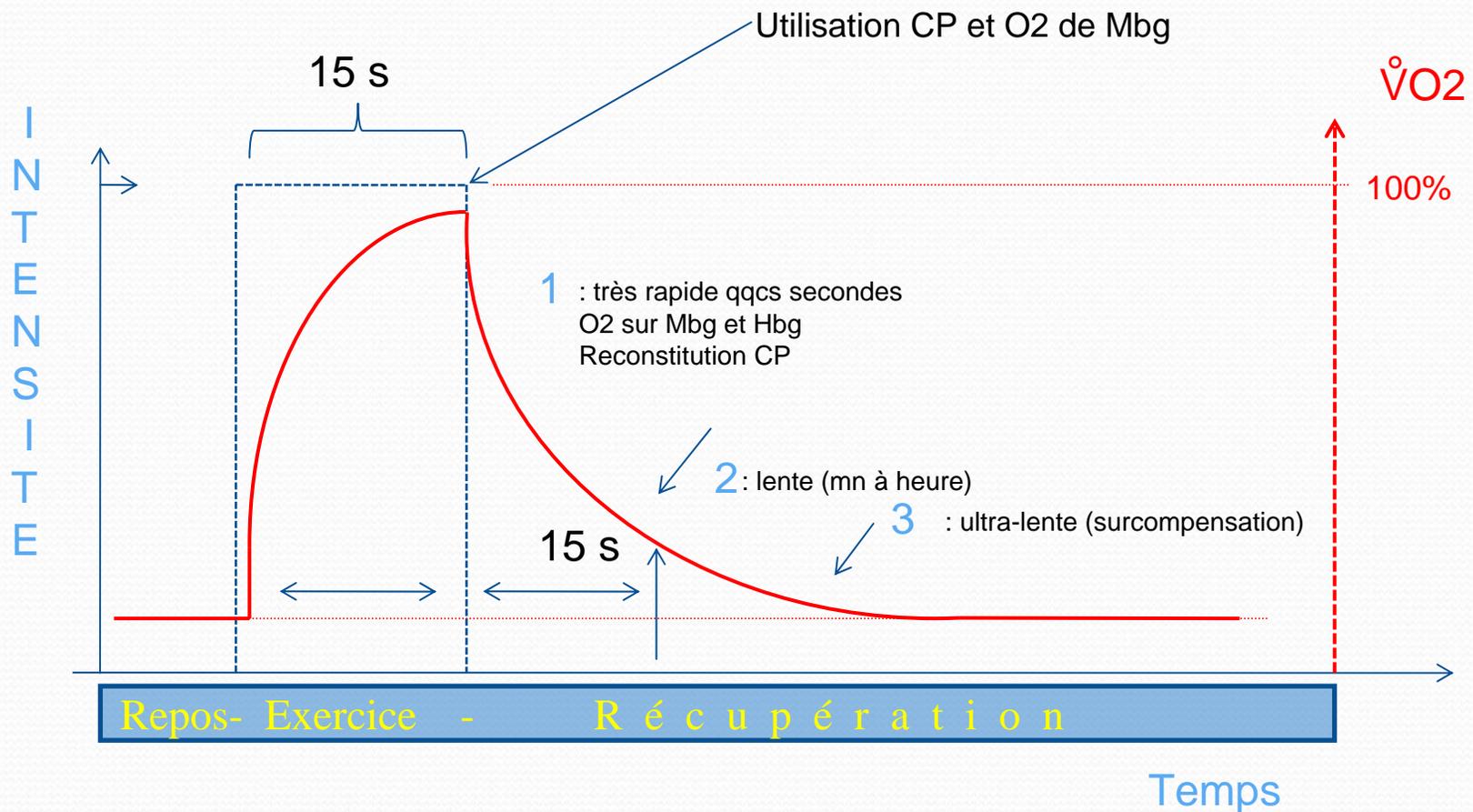
Exercice rectangulaire modéré



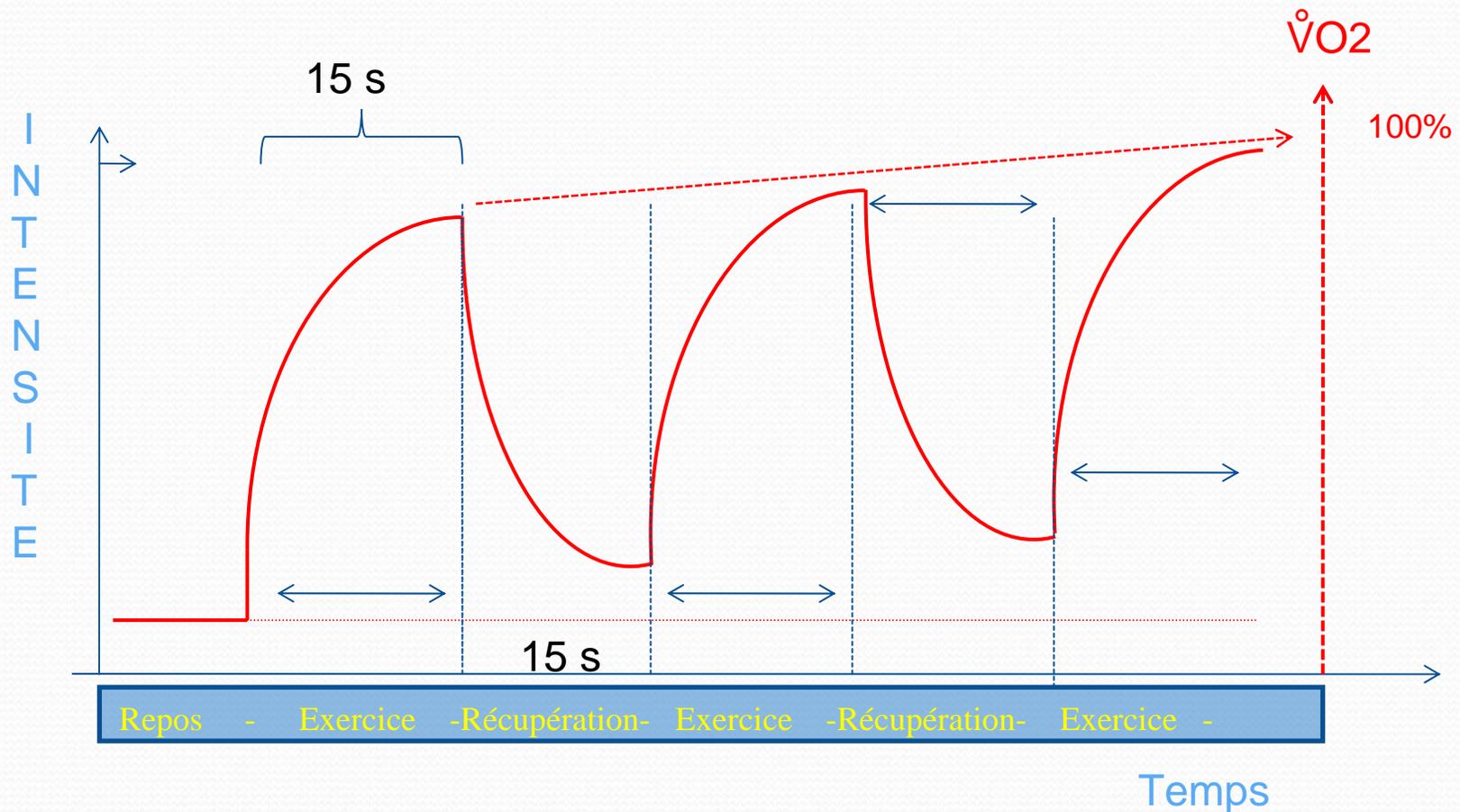
Exercice rectangulaire intense



Exercice rectangulaire intense



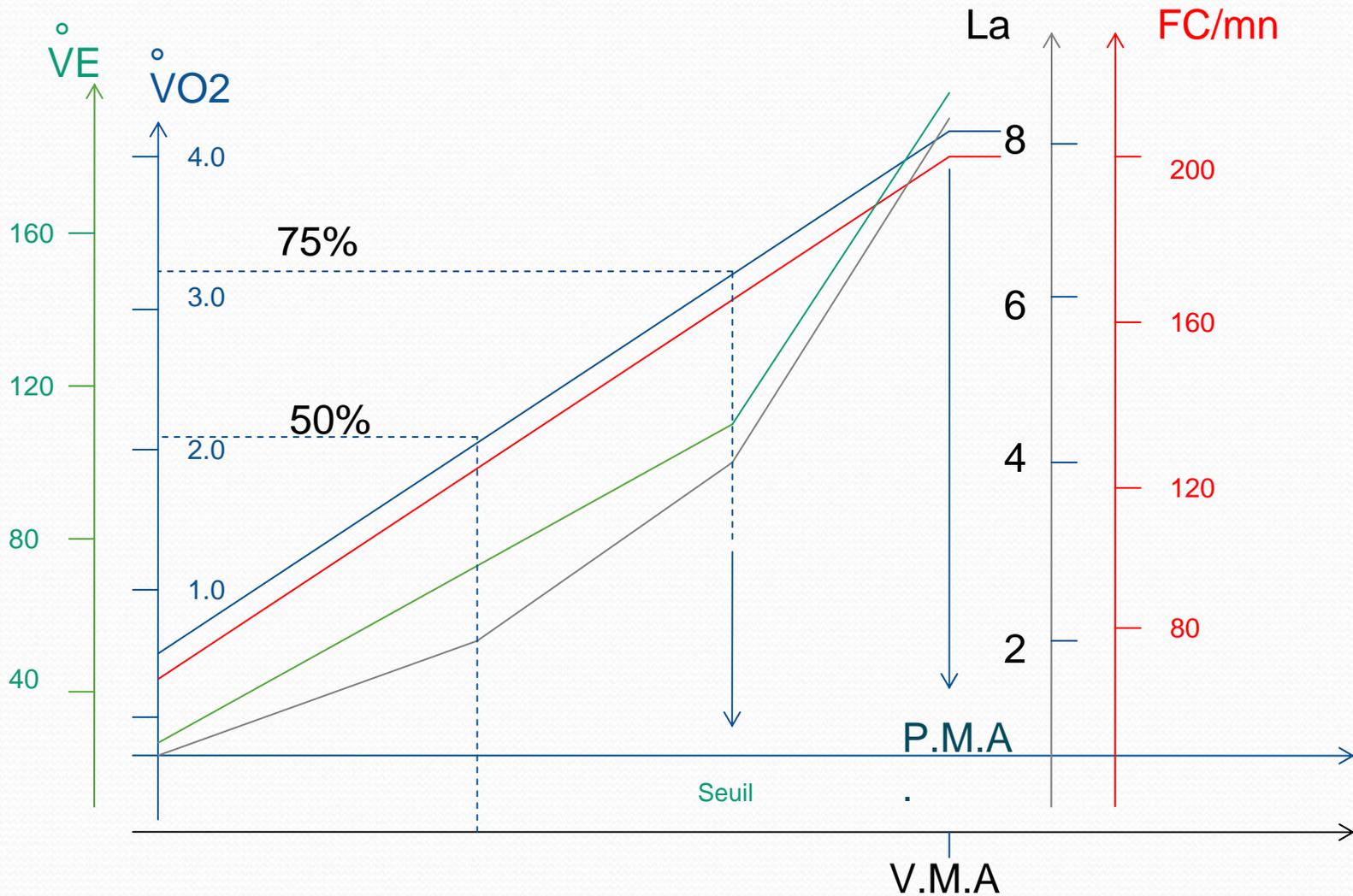
Exercice rectangulaire intense



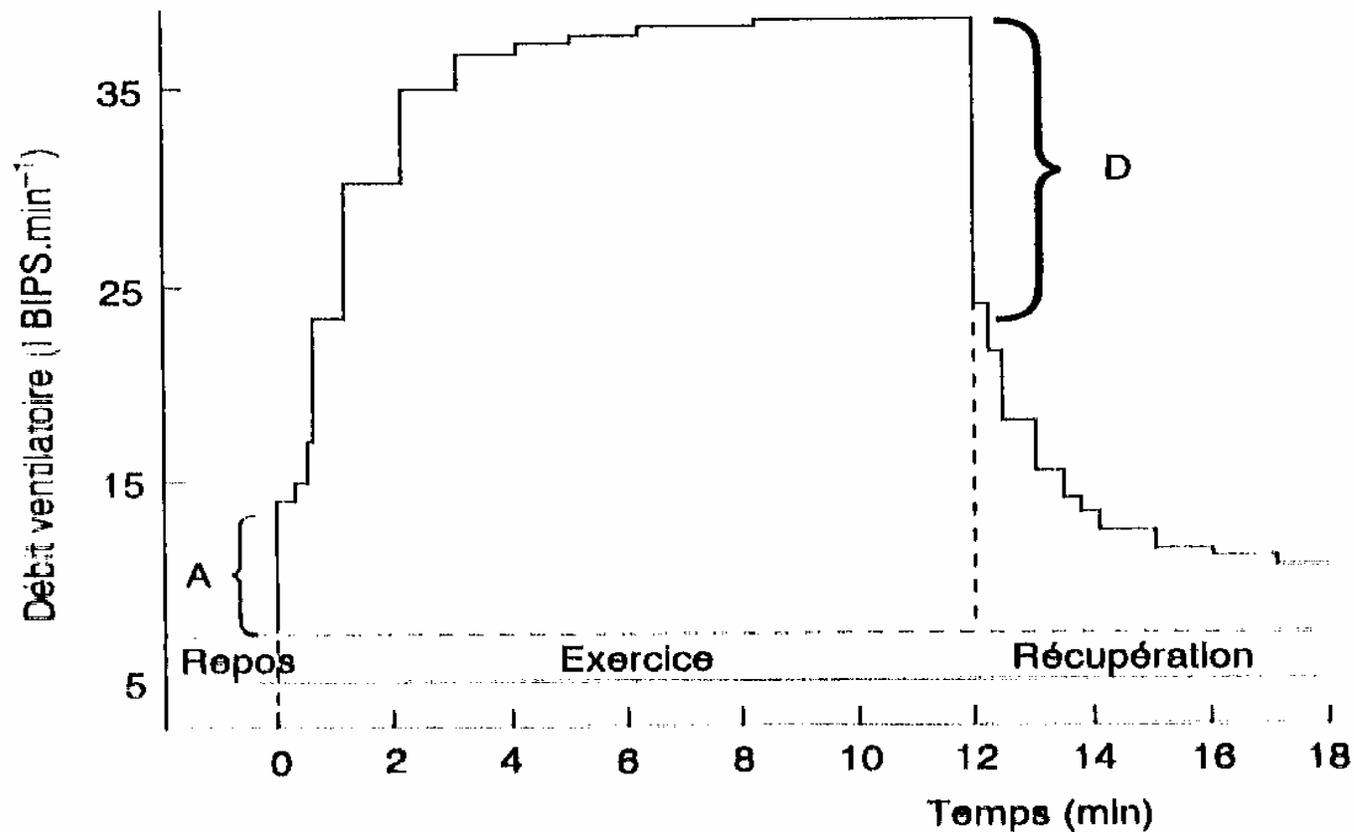
Evolution de la VO₂ avec l'exercice

- Triangulaire: Intensité croissante
 - VO₂ augmente par pallier
 - Stabilité:
 - Plateau d'équilibre est à VO₂max
 - PMA est à VO₂max
 - VMA est à VO₂max
 - FC max est à VO₂max
 - Récupération
 - Progressive en trois phases

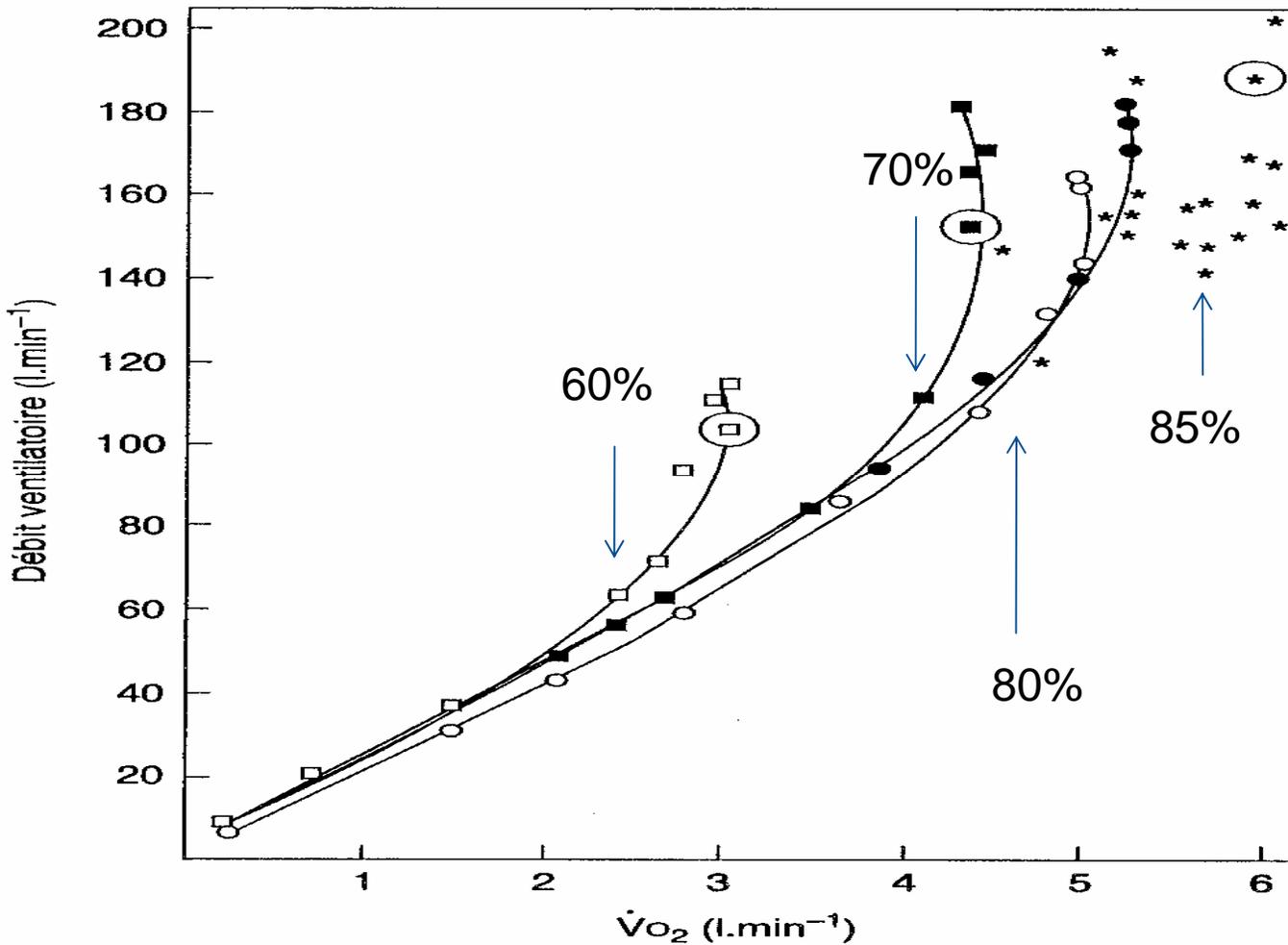
VO₂/VE/La(s)/FC



Evolution de la ventilation (VE)



Débit ventilatoire en fonction de la $\dot{V}O_2$ max



Notions d'entraînement aérobie

Endurance cardio-vasculaire/musculaire

Capacité

Puissance

L'endurance musculaire

- Qualité permettant de maintenir la plus grande vitesse sur la plus grande distance=Endurance « vitesse »
- Endurance musculaire =capacité d'un muscle ou d'un groupes musculaires à maintenir une haute intensité lors d'exercices statiques ou dynamiques
- Cette endurance est corrélée à la force musculaire et au développement de ses aptitudes anaérobies
- La durée de l'épreuve est limité à moins de 2 mn

L'endurance cardio-respiratoire

- Aptitude plus générale
- Aptitude à poursuivre des exercices continus ou intermittents
- Exercices prolongés à allure soutenue et modérée
- Permet de développer les aptitudes aérobies

Le développement aérobie est essentiel pour toutes les activités

- À caractère intermittent comme le foot ou le basket
- À intensité modérée comme le golf
- À durée prolongée comme la course à pied, le cyclisme, la natation... comme la vie!!
- Il est primordial pour améliorer la récupération

Capacité et puissance aérobie

- Approche physiologique
 - Quantité ou volume exprimé à partir d'une puissance
 - « Une bouteille que l'on remplit au robinet »
 - La bouteille est la capacité, le robinet donne par son débit la puissance
- Approche du terrain
 - Travail en « capacité »: gros volume, nombreux km
 - La puissance est une estimation de l'intensité
 - La capacité aérobie se travaille autour du seuil
 - La puissance aérobie se situe autour de la V.M.A.

Capacité et puissance

- En course:
 - La puissance serait la vitesse
 - La capacité serait le temps pendant le quel la vitesse est maintenue
 - Capacité et puissance sont donc indissociables
 - À chaque vitesse correspond une durée
 - À V.M.A. la capacité pour un sujet entraîné peut atteindre 6mn au pire chez l'enfant elle est de 2mn.

Terminologie commune

Energétique	Filière aérobie						Anaérobie
Zones	Bleu	Vert			Orange	Rouge	
Année 1970	Endurance					Résistance	
Terrain	Capacité aérobie			Puissance aérobie		Capacité lactique	Puissance lactique
	endurance	Résistance douce		Résistance dure			
Temps référent		2h04mn		27mn45		3mn20''	
Vitesse (km/h)	7 à 15	9 à 20		12 à 22		15 à 25	
Distances	Raids	Marathon	15 km	10 km	3000m	2000m	1500
Temps max	X heures	4h	2h	1h	30mn	7mn	5mn et -
Fc % max	50%	70%	85%	90%		100% max	
% V.M.A.	50%	70%	75%	85%	90%	95%	100% 105%
Footing	lent	moyen		rapide		Intervalle	fractionné

Critique des tests de terrain

Cooper

1/2 Cooper

Luc Léger/ VAMéval

Brue

Navettes

Cooper et 1/2 Cooper

- 12 mn ?
 - Équilibre VO₂ pour une intensité donnée en 3mn
 - Régularité de la course (souvent trop rapide au début)
 - Aucun paramètre de contrôle
 - T limite à VO₂max de 3 à 7mn selon l'entraînement
- 1/2 Cooper
 - 6mn (trop fort pour 3mn, trop faible pour 7mn)
 - Même reproche que Cooper: Problème de rythme

Luc Léger /VAM éval

- Luc léger:
 - Incrément de 1km/h /2mn
 - Plots 50m, piste, « cassette »
 - Pas d'éléments de contrôle
- VAM éval:
 - Incrément de 0,5km/h /1mn
 - Logistique idem (plots tous les 20m)
 - Pas d'éléments de contrôle

1/4 de cooper!!!

- 3 mn
- Mieux pour des débutants
- Piste de 200m, 4 balises (1/50 m)
- 3 ou 4 tests avec récup complète entre deux (5mn)
- Moyenne de tests pour VMA
- Le nombre de balises= la VMA
 - $1\text{km/h} = 1000\text{m}/60\text{mn} = 100\text{m}/6\text{mn} = 50\text{m}/3\text{mn}$
 - Contrôle du pouls à l'arrivée sur 6'' (x10)

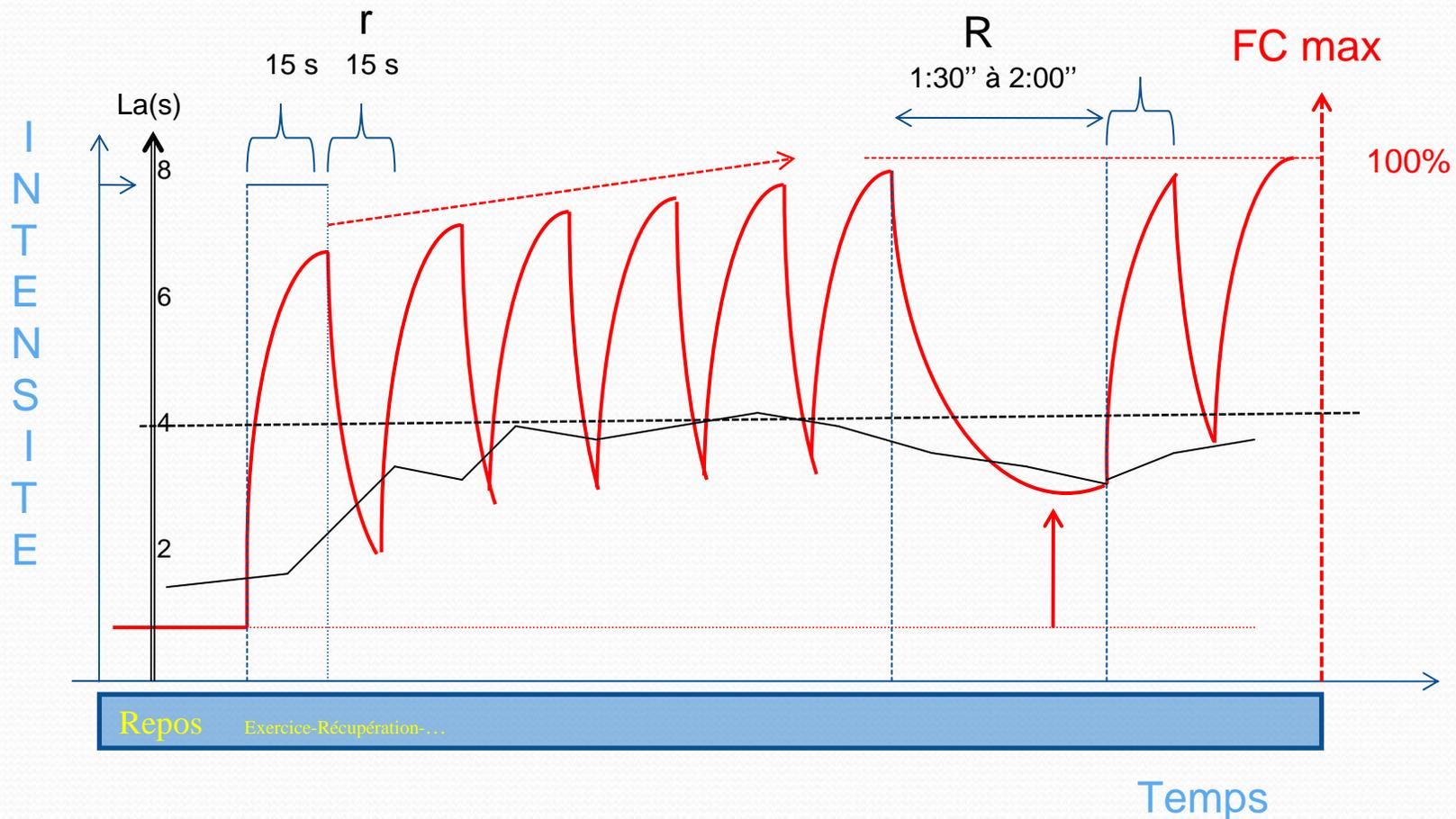
En pratique!!!

Type de séances

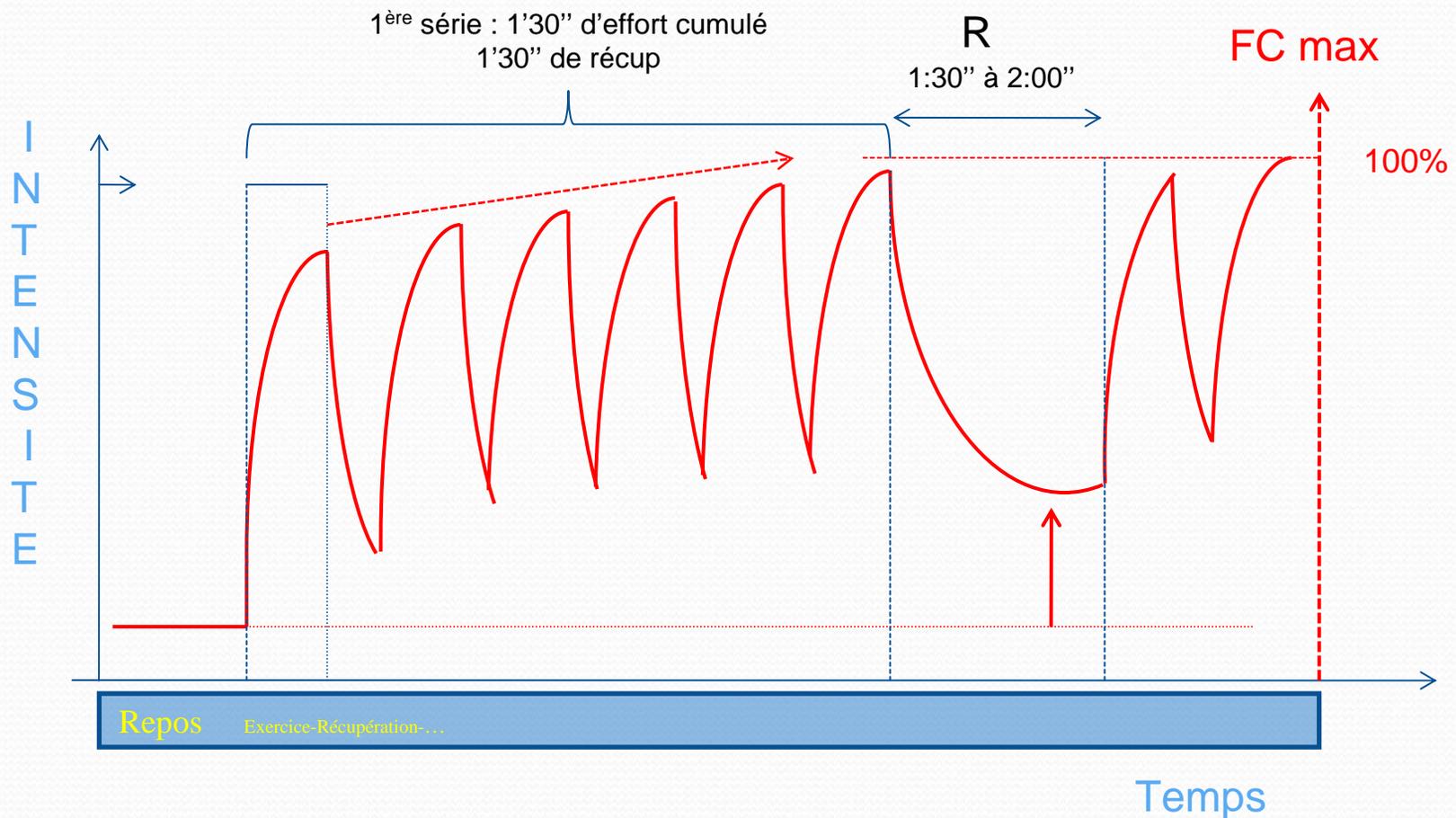
Du 15''/15'' au 7mn

Développement aérobie

Exercice de 15"/15" à VMA



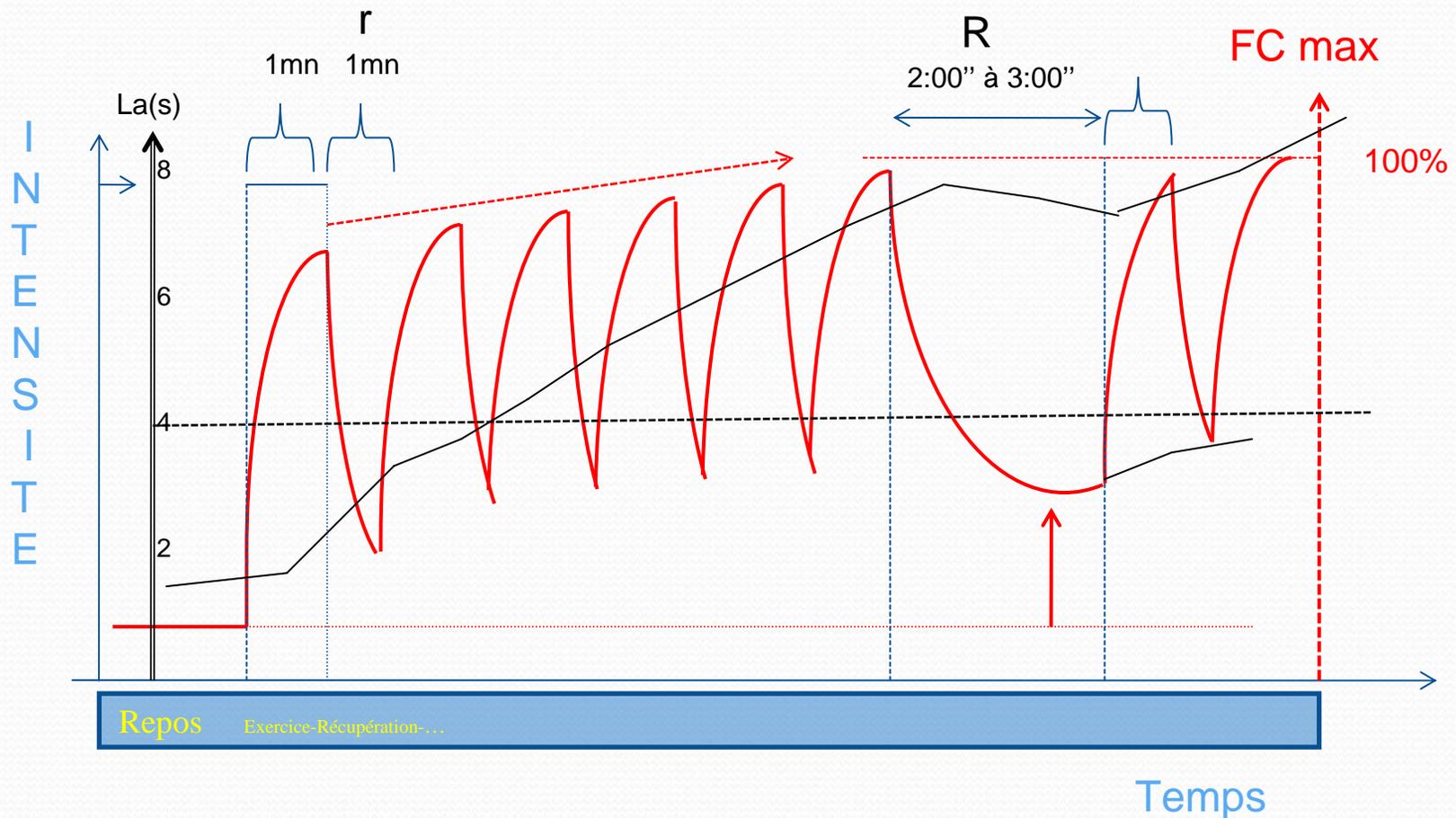
Exercice de 15"/15" à VMA



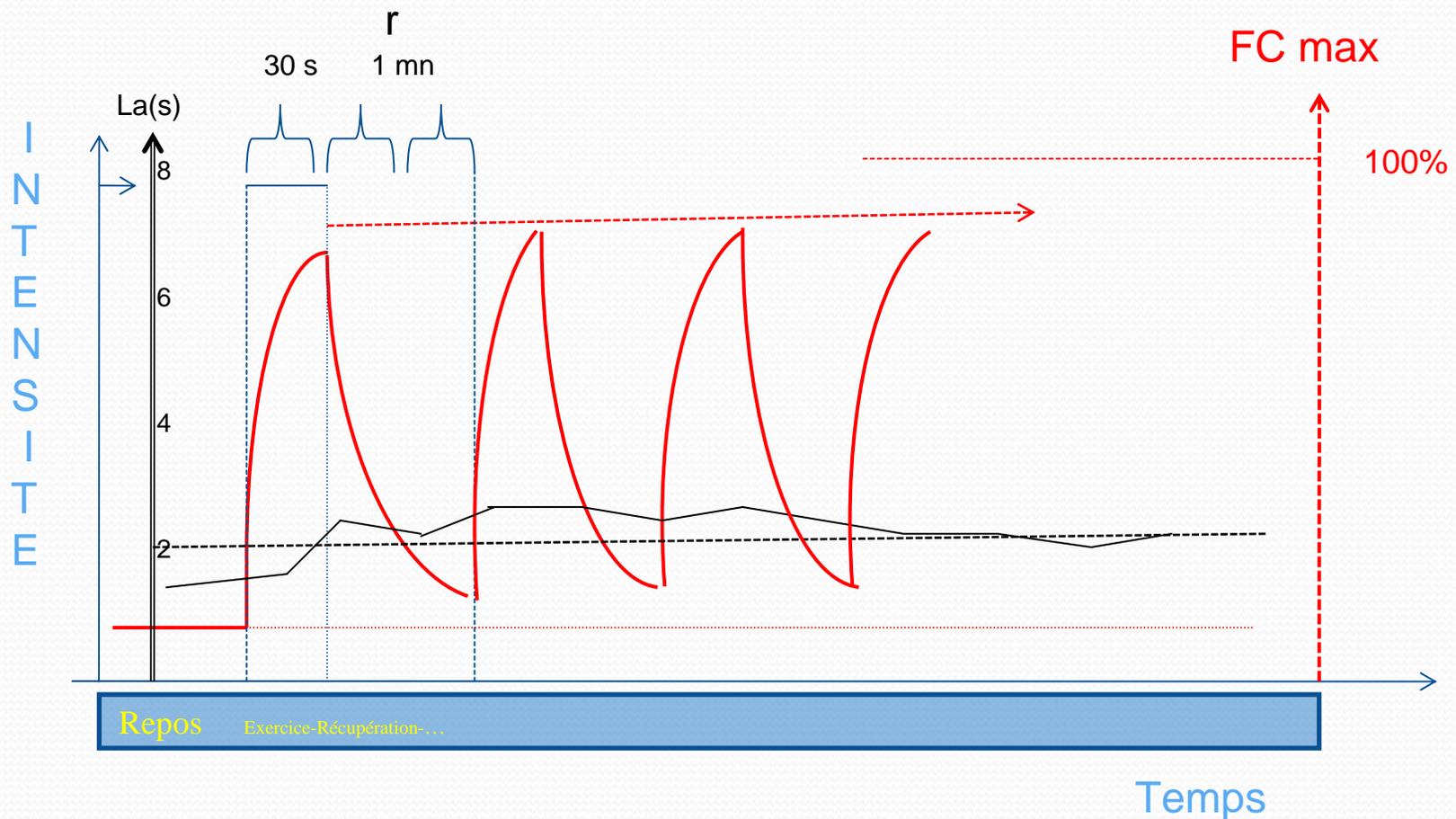
15''/15'' à la carte

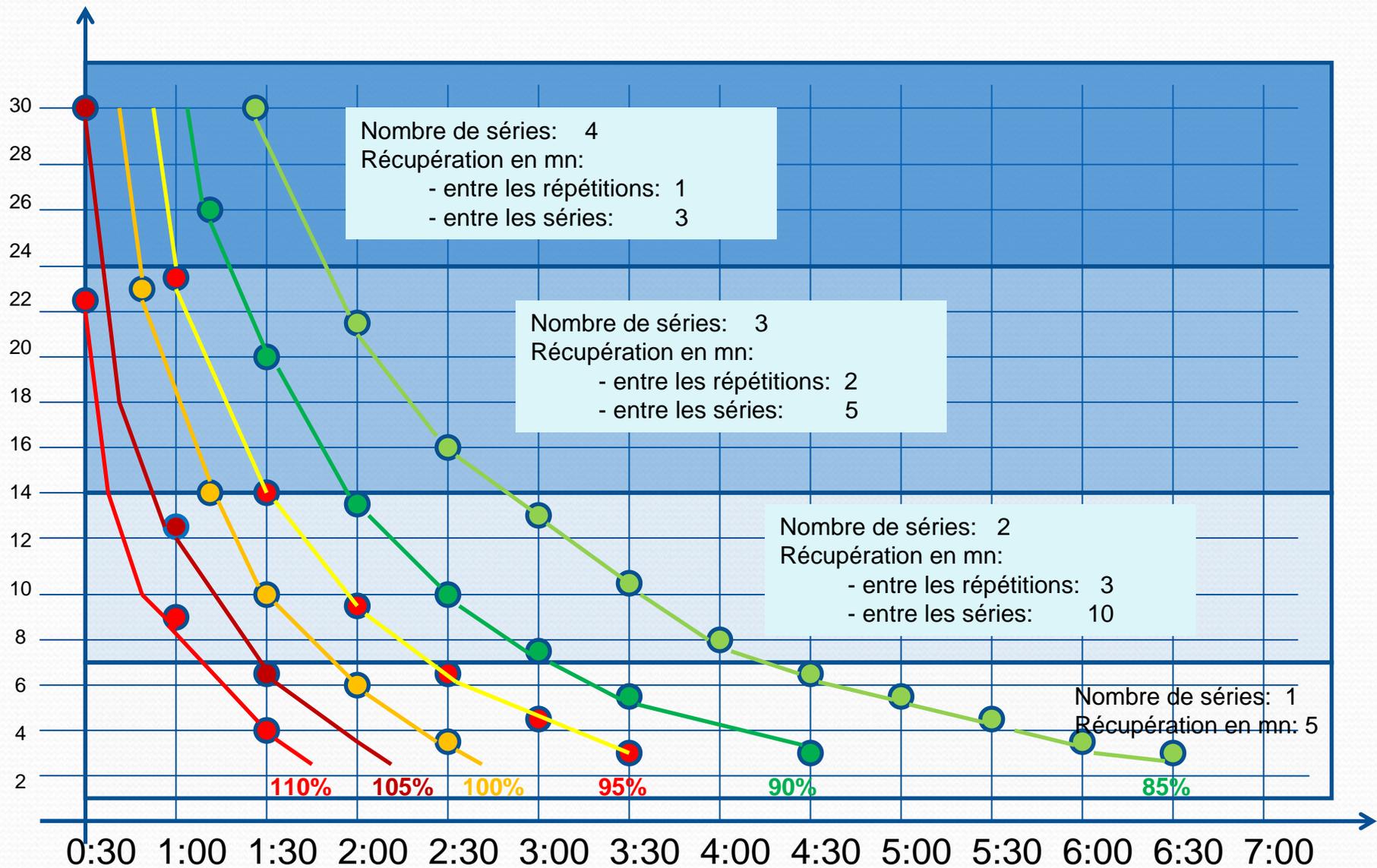
- 2 séries de 6 répétitions
 - 3'00'' d'effort cumulé
 - = développement capacité et puissance aérobie débutant
 - = séance de récupération et d'oxygénation pour un sprinter
- 4 séries de 8 répétitions
 - 8'00'' d'effort cumulé
 - = développement capacité et puissance aérobie confirmé

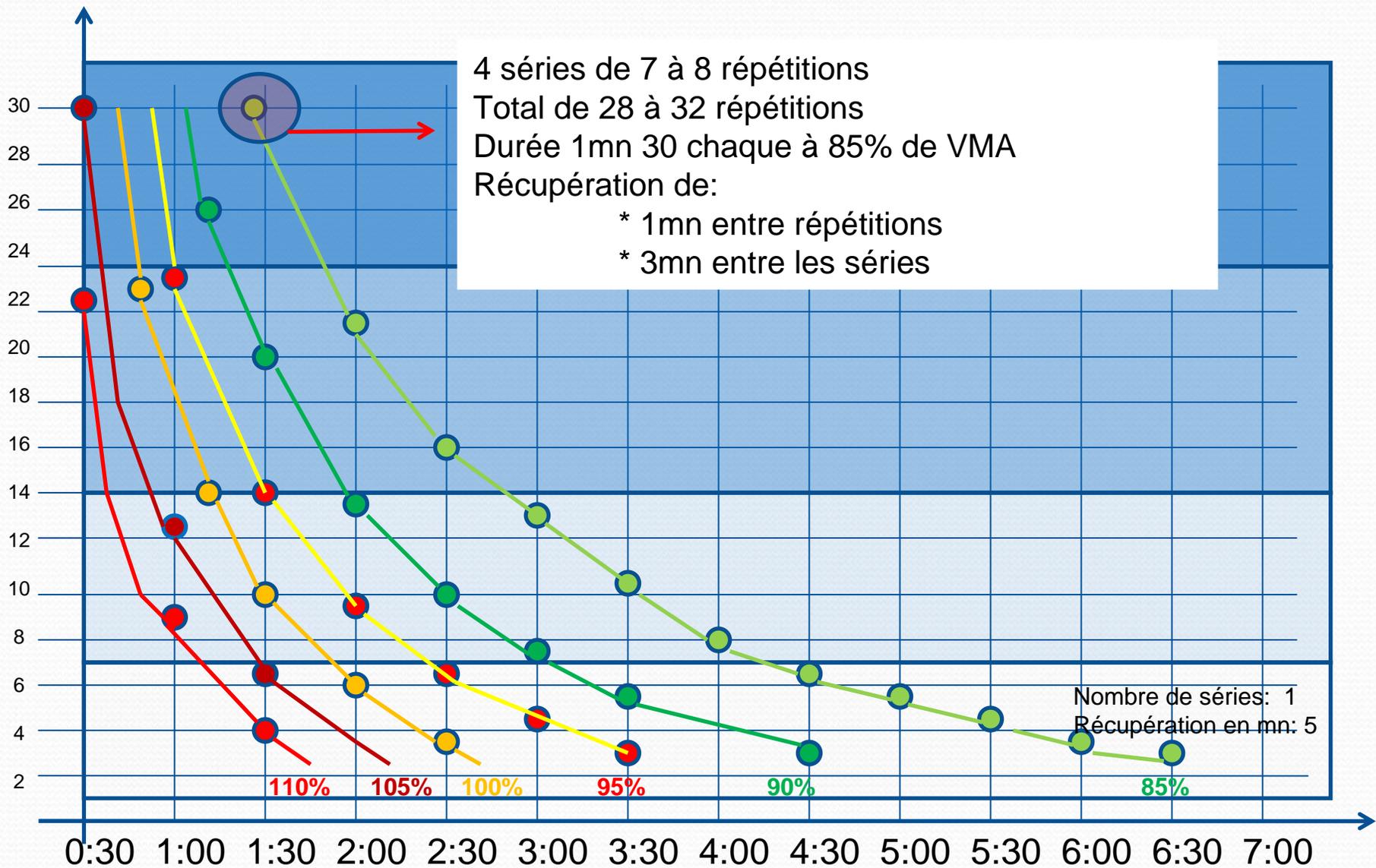
Exercice de 1'/1' à VMA

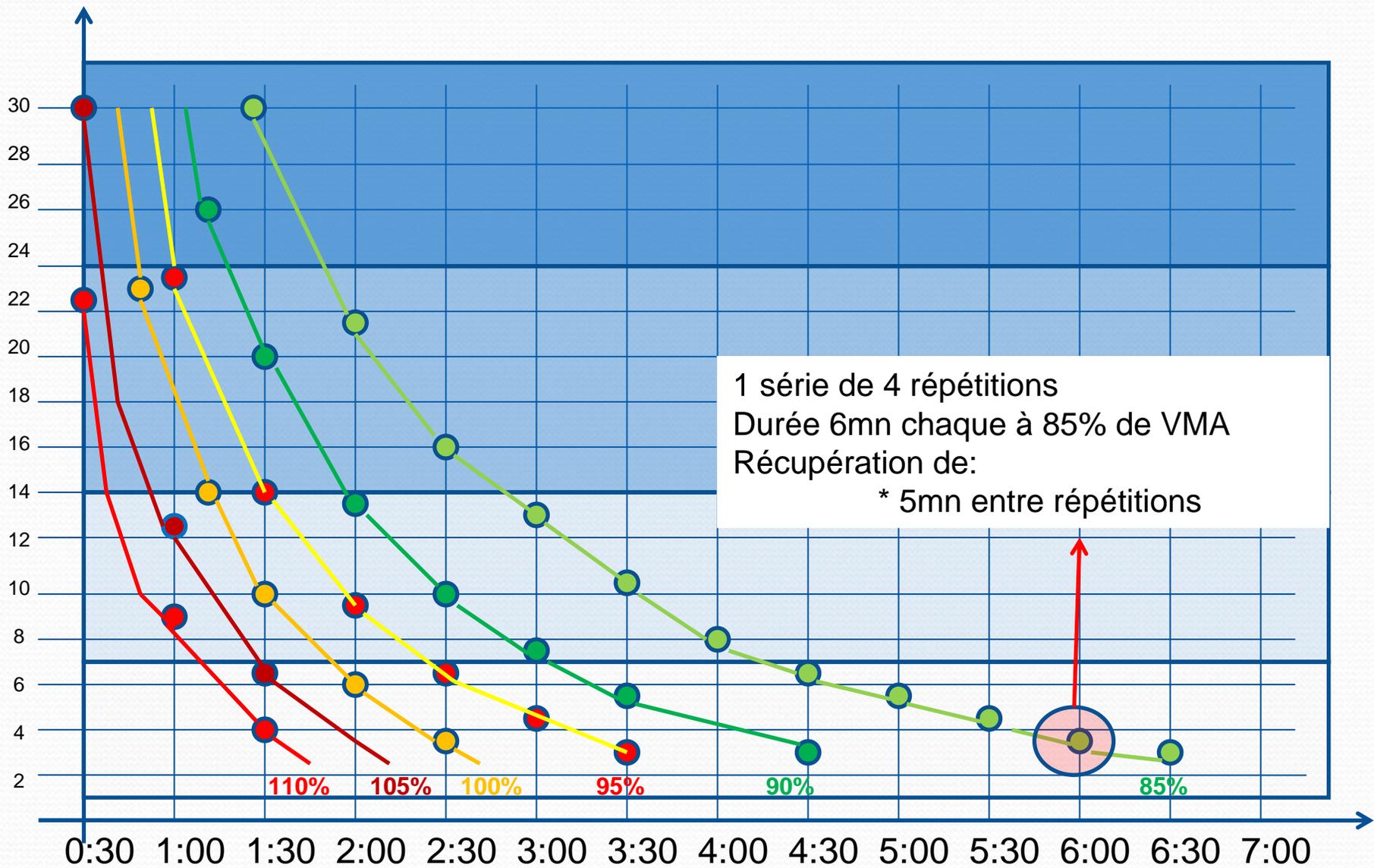


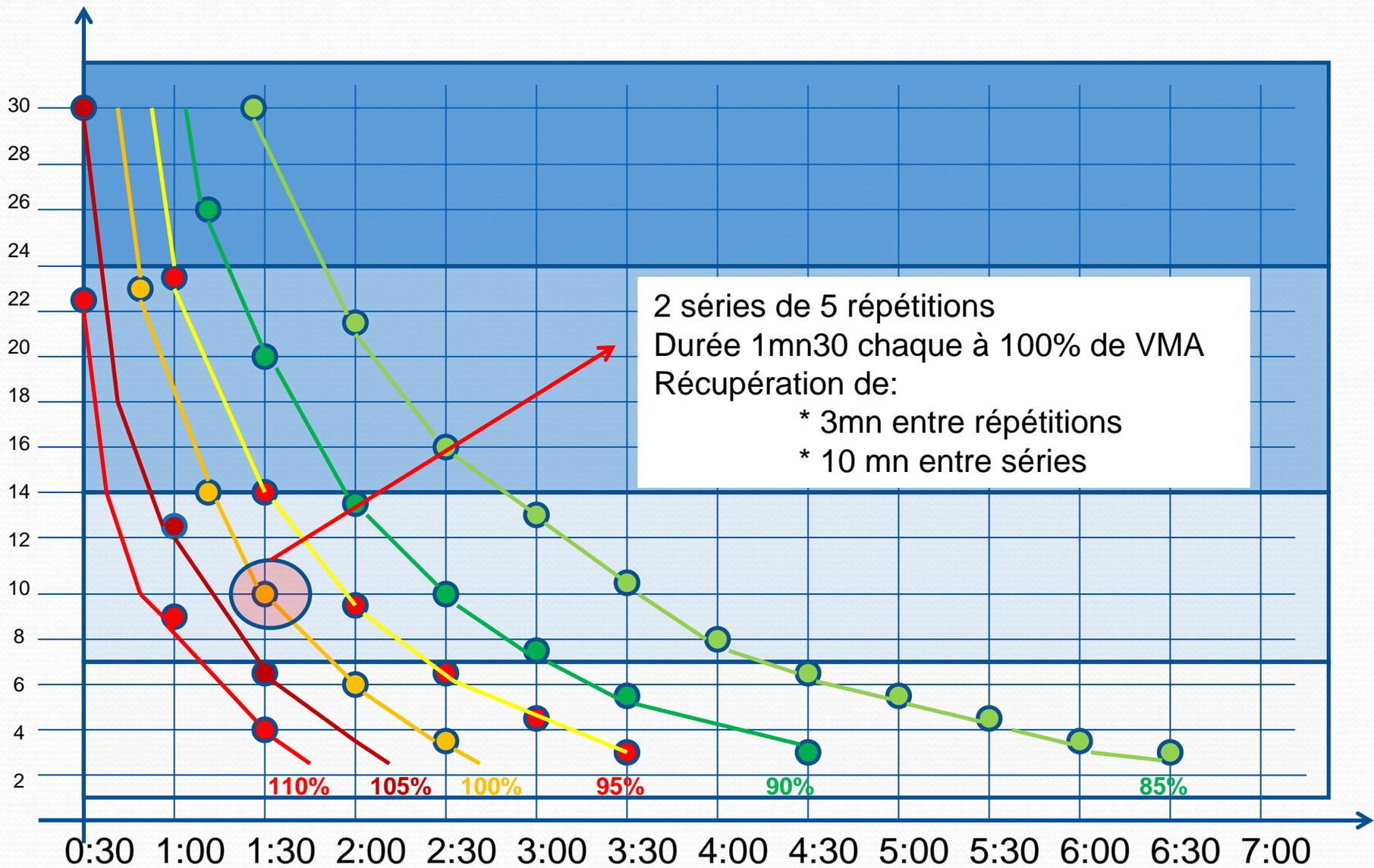
Exercice de 30''/1' à VMA













Bon entraînement!!!