

# Efx de la Mesure à L'Interprétation

Ruddy RICHARD <sup>1, 2</sup>

[ruddy.richard@uca.fr](mailto:ruddy.richard@uca.fr)

1) Centre de Recherche en Nutrition Humaine  
CRNH Auvergne

&

2) Service de Médecine du Sport et des Explorations Fonctionnelles  
CHU G. Montpied, 58 rue Montalembert,  
63003 Clermont-Ferrand Cedex 1

Frédéric COSTES <sup>2</sup>

[fcostes@chu-clermontferrand.fr](mailto:fcostes@chu-clermontferrand.fr)

# Préambule

Cette présentation est réservée à un usage personnel.

Les graphiques sont la propriété de l'auteur et ne peuvent en aucun cas servir de support à d'autres présentations sans une demande d'autorisation préalable.

Merci de votre compréhension

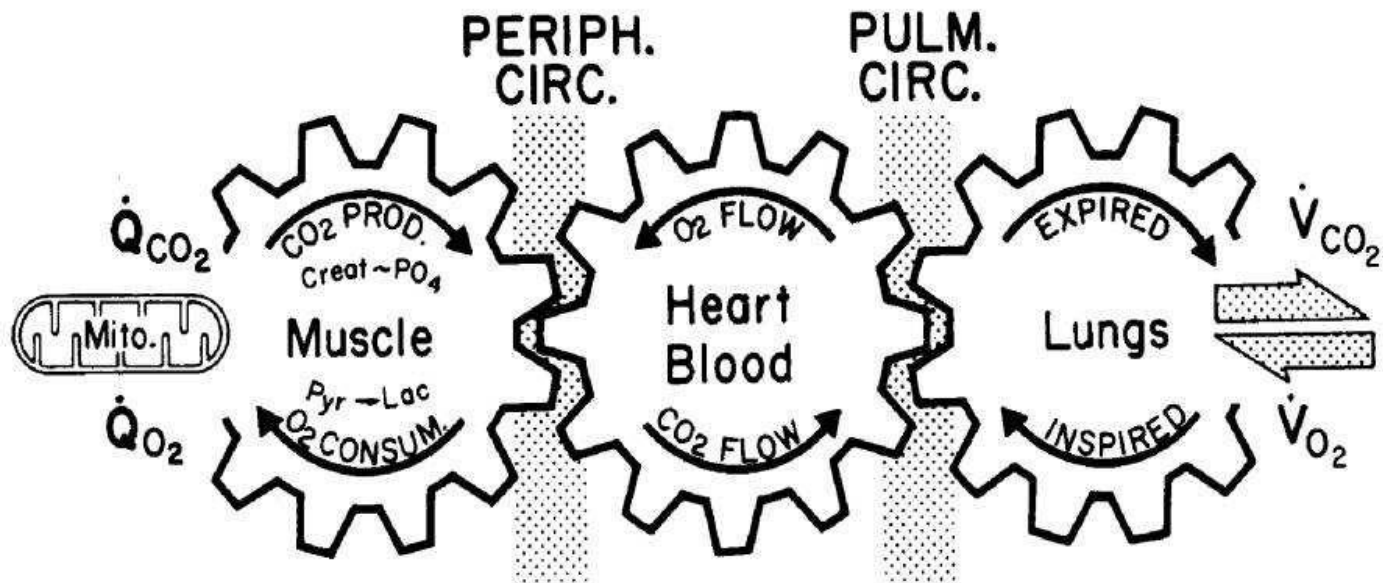
**Ruddy RICHARD**

**Frédéric COSTES**

# Où cela se passe-t-il ?



## Interaction cardiorespiratoire



$$\dot{V}O_2 = \dot{Q} \times (CaO_2 - C\bar{v}O_2)$$

$$\dot{V}O_2 = (\dot{V}I \times FIO_2) - (\dot{V}E \times FEO_2)$$

$\dot{V}O_2$  x10 entre le repos et l'exercice max

# Qu'est-ce que l'EFX?

- Exercice progressivement croissant et maximal sur tapis ou vélo
- Enregistrement
  - VE, VO<sub>2</sub> VCO<sub>2</sub> ( embout buccal ou masque facial)
  - ECG continu, PA
  - SpO<sub>2</sub> +/- GDS, lactate
  - Symptômes (dyspnée, fatigue musculaire)
- Etape d'interprétation « Étude intégrée des fonctions respiratoire - cardiovasculaire – musculaire »
- Matériel fiable, médecin + 1 personne

# Indications (1)

- Etude de la tolérance de l'effort :
  - capacité d'effort ( $VO_2\text{pic} = ?$ )
  - Quelle est le facteur limitant de l'effort ?
    - Objectif / subjectif
  - sévérité d'un handicap fonctionnel
- Bilan d'une dyspnée
  - parts respectives du cardiaque et du respiratoire
  - signes à l'effort non expliqués par le bilan de repos
- Bilan d'une maladie cardiaque (pré-transplant, CMNO, pronostic, effet du traitement)

# Indications (2)

- Bilan d'une maladie respiratoire
  - anomalies des échanges gazeux, de la mécanique ventilatoire
  - asthme d'effort ?
  - recherche d'une désaturation d'effort et évaluation du débit d'O<sub>2</sub> nécessaire
  - Bilan pré opératoire (chir. générale, carcinologique, ou réduction de volume)
  - **prescription du réentraînement** et suivi
- Suivi des performances (sportifs, ...)

# PLAN

## **1<sup>ère</sup> Partie : Le fonctionnement des ergospiromètres**

Principes de fonctionnement des appareils

Principaux paramètres mesurés

## **2<sup>ème</sup> Partie : Méthodologie de l'épreuve (Efx)**

Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice

## **3<sup>ème</sup> Partie : Analyse physiologique des réponses**

Remarques préliminaires (Glucides, Energie Aérobie, PaCO<sub>2</sub>)

Physiologie des ajustements

## **4<sup>ème</sup> Partie : L'interprétation**

Analyse en 7 points

Cas cliniques

# PLAN

## **1<sup>ère</sup> Partie : Le fonctionnement des ergospiromètres**

Principes de fonctionnement des appareils

Principaux paramètres mesurés

## **2<sup>ème</sup> Partie : Méthodologie de l'épreuve (Efx)**

Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice

## **3<sup>ème</sup> Partie : Analyse physiologique des réponses**

Remarques préliminaires (Glucides, Energie Aérobie, PaCO<sub>2</sub>)

Physiologie des ajustements

## **4<sup>ème</sup> Partie : L'interprétation**

Analyse en 7 points

Cas cliniques

# Le fonctionnement des ergospiromètres

## Double mesure simultanée

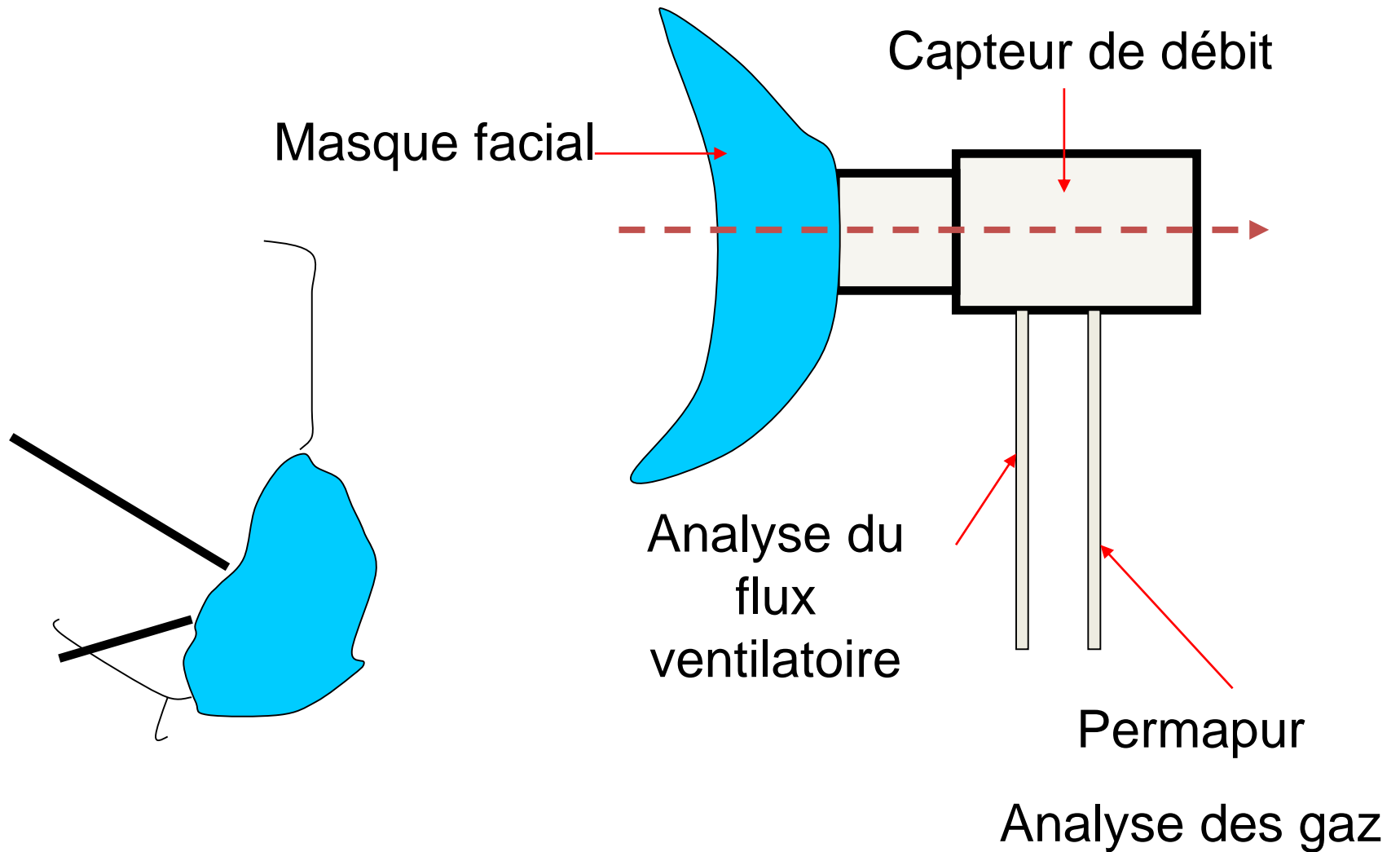
### Mesure des débits ventilatoires

- Mesure d'un débit au travers d'un pneumotachographe
- Mesure d'une fréquence ventilatoire

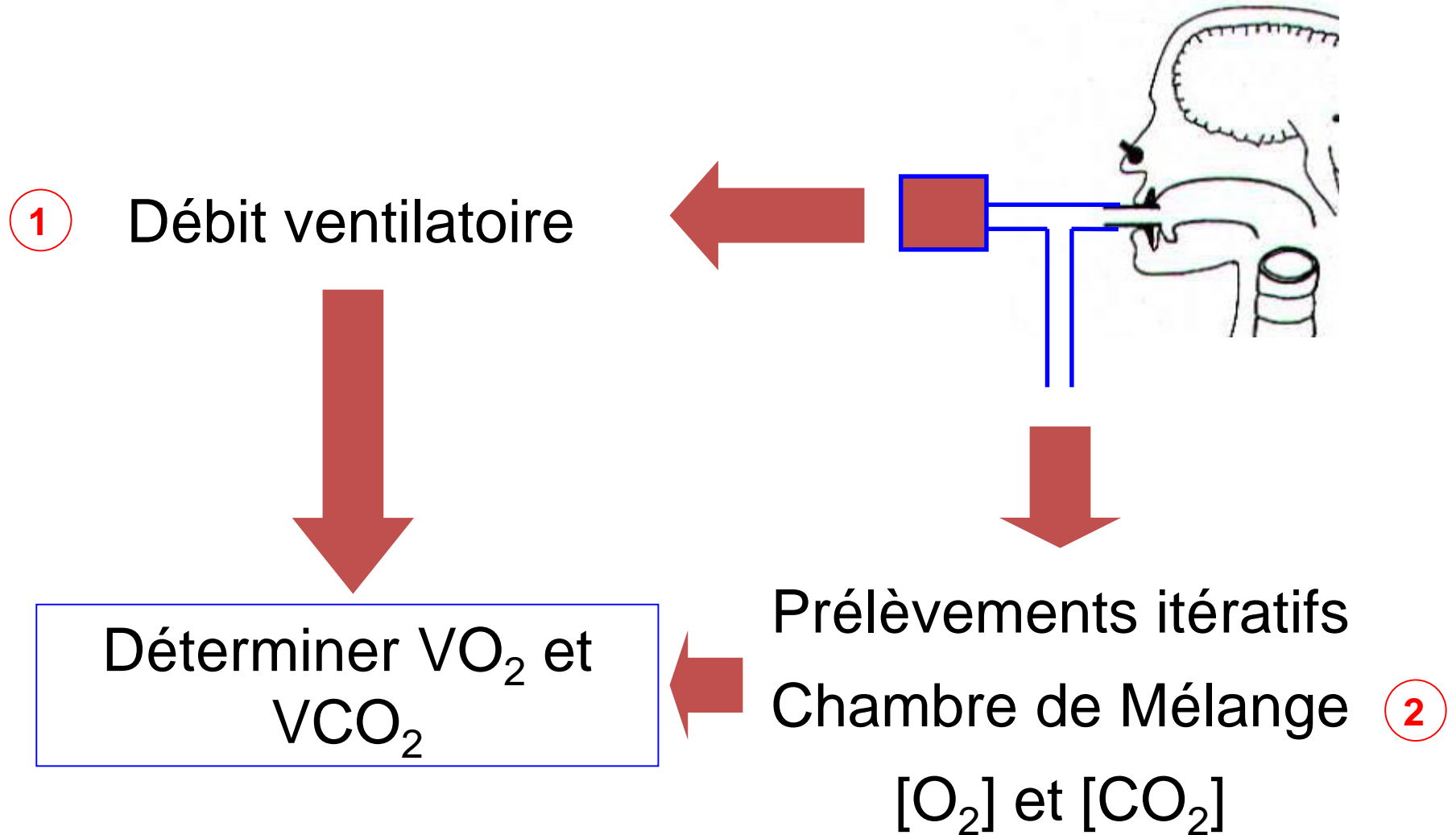
### Mesure de la concentration des gaz (expirés et parfois inspirés)

- Mesure des concentrations des gaz cycle-à-cycle
  - Oxygramme
  - Capnigrame
- Mesure des concentrations à partir d'une chambre de mélange

# Le fonctionnement des ergospiromètres



# Le fonctionnement des ergospiromètres



# Le fonctionnement des ergospiromètres

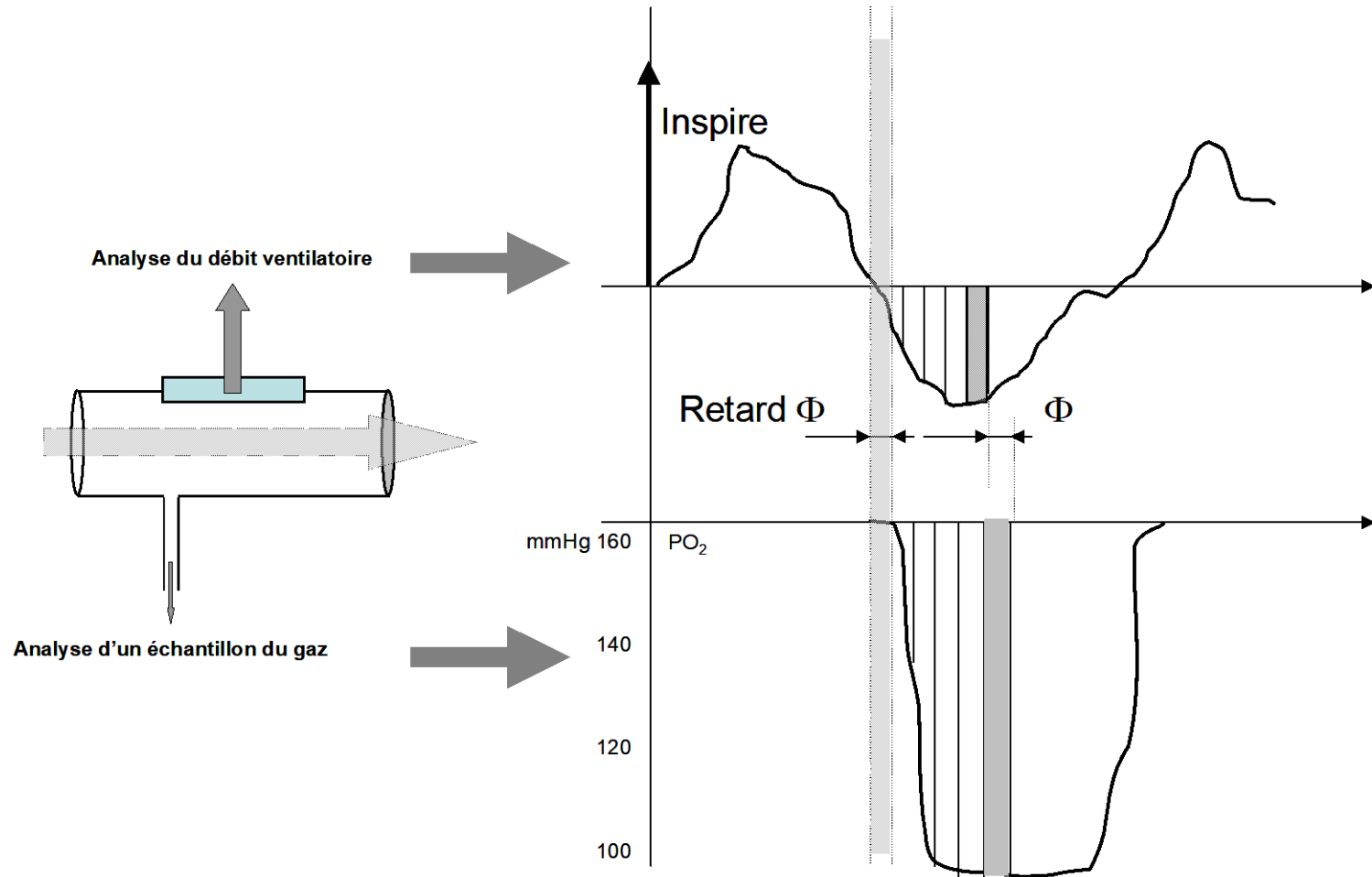
## ① La mesure des débits : Pneumotachographe

- Tube de Pitot (différence de pression)
- Fil chaud (refroidissement du fil par le flux gazeux)
- Turbine (rotation de l'hélice)

## ② L'analyse de la concentration des gaz

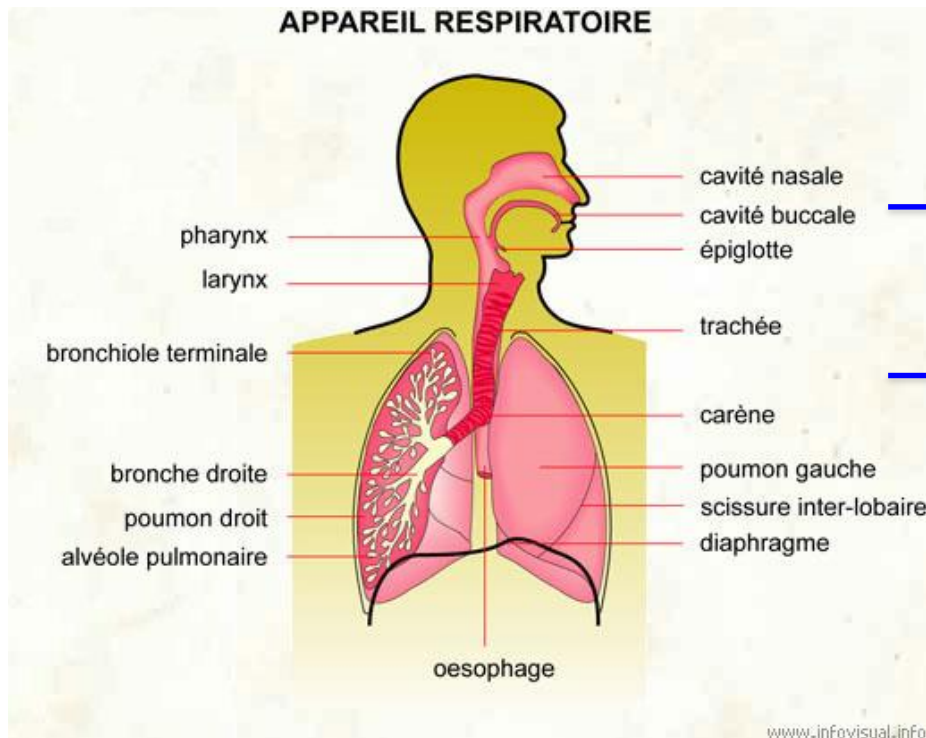
- Analyse en continue (mesure cycle-à-cycle)
- Analyse discontinue (à partir d'une chambre de mélange)

# Le fonctionnement des ergospiromètres

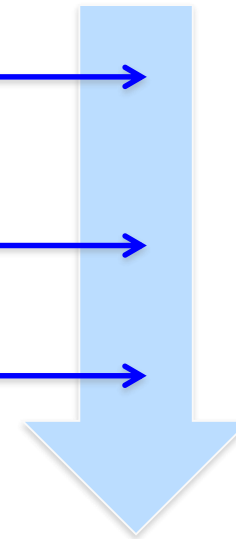


# Le fonctionnement des ergospiromètres

## Principe général



Début d'Expiration



Fin d'Expiration

# Le fonctionnement des ergospiromètres

## Les paramètres mesurés :

$V_E$  Débit ventilatoire

$\dot{V}O_2$  Consommation d'oxygène (débit)

$\dot{V}CO_2$  Rejet de dioxyde de carbone (débit)

# Le fonctionnement des ergospiromètres

## Les paramètres mesurés :

### **VE Débit ventilatoire**

Volume d'air ventilé par minute

$$VE = Fr \times Vt$$

$$VE = Fr \times (VA + Vd)$$

Vt : Volume courant

VA : Volume alvéolaire

Vd : Volume de l'espace mort anatomique

VE va varier de :

5 à 10 L/min au repos à

35 à 40 × le VEMS au maximum de l'effort

# Le fonctionnement des ergospiromètres

## Les paramètres mesurés :

$\dot{V}O_2$  **Consommation d'oxygène (débit)**

Différence entre les entrées et les sorties.

→ Le débit de consommation d'oxygène  $\dot{V}O_2$

→ Le volume d'oxygène consommé  $VO_2$

→ Le  $VO_2$

Exprimé en

$mLO_2/min - mL \cdot min^{-1}$

$mLO_2/min/kg - mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$

1 MET = 3,5 ml/kg/min

# Le fonctionnement des ergospiromètres

## Les paramètres mesurés :

$\dot{V}O_2$

**La mesure de  $\dot{V}O_2$  repose sur le principe de conservation de la masse – Principe de Fick**

$$\dot{V}O_2 = (F_iO_2 \times V_i) - (F_eO_2 \times V_e)$$

Si  $V_i = V_e$  (ce qui est une approximation)

$$\dot{V}O_2 = V_e \times (F_iO_2 - F_eO_2)$$

$$\dot{V}O_2 = Q_c \times D_{av}O_2$$

$$\dot{V}O_2 = (F_c \times V_{ES}) \times D_{av}O_2 (\bar{D}_{av}O_2)$$

air  
air

Spirométrie

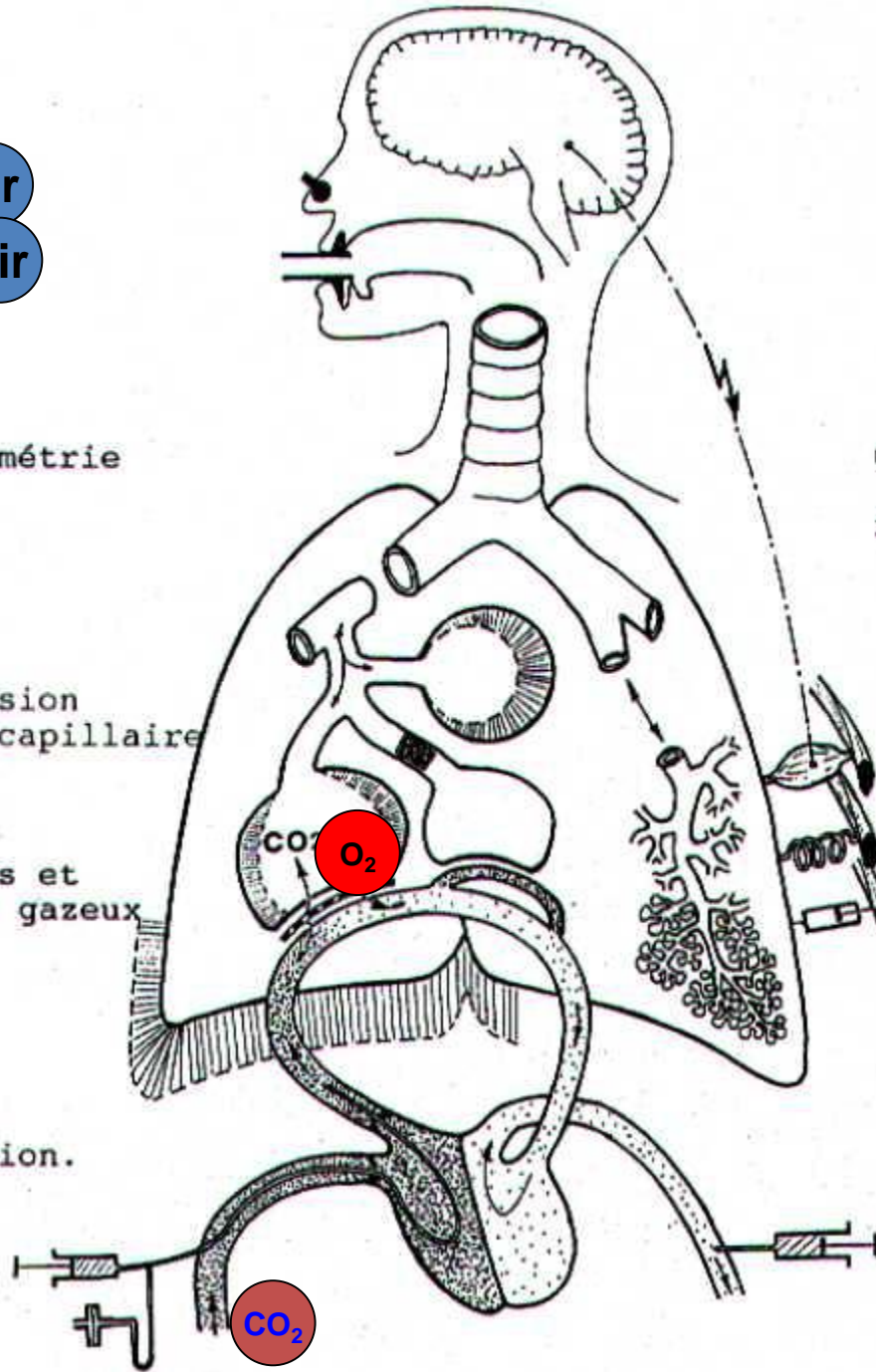
Contrôle  
de la  
respiration.

Diffusion  
alvéolo-capillaire

Volumes et  
échanges gazeux

Mécanique  
respiratoire.

Circulation.



# Le fonctionnement des ergospiromètres

## Les paramètres mesurés :

**$\dot{V}CO_2$  Rejet de dioxyde de carbone (débit)**

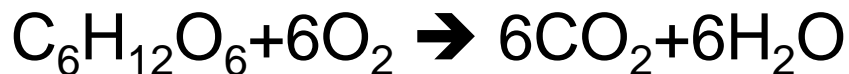
Exprimé en mL/min

**Le  $CO_2$  mesuré ne correspond qu'au  $CO_2$  rejeté**

On fait l'hypothèse que le taux de  $CO_2$  dans l'air ambiant est négligeable  
(attention aux conditions ambiantes dans la salle d'examen)

**Le  $CO_2$  a une double origine :**

-NUTRITIONNELLE



-METABOLIQUE



# Le fonctionnement des ergospiromètres

## Double mesure simultanée

### Mesure des débits ventilatoires

- Mesure d'un débit au travers d'un pneumotachographe
- Mesure d'une fréquence ventilatoire

### Mesure de la concentration des gaz (expirés et parfois inspirés)

- Mesure des concentrations des gaz cycle-à-cycle
  - Oxygramme
  - Capnigrame
- Mesure des concentrations à partir d'une chambre de mélange

# Le fonctionnement des ergospiromètres

## Double mesure simultanée

### Mesure des débits ventilatoires

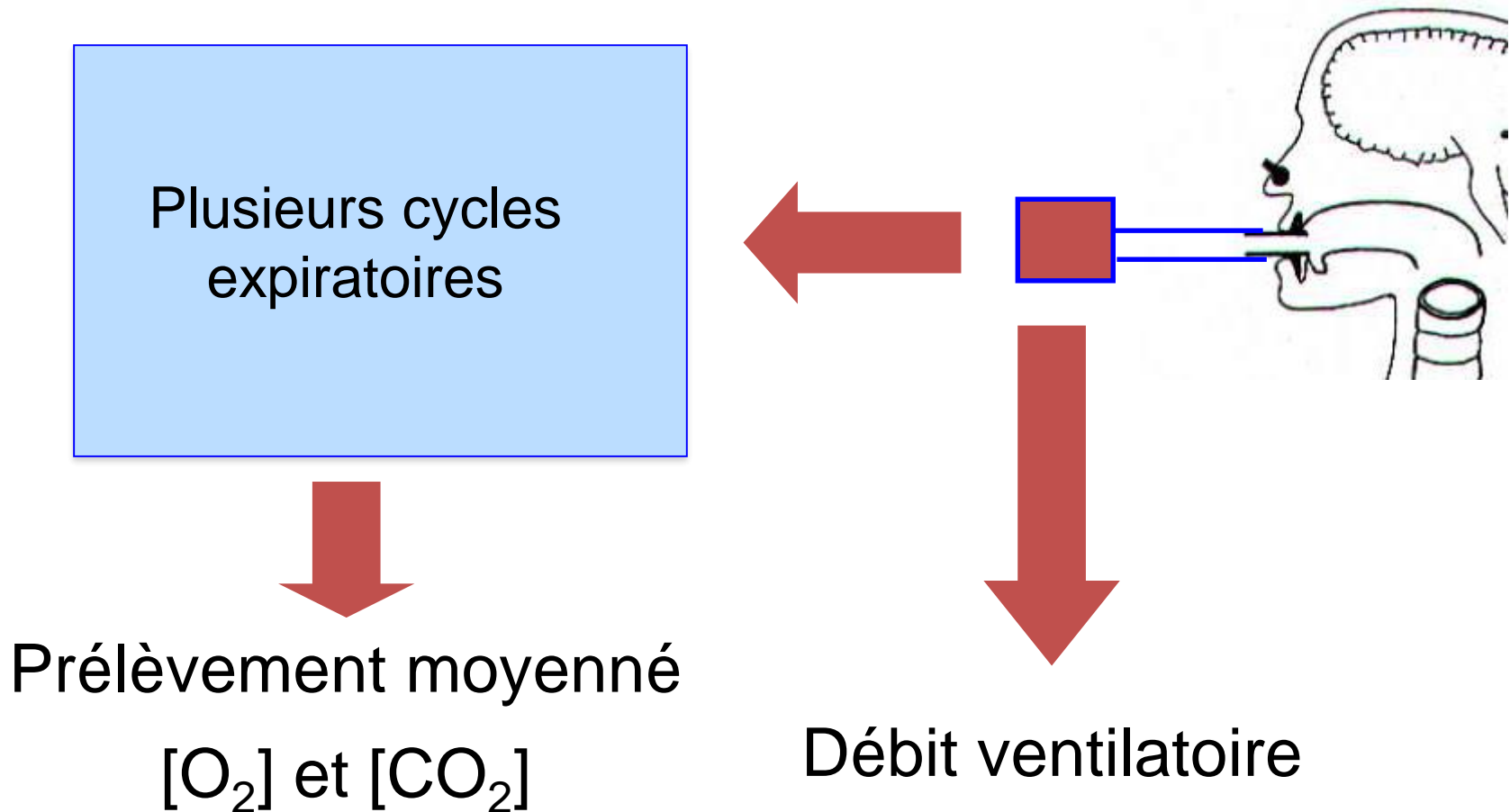
- Mesure d' un débit au travers d'un pneumotachographe
- Mesure d' une fréquence ventilatoire

### Mesure de la concentration des gaz (expirés et parfois inspirés)

- Mesure des concentrations des gaz cycle-à-cycle
  - Oxygramme
  - Capnigrame
- Mesure des concentrations à partir d' une chambre de mélange

# Le fonctionnement des ergospiromètres

## Cas particulier des chambres de mélange



# Le fonctionnement des ergospiromètres

## Cycle-à-cycle versus Chambre de mélange

	Cycle-à-cycle	Chambre de Mélange
<b>Réglages</b>	« Sensibles »	Simple
<b>Risque d'erreur</b>	Important	Négligeable
<b>Données mesurées</b>	VE, VO <sub>2</sub> , VCO <sub>2</sub> , P <sub>ETO</sub> , P <sub>ETCO</sub> , Calcul des gradients, Calcul de l'espace mort, Détermination précise du/des seuils	VE, VO <sub>2</sub> , VCO <sub>2</sub>

# Le fonctionnement des ergospiromètres

## ① La mesure des débits : Pneumotachographe

- Tube de Pitot (différence de pression)
- Fil chaud (refroidissement du fil par le flux gazeux)
- Turbine (rotation de l'hélice)

## ② L'analyse de la concentration des gaz

- Analyse en continue (mesure cycle-à-cycle)
- Analyse discontinue (à partir d'une chambre de mélange)

# Le fonctionnement des ergospiromètres

## La mesure des débits : Pneumotachographe

→ Tube de Pitot

- Mesure une différence de pression
- Sensible
- Un seul point d'étalonnage, un seul débit
- Peut dériver si l'un des tubes est partiellement obstrué (salive, poussière, débris)

# Le fonctionnement des ergospiromètres

## La mesure des débits : Pneumotachographe

→ Fil chaud

- Deux fils, ne mesure qu'un seul sens de débit
- Quatre fils, bidirectionnel
- Moins sensible que le Pitot
- Moins sensible sur les petits débits
- Très sensible à la salive

# Le fonctionnement des ergospiromètres

## La mesure des débits : Pneumotachographe

→ Turbine

- Inertie
- Au moins deux points pour la calibration
- Pas sensible à la salive

# PLAN

Principes de fonctionnement des ergospiromètres

Que faut-il faire avant une épreuve

Les contrôles lors de l' épreuve d' effort

# Que faut-il faire avant un test

## **Avant le premier test de la journée**

- 1) Mettre en marche l'analyseur au moins 30 minutes avant le test
- 2) Rentrer les données ambiantes : température, degré hygrométrique, pression barométrique
- 3) Calibrer les gaz et les débits (passé les 30 minutes)

## **Entre les tests**

- 1) Changer le perméapure
- 2) Aérer la pièce
- 3) Calibrer les gaz et les débits

## **Après les tests**

- 1) Fermer les bouteilles de gaz ...

# PLAN

Principes de fonctionnement des ergospiromètres

Que faut-il faire avant une épreuve

Les contrôles lors de l'épreuve d'effort

# Les contrôles lors de l'épreuve d'effort

## Au repos, avant de débiter

### 1) Le $\text{VO}_2$ de repos est-il juste ?

1 MET = 3,5 ml/kg/min

Au repos sur le vélo entre 1 et 1,5 METs

$\text{VO}_2$  compris entre 3,5 et 5 ml/kg/min

### 2) Le QR est-il acceptable ?

$$\text{QR} = \text{VCO}_2 / \text{VO}_2$$

QR mixte de référence = 0,85

A jeun fin de matinée QR < 0,8

Post prandial QR < 0,9-0,95

Que faut-il faire si le QR est élevé ?

### 3) La ventilation est-elle acceptable ?

$\text{VE} < 10-15$  l/min,  $\text{FR} < 15$  cycles/min

# Les contrôles lors de l'épreuve d'effort

## Le QR

### Glucides



### Lipides



**Si mon alimentation est mixte et équilibrée**

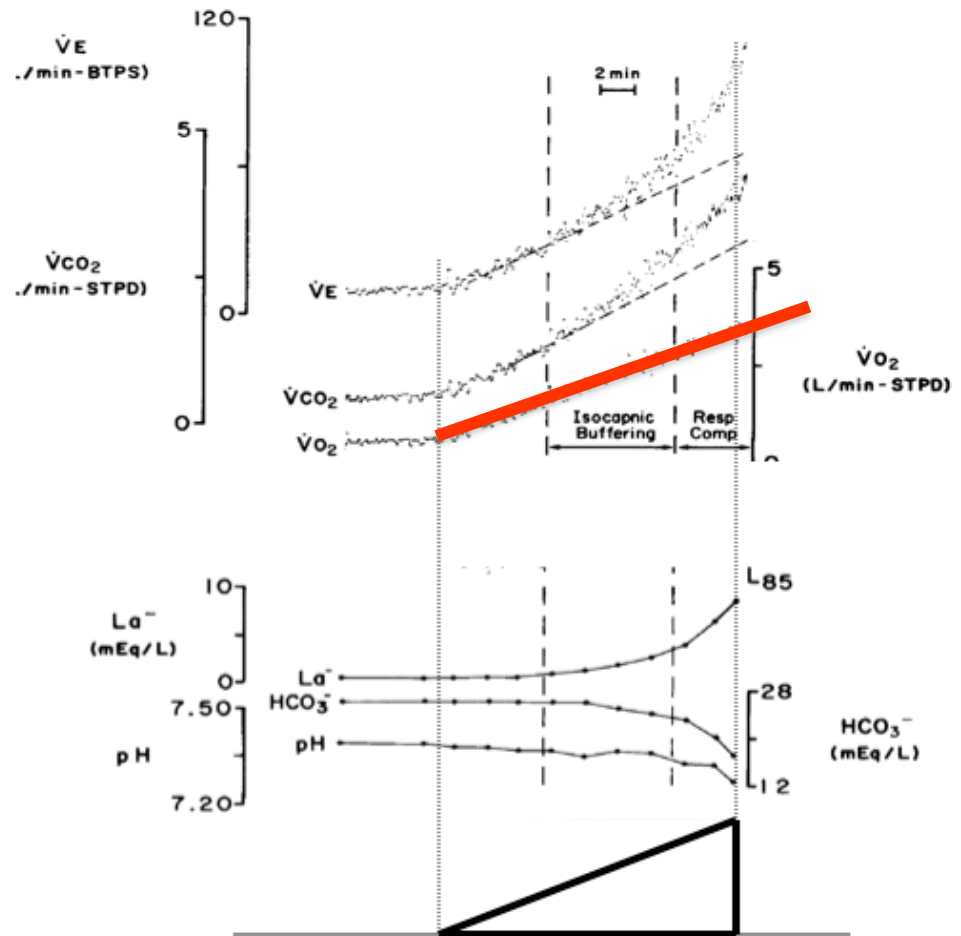
**50% Glucide + 50% Lipides**

$$\text{QR} = (0,5 \times 1_{\text{Glu}}) + (0,5 \times 0,7_{\text{Lip}}) = 0,5 + 0,35 = 0,85$$

# Les contrôles lors de l'épreuve d'effort

## Pendant le test

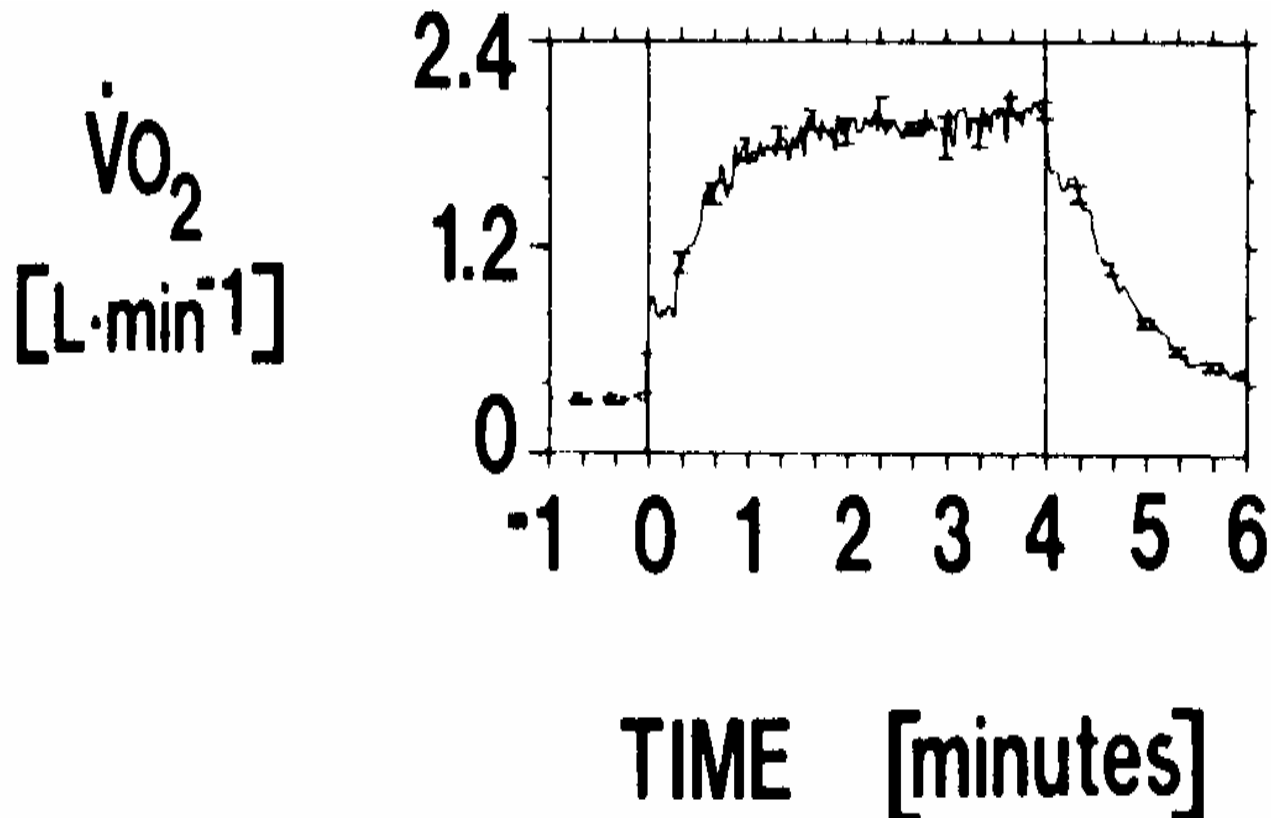
Le  $\dot{V}O_2$  mesuré est-il juste



# Les contrôles lors de l'épreuve d'effort

## Pendant le test

Le  $\dot{V}O_2$  mesuré est-il juste



# Les contrôles lors de l'épreuve d'effort

## Pendant le test

Le  $VO_2$  mesuré est-il juste

$VO_2$  Théorique = (10-11) × Puis (Watts) +  $VO_2$  basale (Exc. incrément).

$VO_2$  Théorique = (12-14) × Puis (Watts) +  $VO_2$  basale (Exc. état stable).

$\Delta VO_2 / \Delta$  Watts  $\approx 10,3 \pm 2$  lors d'un exercice en rampe

$VO_2$  basale = (3,5-5) × poids (kg)

1 MET =  $3,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

des points de repère :

50 W  $\approx 0.75$  à  $0.95$  L/min

100 W  $\approx 1.2$  à  $1.55$  L/min

150 W  $\approx 1.62$  à  $2.15$  L/min

# Les contrôles lors de l'épreuve d'effort

## Pendant le test

La ventilation mesurée est-elle juste

$$VE = 21.8 \times VO_2 (\text{l}\cdot\text{min}^{-1}) + 5$$

A 100 watts,  $VO_2 \approx 1,5 \text{ l/min}$

$$VE = (22 \times 1,5) + 5 = 38$$

Je dois mesurer entre 35 et 45 l/min

Je dois m'inquiéter au dessus de 50 l/min

# Les contrôles lors de l'épreuve d'effort

## Que faut-il faire si les paramètres que je mesure ne sont pas ceux attendus ?

- Ne pas débiter le test
- Calmer le sujet
- Vérifier l'étanchéité du masque
- Faire une nouvelle calibration
- Changer le permapur
- Vérifier les  $F_i$  et  $F_{eO_2}$
- A l'effort dissocier les causes liées à l'ergomètre et à l'ergospiromètre
- Appeler le BIOMED, le SAV

# PLAN

## **1<sup>ère</sup> Partie : Le fonctionnement des ergospiromètres**

Principes de fonctionnement des appareils

Principaux paramètres mesurés

## **2<sup>ème</sup> Partie : Méthodologie de l'épreuve (Efx)**

Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice

## **3<sup>ème</sup> Partie : Analyse physiologique des réponses**

Remarques préliminaires (Glucides, Energie Aérobie, PaCO<sub>2</sub>)

Physiologie des ajustements

## **4<sup>ème</sup> Partie : L'interprétation**

Analyse en 7 points

Cas cliniques

# Méthodologie de l'Epreuve (EFx)

## **Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice**

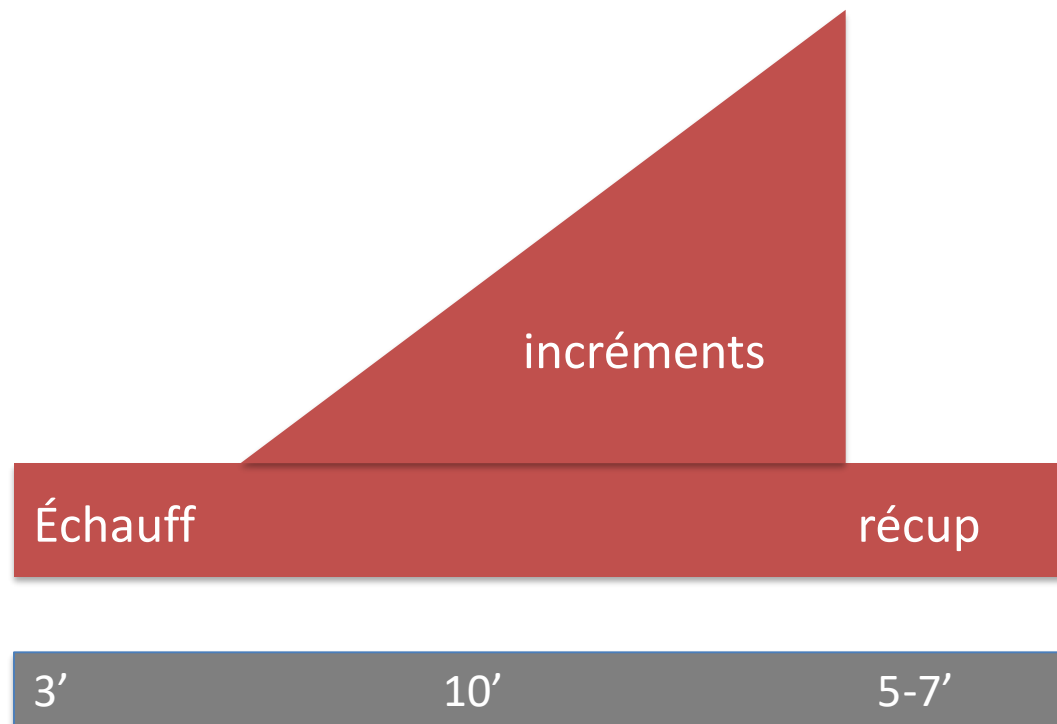
Différents protocoles sont possibles, les choix vont dépendre des objectifs de l'épreuve d'effort.

### **Dans le cadre de l'évaluation des patients :**

- Epreuve en rampe d'incrément (continue, paliers de 1 min.)
- Idéalement d'une durée de 8 à 15 min.
- Moins de 8 min. retard et inertie d'ajustement
- Plus de 15 min. plus compliqué pour différencier fatigue et épuisement
- Ajusté à la pathologie

**Chez un sujet très limité un exercice à puissance constante peut-être proposé**

# Méthodologie de l'Epreuve (EFx)



# Méthodologie de l'Epreuve (EFx)

## Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice

**Avant que mon sujet réalise son test, je dois être capable d'estimer ce qu'il va faire afin d'ajuster mon protocole**

- Calcul des valeurs théoriques pour un sujet sédentaire
- Equations de Jones / Hansen
  - La normalité se situe actuellement à 80% des valeurs
- Estimation du  $d^{\circ}$  de sédentarité ou d'entraînement
- Pondération des valeurs théoriques (de -30 à +100%)
- Ajustement par rapport à la pathologie
  - Ajustement par rapport au VEMS chez le BPCO
  - Ajustement proche de 10 W/min chez l'IC

# Méthodologie de l'Epreuve (EFx)

## Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice

### Exemple :

Sujet masculin, âgé de 60 ans, poids 90 kg, Taille 170 cm

**VO<sub>2</sub>max théorique 2090 mL/min**

**Pmax théorique 174 W**

Echauffement de 3 min. à 35 W (35W/3min)

Incrément de 15 W/min

**S'il est très sédentaire (-30%)** 25W/3min puis 10 W/min

**S'il est très sportif (+50%)** 50W/3min puis 20 W/min

# Méthodologie de l'Epreuve (EFx)

## Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice

### Exemple :

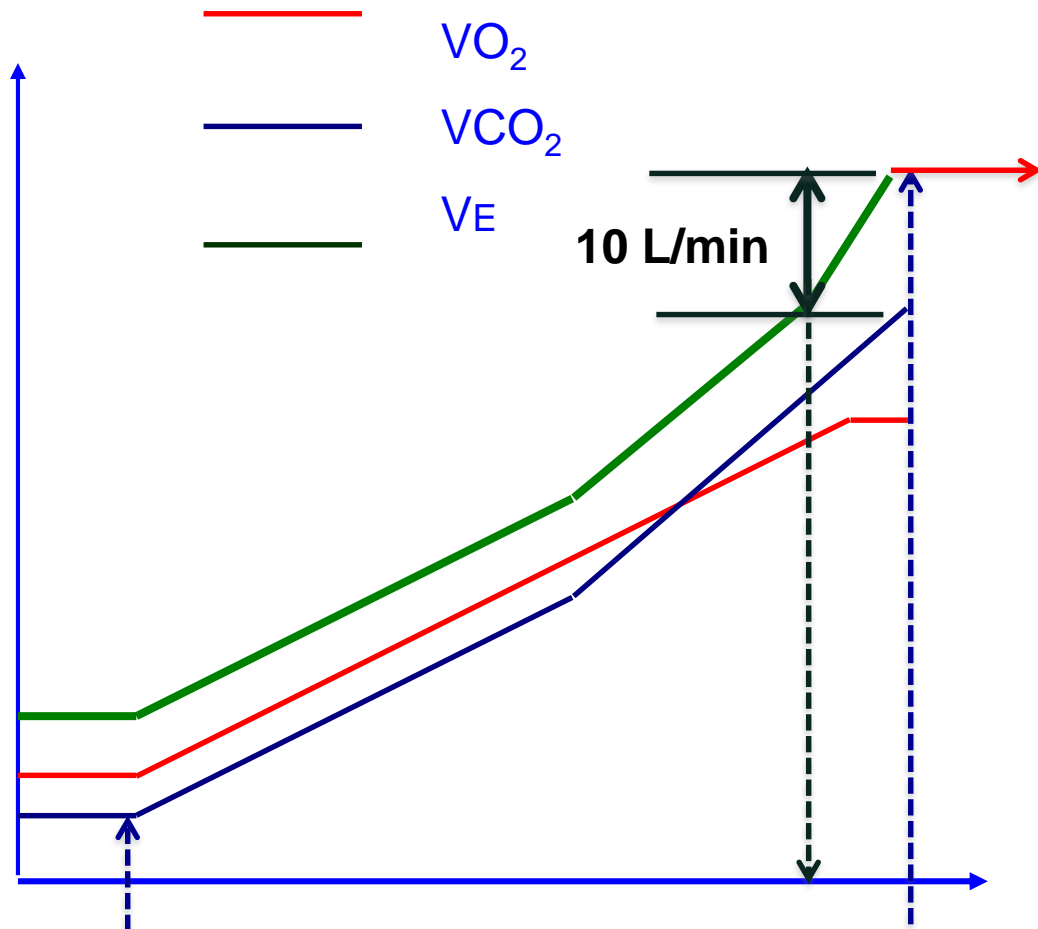
Sujet masculin, âgé de 60 ans, poids 90 kg, Taille 170 cm

**Son VEMS se situe à 70% des valeurs théoriques**

25W/3min puis 10W/min

# Méthodologie de l'Epreuve (EFx)

## Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice



Si son  $VEMS=4$  L (100% Théo)  
 $V_{Emax}$  Théor= $35 \times 4=140$  L/min  
Il lui reste 20% de RV  
 $V_{Emesurée}=140 \times 0,8=110$  L/min  
→ La limitation n'est pas ventilatoire

Si son  $VEMS=2,8$  L (70% Théo)  
Sa capacité ventilatoire est de  
 $2,8 \times 35=100$  L/min  
Il perd 10 L/min  
→ La limitation est ventilatoire

# Méthodologie de l'Epreuve (EFx)

## Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice

→ **Protocole de base : épreuve en rampe d'incrément régulier toutes les minutes**

- Ajusté en fonction des tables
- Ajusté au VEMS chez le patient respiratoire
- 10 W/min chez l'IC

→ **Chez le sportif les paliers peuvent être allongés afin de mieux transposer les indicateurs de l'entraînement (Fc) 2 à 3 minutes par palier**

→ **Epreuves à puissance constante**

- Patients très limités
- Situations particulières (recherche d'un bronchospasme, épreuve de temps de maintien)

# PLAN

## **1<sup>ère</sup> Partie : Le fonctionnement des ergospiromètres**

Principes de fonctionnement des appareils

Principaux paramètres mesurés

## **2<sup>ème</sup> Partie : Méthodologie de l'épreuve (Efx)**

Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice

## **3<sup>ème</sup> Partie : Analyse physiologique des réponses**

Remarques préliminaires (Glucides, Energie Aérobie, PaCO<sub>2</sub>)

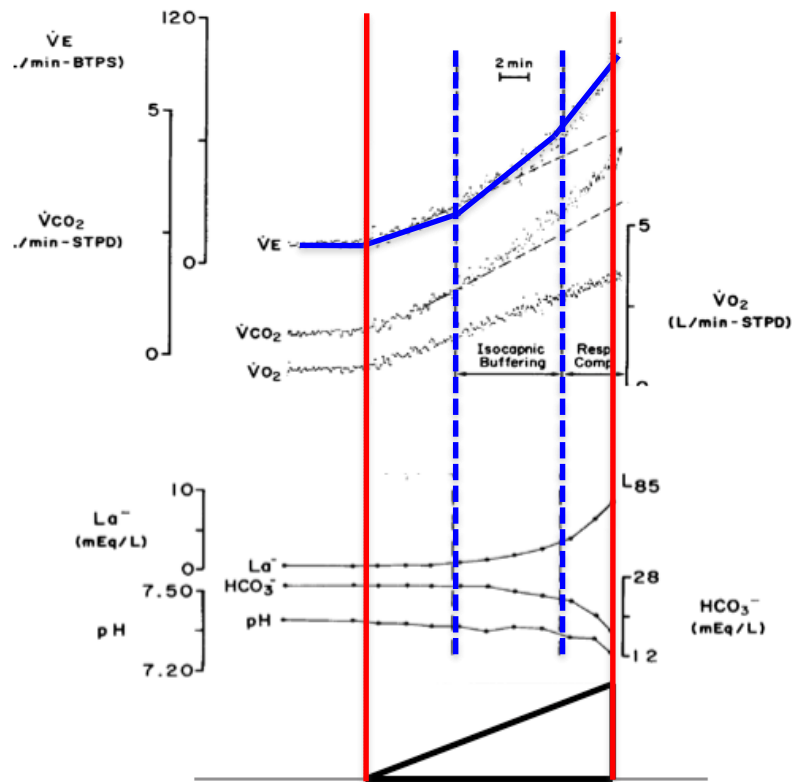
Physiologie des ajustements

## **4<sup>ème</sup> Partie : L'interprétation**

Analyse en 7 points

Cas cliniques

# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe



## Remarques spécifiques à cet exemple :

- 1) Sujet contrôle « sportif » 285 W
- 2) Cinétique des paramètres métaboliques et ventilatoires lors d'une épreuve en rampe d'exercice, incrément de 15 W/min (19 paliers)
- 3) 1<sup>er</sup> seuil 150 W (53% du max)
- 4) 2<sup>ème</sup> seuil 240 W (84% du max)

## Les constatations :

### Entre les deux inflexions de la ventilation

- 1) VE/Puissance est parallèle à VCO<sub>2</sub>/Puissance
- 2) VE/VCO<sub>2</sub> est stable
- 3) Le lactate augmente
- 4) Le pH est stable
- 5) les HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> diminuent

Graphique modifié à partir de :

Principles of Exercise Testing and Interpretation.  
Wasserman K et al. Williams&Wilkins Ed 1994

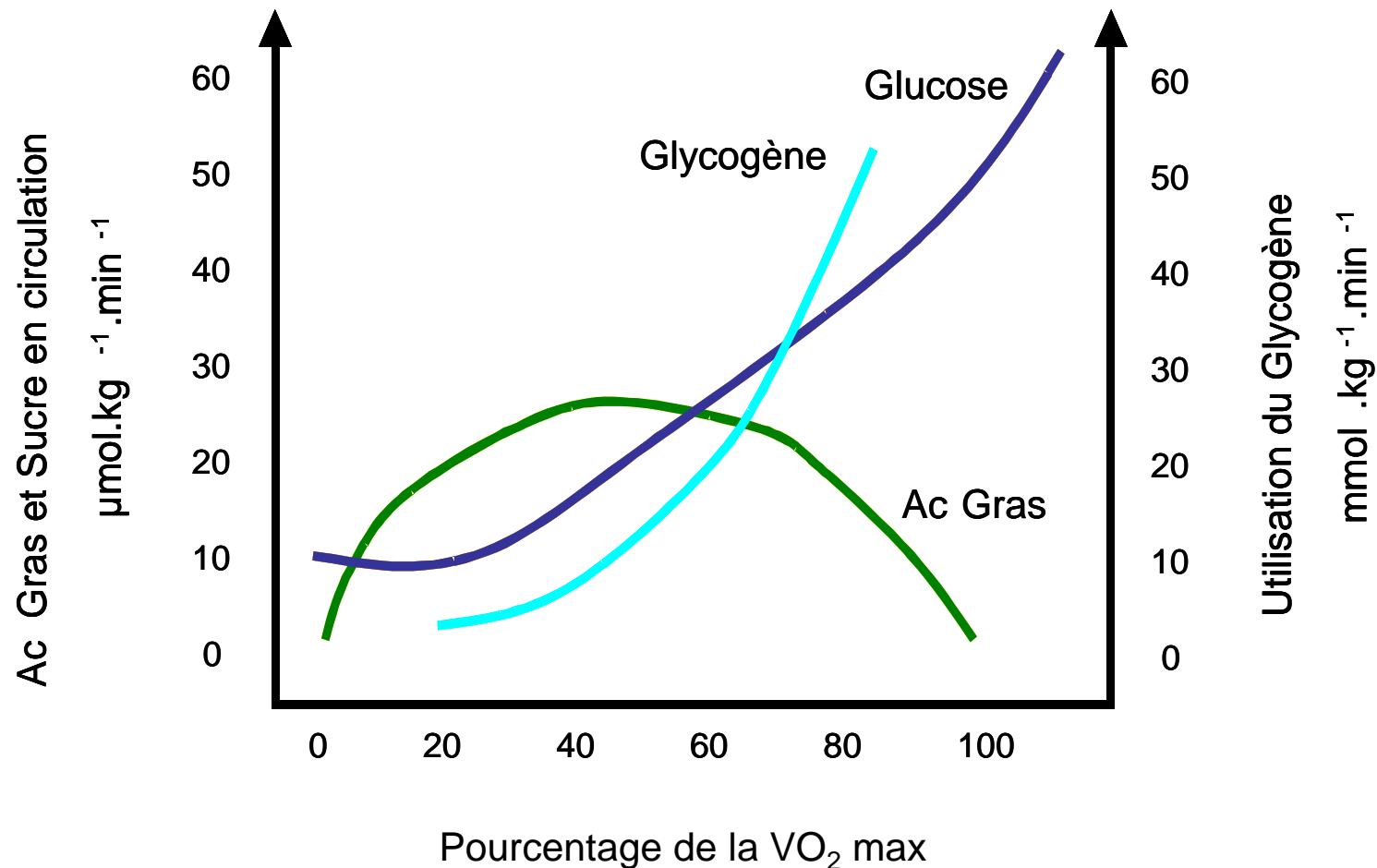
# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

## Remarques préliminaires :

- 1) L'épreuve d'exercice incrémentée est une épreuve qui sollicite principalement les substrats glucidiques**  
En dehors du laboratoire l'utilisation énergétique est mixte glucido-lipidique (protéique)
- 2) L'énergie de l'épreuve d'effort est exclusivement (quasi) d'origine aérobie**  
Pas de contribution anaérobie  
Le lactate n'est pas le reflet d'un métabolisme anaérobie
- 3) Les décrochements ventilatoires observés ne sont pas expliqués (pas uniquement) par les variations de la PaCO<sub>2</sub>**  
Multiples facteurs impliqués

# L'épreuve d'effort en rampe est une épreuve glucidique

Remarques Préliminaires



# Le drive ventilatoire ne peut pas être réduit aux variations (stimulations) de la PaCO<sub>2</sub>

## Remarques Préliminaires

- 1) Aucun *stimulus* unique ni aucune combinaison de *stimuli* expliquant de façon convaincante l'hyperpnée de l'exercice n'ont été identifiés.
- 2) Le couplage de l'hyperpnée à la dépense métabolique n'est pas causale mais dû à ce que ces variables sont liées par un facteur commun qui relie les réponses circulatoire et ventilatoire à l'exercice.
- 3) Les *stimuli* dont on pense qu'ils agissent au niveau de chémorécepteurs pulmonaires, cardiaques, carotidiens ou intracrâniens ne sont pas les principaux médiateurs de l'hyperpnée.
- 4) Des *stimuli* provenant des membres qui travaillent et qui parviennent au cerveau par des afférences spinales contribuent à l'hyperpnée de l'exercice.
- 5) L'hyperventilation observée à l'exercice intense n'est pas due de façon majeure à l'acidose lactique agissant sur les chémorécepteurs carotidiens.

# PLAN

## **1<sup>ère</sup> Partie : Le fonctionnement des ergospiromètres**

Principes de fonctionnement des appareils

Principaux paramètres mesurés

## **2<sup>ème</sup> Partie : Méthodologie de l'épreuve (Efx)**

Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice

## **3<sup>ème</sup> Partie : Analyse physiologique des réponses**

Remarques préliminaires (Glucides, Energie Aérobie, PaCO<sub>2</sub>)

**Physiologie des ajustements**

## **4<sup>ème</sup> Partie : L'interprétation**

Analyse en 7 points

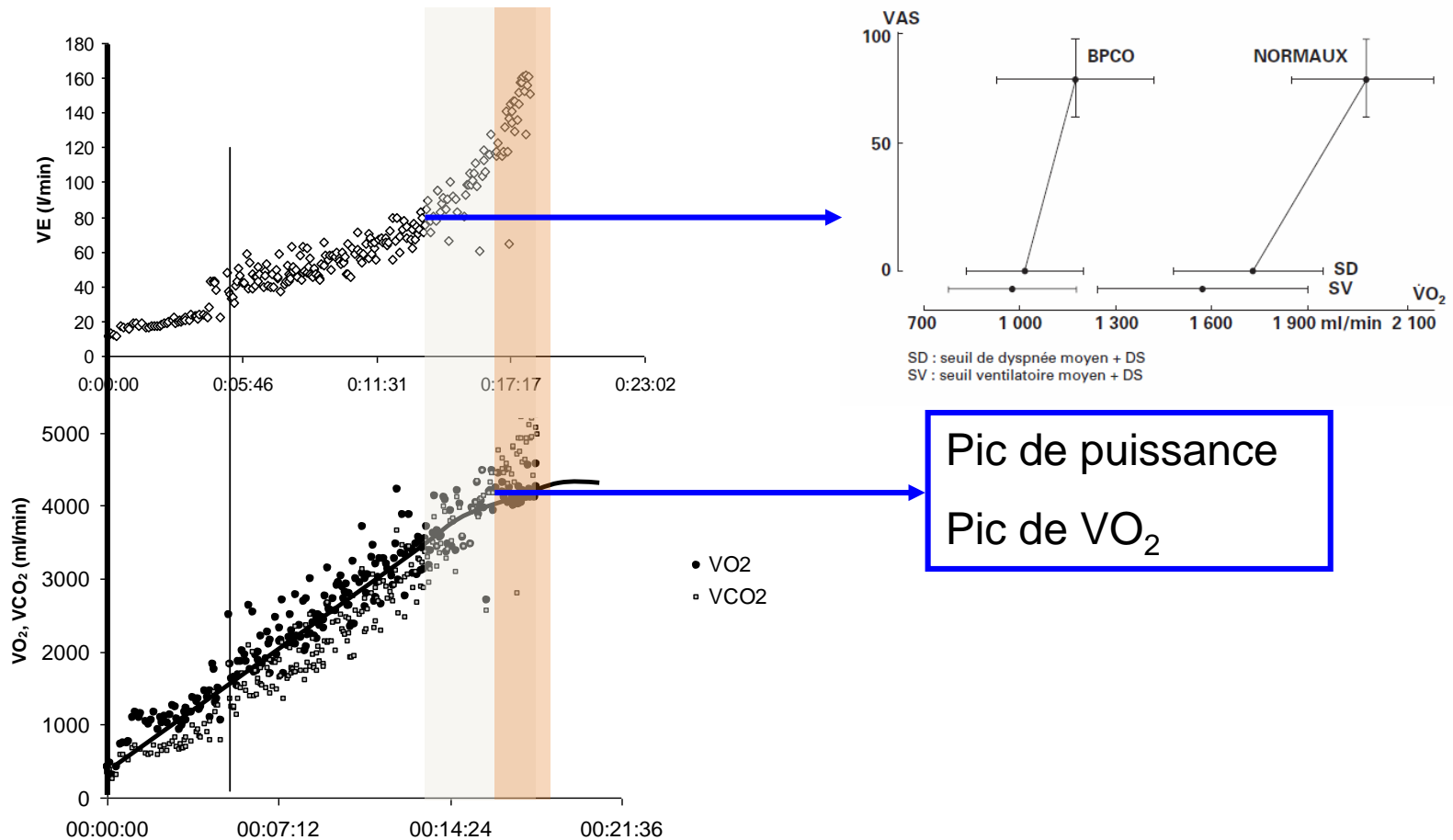
Cas cliniques

# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

- Relation entre oxydation glucidique et cinétique des ajustements
- Intérêt de l'oxydation glucidique à haute intensité d'effort
- **Méthodes de détermination des seuils**
  - Méthodes ventilatoires
  - Méthodes lactiques
- Significations cliniques des seuils

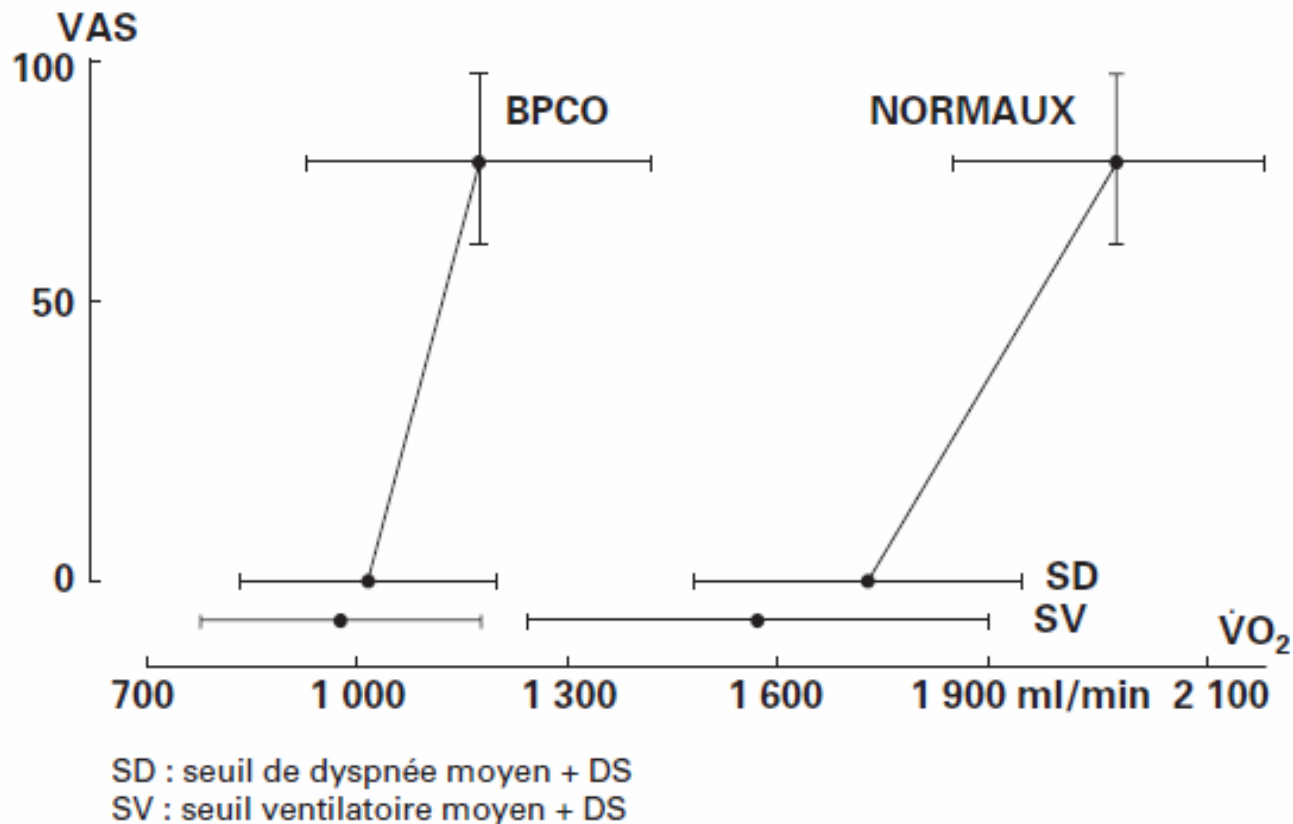
# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

## Méthode de détermination des seuils



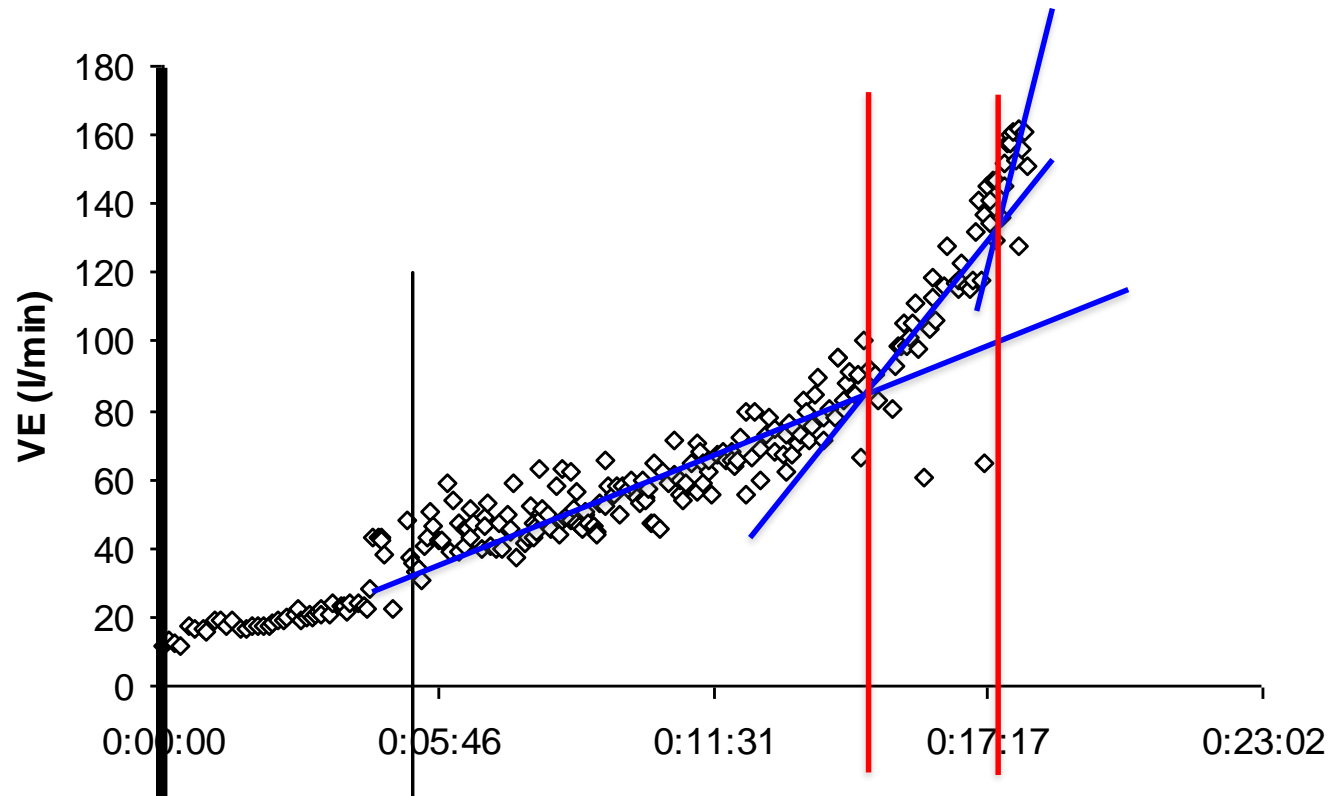
# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

## Méthode de détermination des seuils



# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

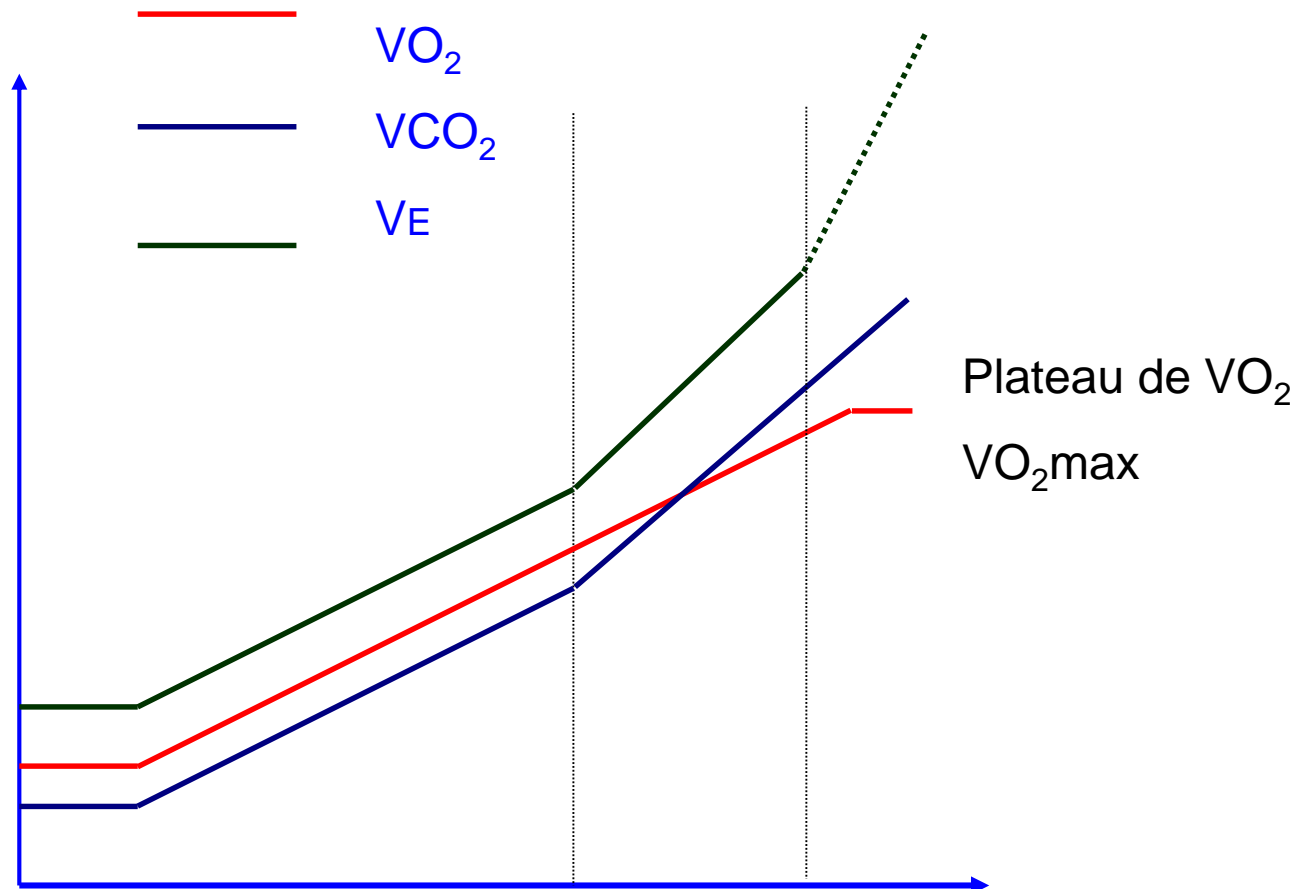
## Méthode de détermination des seuils



# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

## Méthode de détermination des seuils

### A) Méthode ventilatoire

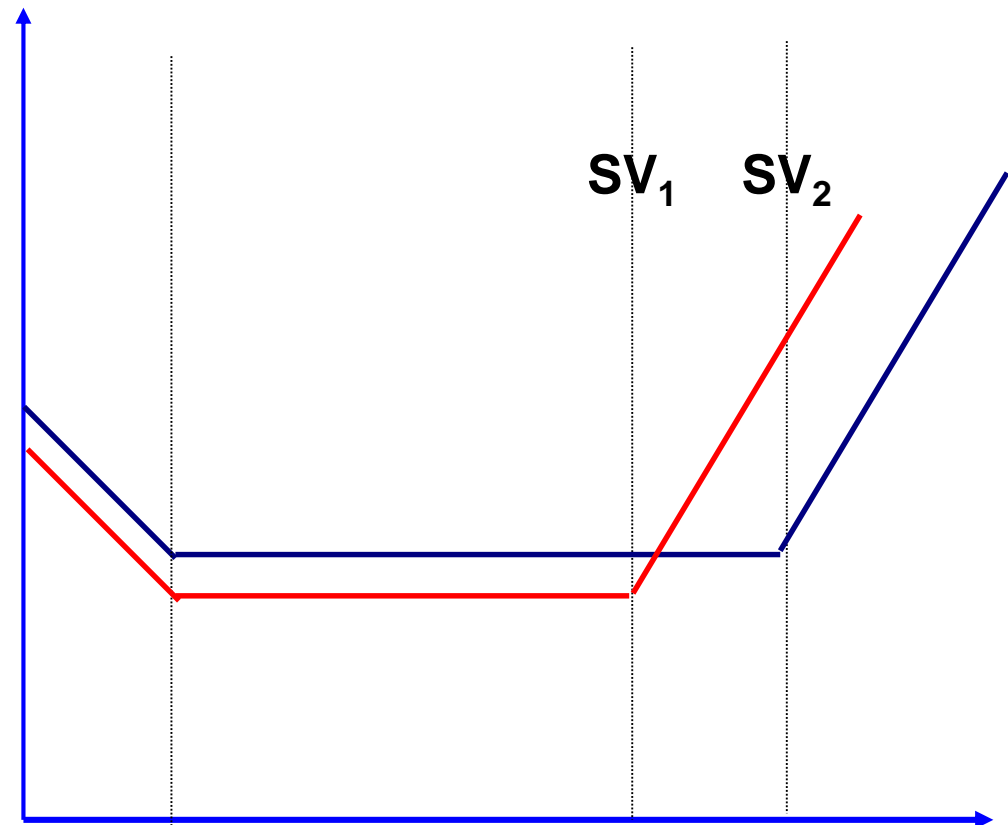
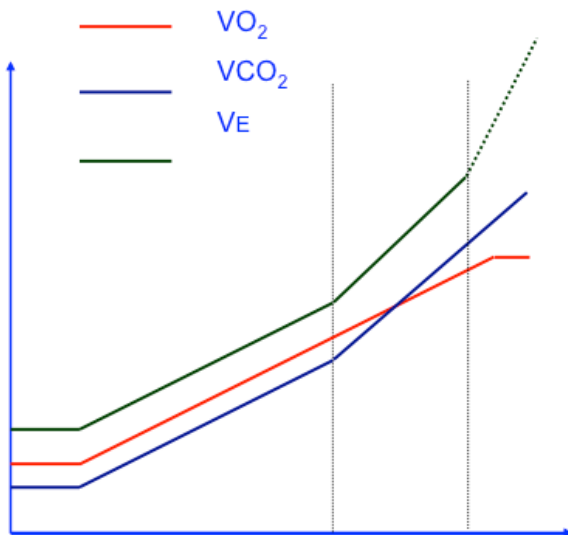


# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

## Méthode de détermination des seuils

A) Méthode ventilatoire

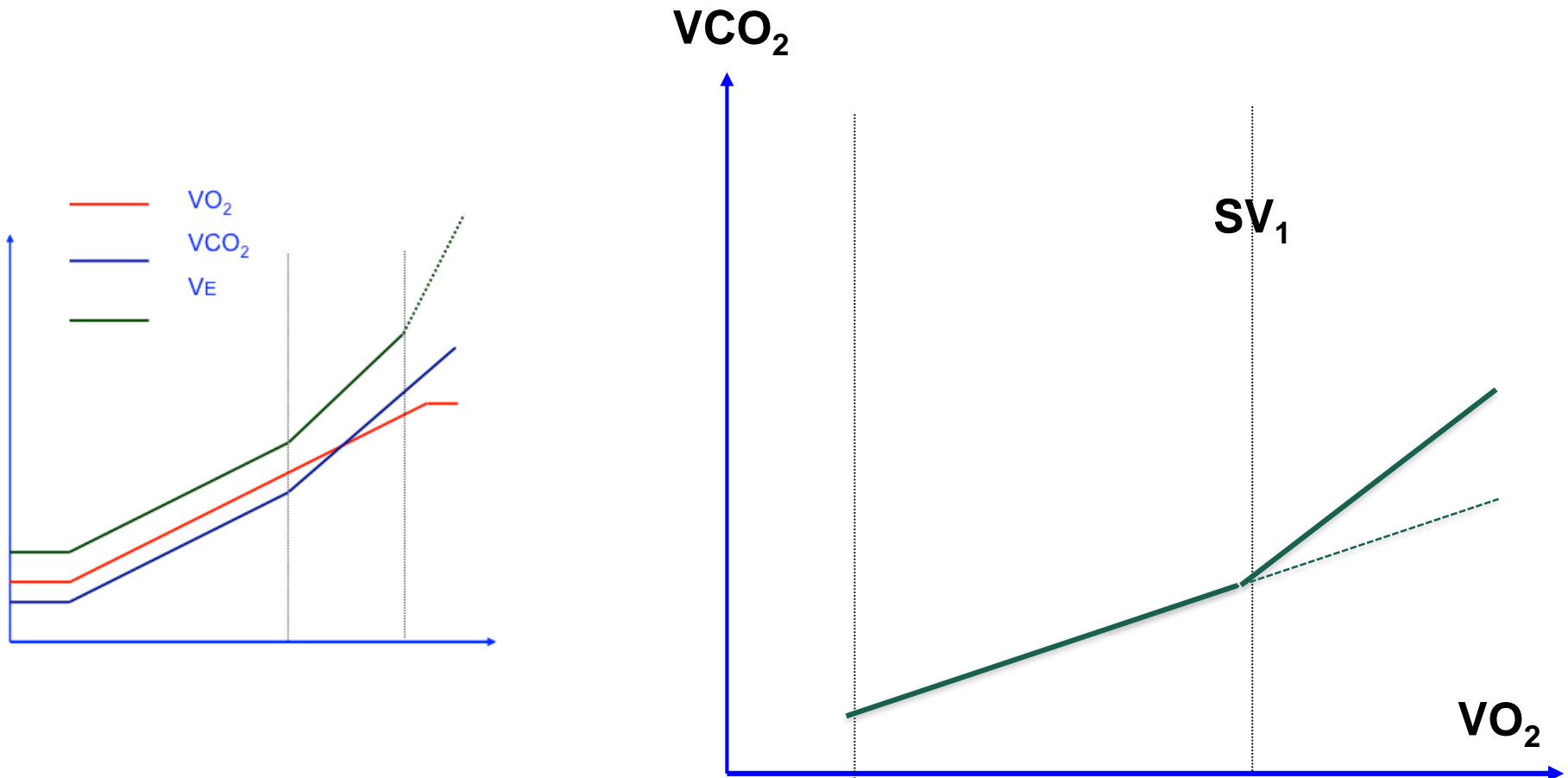
—  $VE/VCO_2$   
—  $VE/VO_2$



# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

## Méthode de détermination des seuils

### A) Méthode ventilatoire



# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

## Méthode de détermination des seuils

### A) Méthode ventilatoire

Paramètre	VE	$VE/VO_2$ $VE/VCO_2$	Beaver
$SV_1$	1 <sup>ère</sup> cassure de VE	$\uparrow VE/VO_2$ $\rightarrow VE/VCO_2$	Augmentation de $VCO_2 / VO_2$
$SV_2$	2 <sup>ème</sup> cassure de VE	$\uparrow VE/VCO_2$	

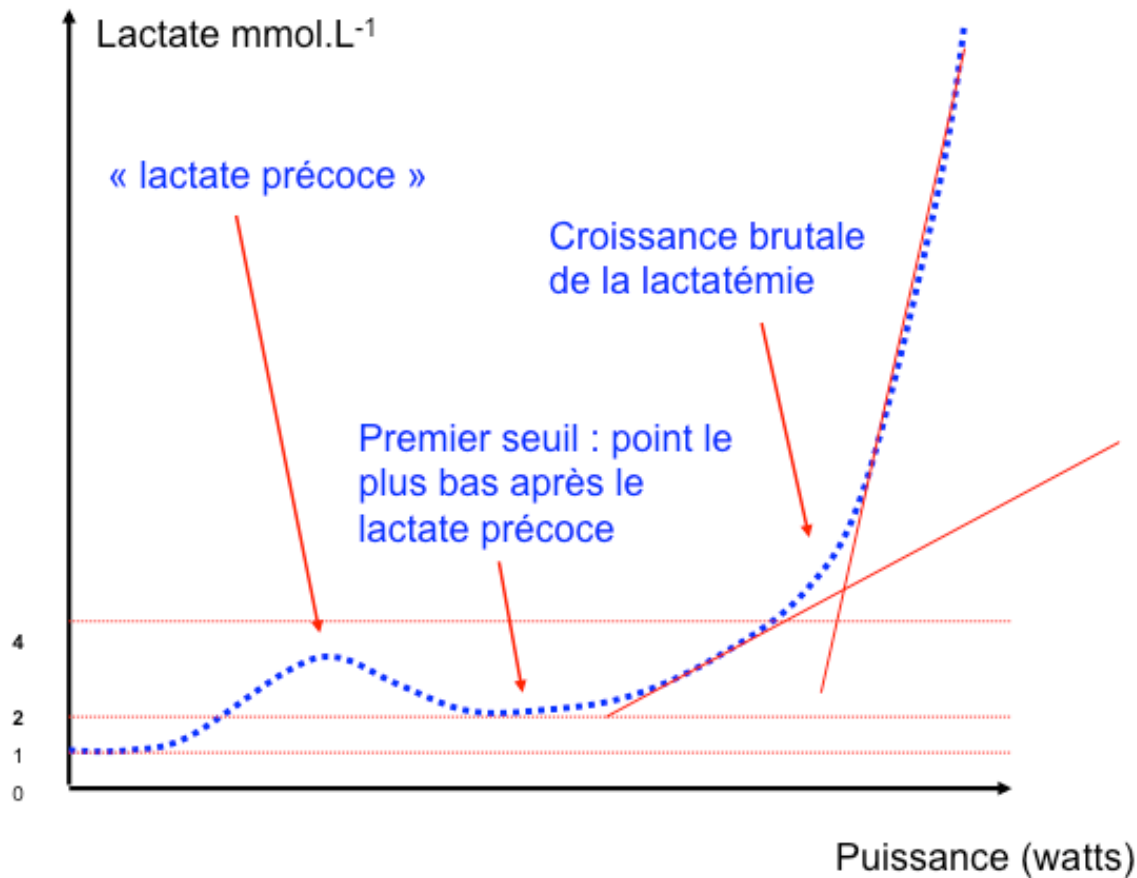
# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

- Relation entre oxydation glucidique et cinétique des ajustements
- Intérêt de l'oxydation glucidique à haute intensité d'effort
- **Méthodes de détermination des seuils**
  - Méthodes ventilatoires
  - Méthodes lactiques
- Significations cliniques des seuils

# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

## Méthode de détermination des seuils

### B) Méthode lactique



# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

- Relation entre oxydation glucidique et cinétique des ajustements
- Intérêt de l'oxydation glucidique à haute intensité d'effort
- Méthodes de détermination des seuils
  - Méthodes ventilatoires
  - Méthodes lactiques
- **Significations cliniques des seuils**

# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l' Exercice en Rampe

## Signification Physiologique des Seuils

### Premier seuil – SV1

- Intensité d'apparition de la dyspnée
- Intensité pour laquelle la mitochondrie doit être stimulée pour continuer à assurer correctement les processus aérobies
- Intensité cible pour l'entraînement, le réentraînement
- Zone de référence (en % du max et/ou en % du max théorique) comme témoin du déconditionnement
- Intensité de capacité fonctionnelle « utile » avec implication en médecine du travail et comme marqueur du déconditionnement
- Critère de gravité en pathologie (IC)

# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

## Signification Physiologique des Seuils

### Deuxième seuil – SV2

**Signification physiologique aujourd'hui controversée au niveau des mécanismes explicatifs et donc de l'intérêt pratique.**

- Reste utilisé dans le cadre de l'entraînement sportif : Intensité associée à la performance maximale en endurance (contre la montre sur 1 h, en course à pieds du 10 kms au semi-marathon selon le niveau)
- Sur une base physiologique fausse, intensité au delà de laquelle le tamponnement de l'acidose n'est plus possible « zone rouge »

# Adaptations cardiocirculatoires à l'Exercice en Rampe

Equation de Fick:

FC \* VES



$$\dot{V}O_2 = \dot{Q}c \times (CaO_2 - C\bar{v}O_2)$$

4 L/min

(20 - 5 = 15)

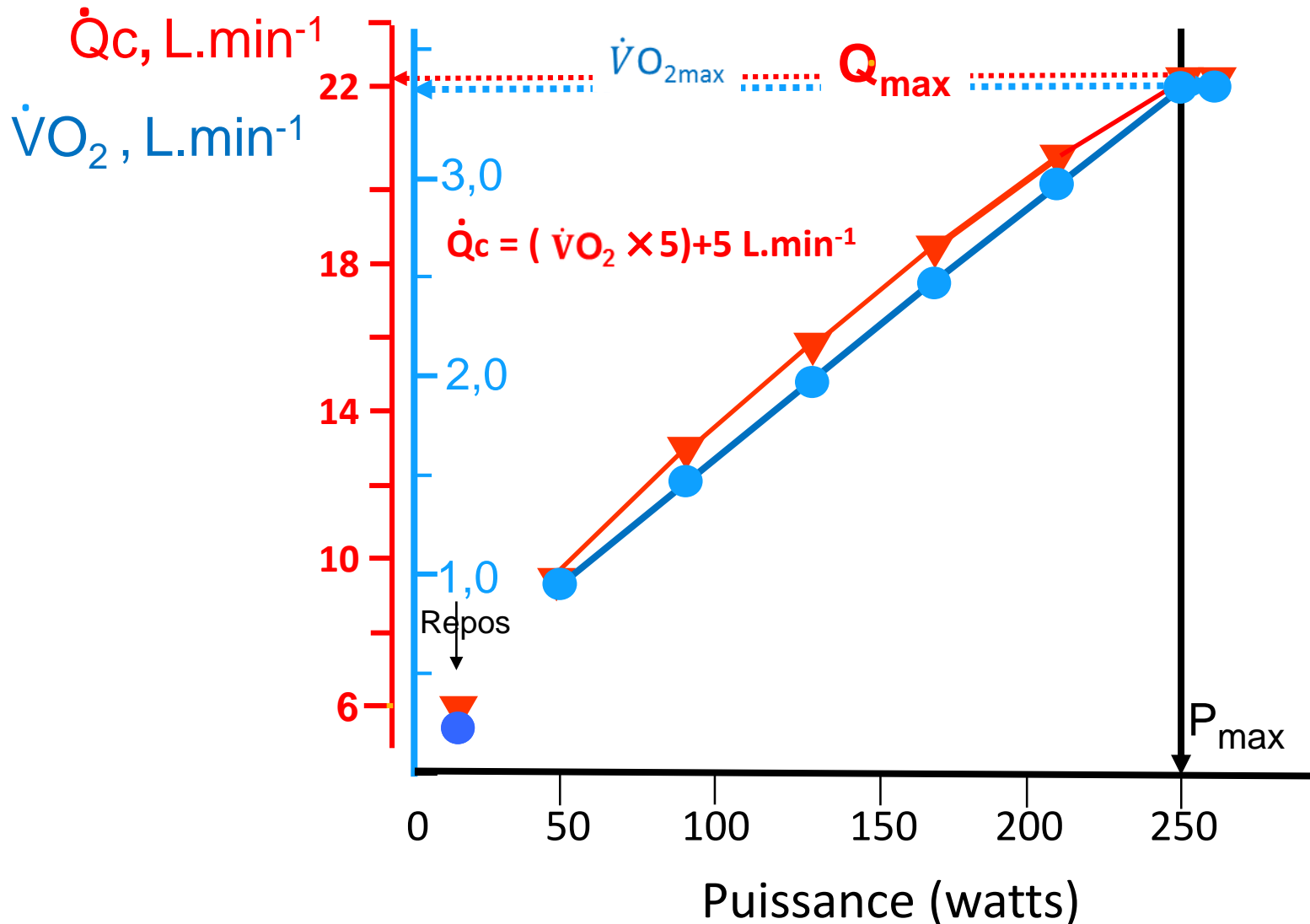
Variation entre le  
repos et le max

**x 12**

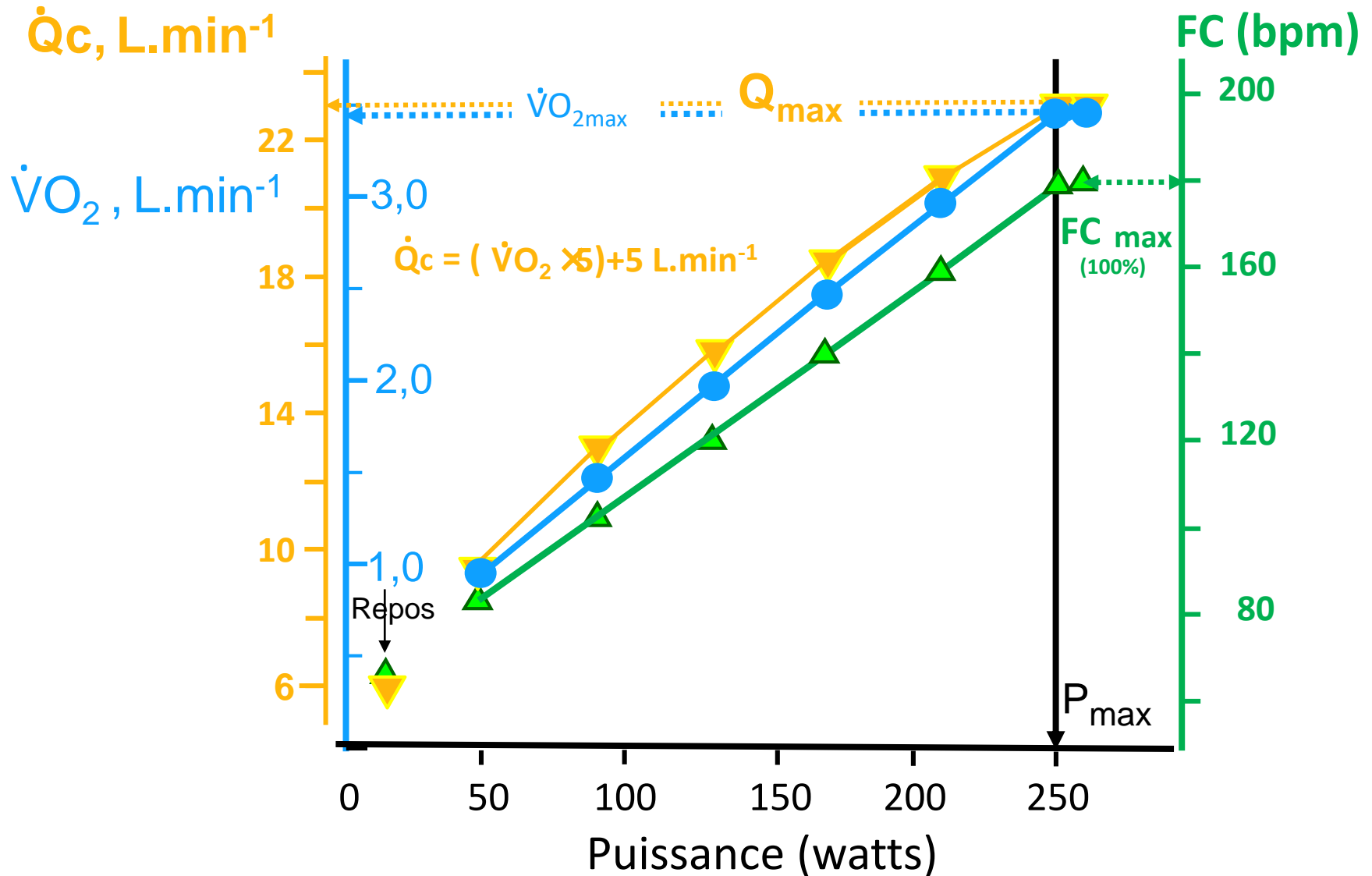
**x 4**

**x 3**

# Evolution du débit cardiaque lors de l'exercice incremental



# Evolution de la fréquence cardiaque lors de l'exercice incrémental



# Evolution de la fréquence cardiaque lors de l'exercice incrémental

- FC max dépendant de l'âge, non influencée par l'entraînement

– Équation prédictive :

220 – âge

**210- [0,65\*âge] ±10 bpm**

Exemples =

20 ans  $\Rightarrow$  197 bpm

60 ans  $\Rightarrow$  171 bpm

80 ans  $\Rightarrow$  158 bpm

- Réserve cardiaque:

**$(FC_{max} - FC_{max\ théorique}) / FC_{max\ théorique}$**

- index chronotrope:

**$0,8 < \% RC / \% P_{max\ th} < 1,3$**

# Evolution du Volume d'Ejection Systolique lors de l'exercice incrémental

- Évolution curvilinéaire,  
↗ jusqu'à 30-50%  $VO_2$ max (140 ml)
- VES max = 1,5 \* VES repos
- Estimation par pouls d' $O_2$ :

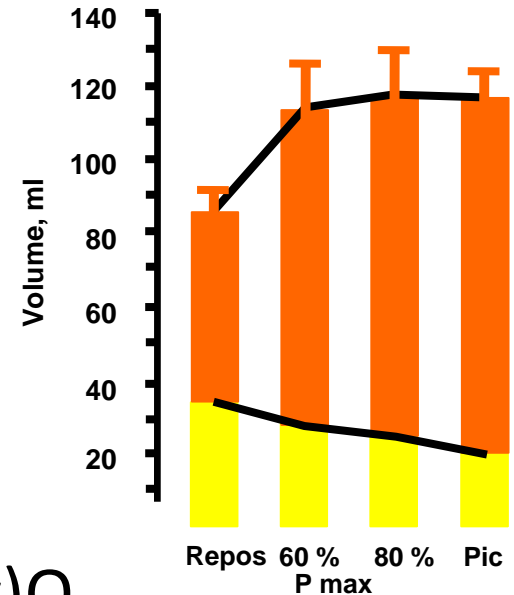
$$VO_2 / FC = VES * D(a-v)O_2$$

Hypothèse:  $D(a-v)O_2$  normale et stable

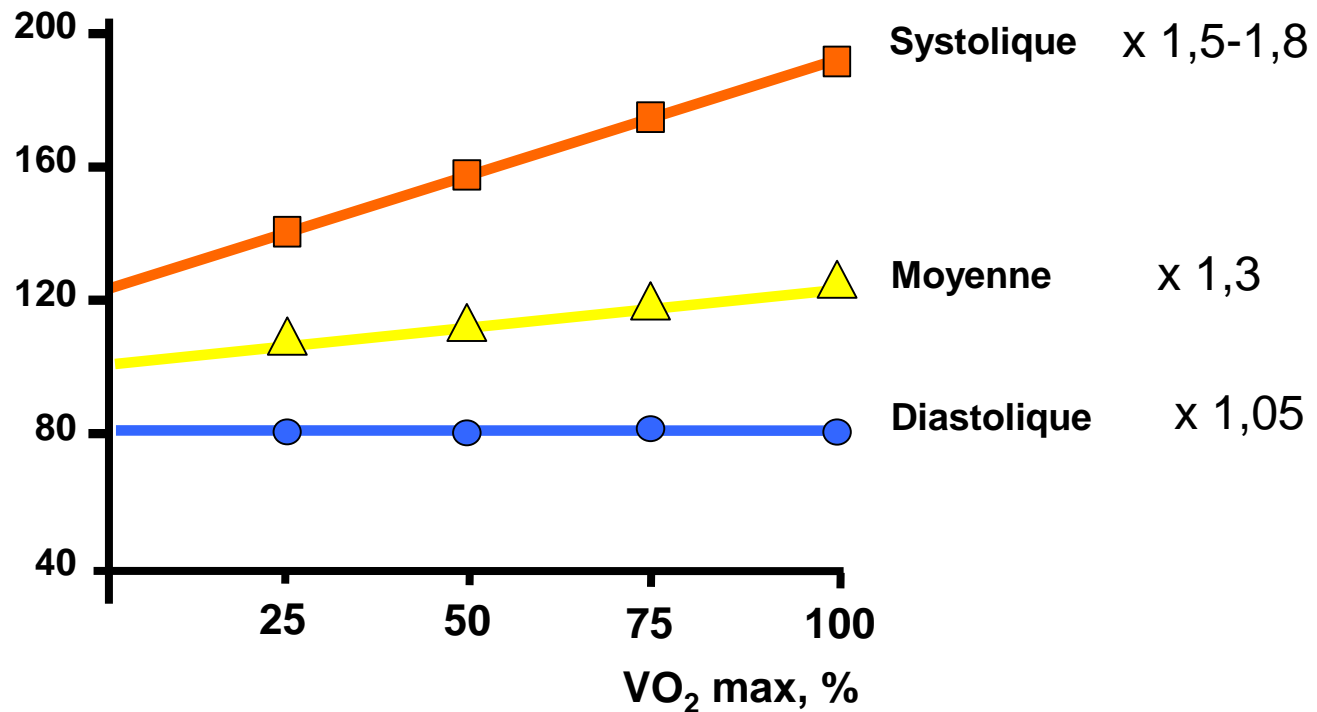
Non vérifié si défaut utilisation musculaire  $O_2$  (« myopathie »)

N au max =  $14 \pm 2$  ml  $O_2$  /batt

Cinétique d'évolution +++



# Evolution de la Pression Artérielle lors de l'exercice incrémental



# Electrocardiogramme

- 12 dérivations, continu
- Ischémie myocardique:
  - Sous-décalage ST  $> 1$  mm ( 60 à 80 ms après le point J), rectiligne ou descendant (sensibilité 68%)
  - Ascendant: à interpréter en fonction des FdR CV
  - Dérivations concernées:
    - V4-V6
    - Inf: augmentation % faux positif (femme +++)
- Troubles du rythme ou de conduction

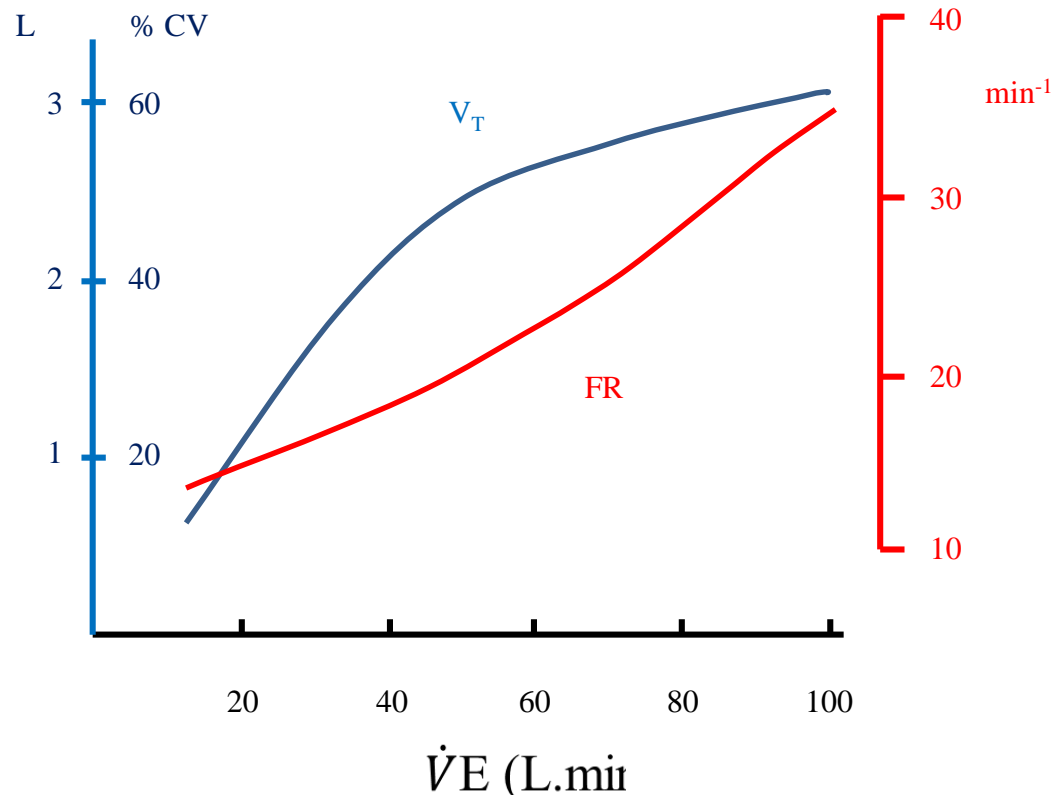
# Adaptations ventilatoires lors de l'exercice incrémental

$$V_T \times FR = \dot{V}_E$$

x5-6

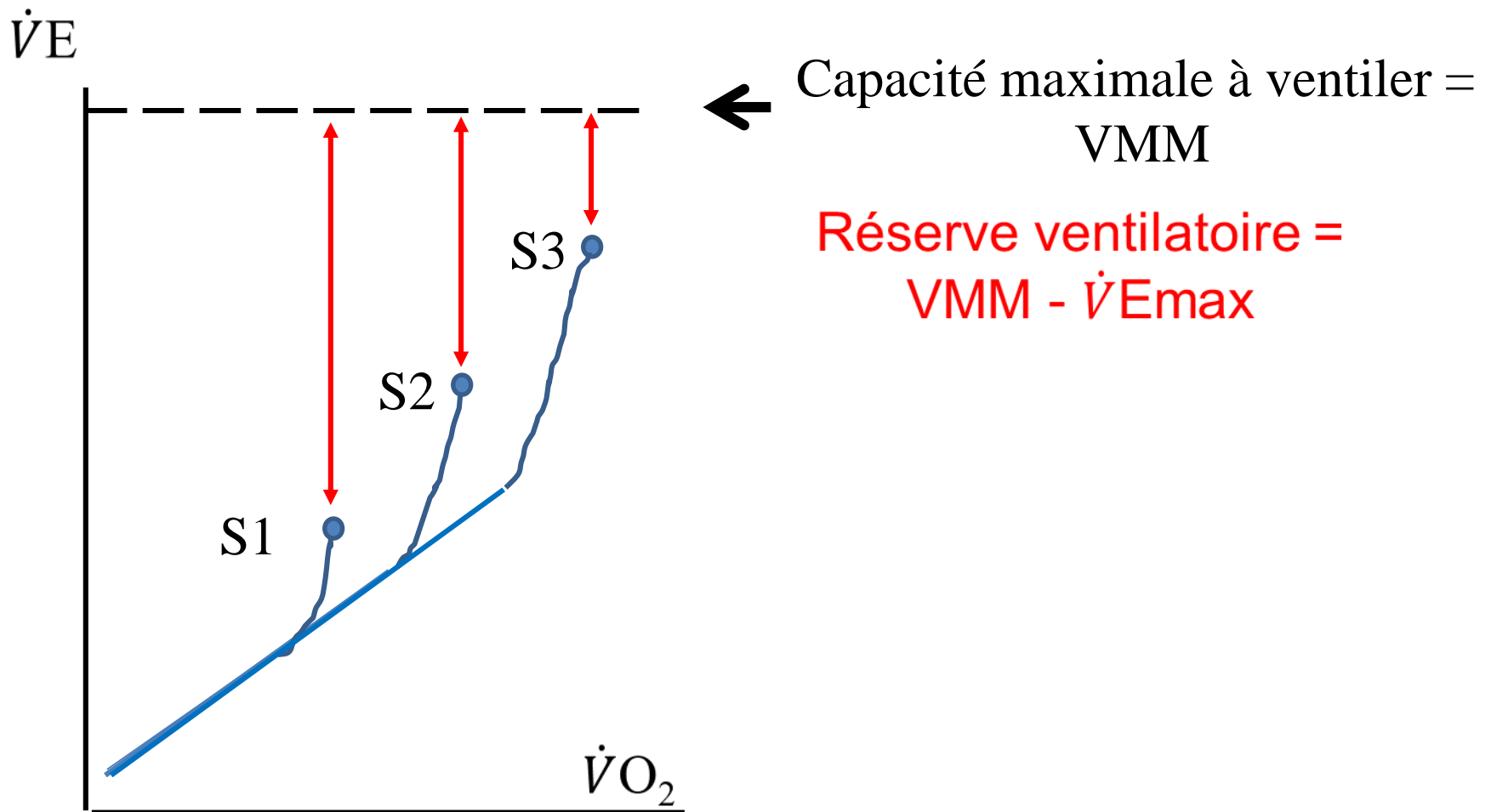
x2-3

x10-18



# Adaptations ventilatoires lors de l'exercice incrémental

Existence d'une réserve ventilatoire au  
maximum de l'exercice



## Adaptations ventilatoires lors de l'exercice incrémental

$$RV \text{ (L/min)} = VE_{\text{max}} - (35 \times VEMS)$$

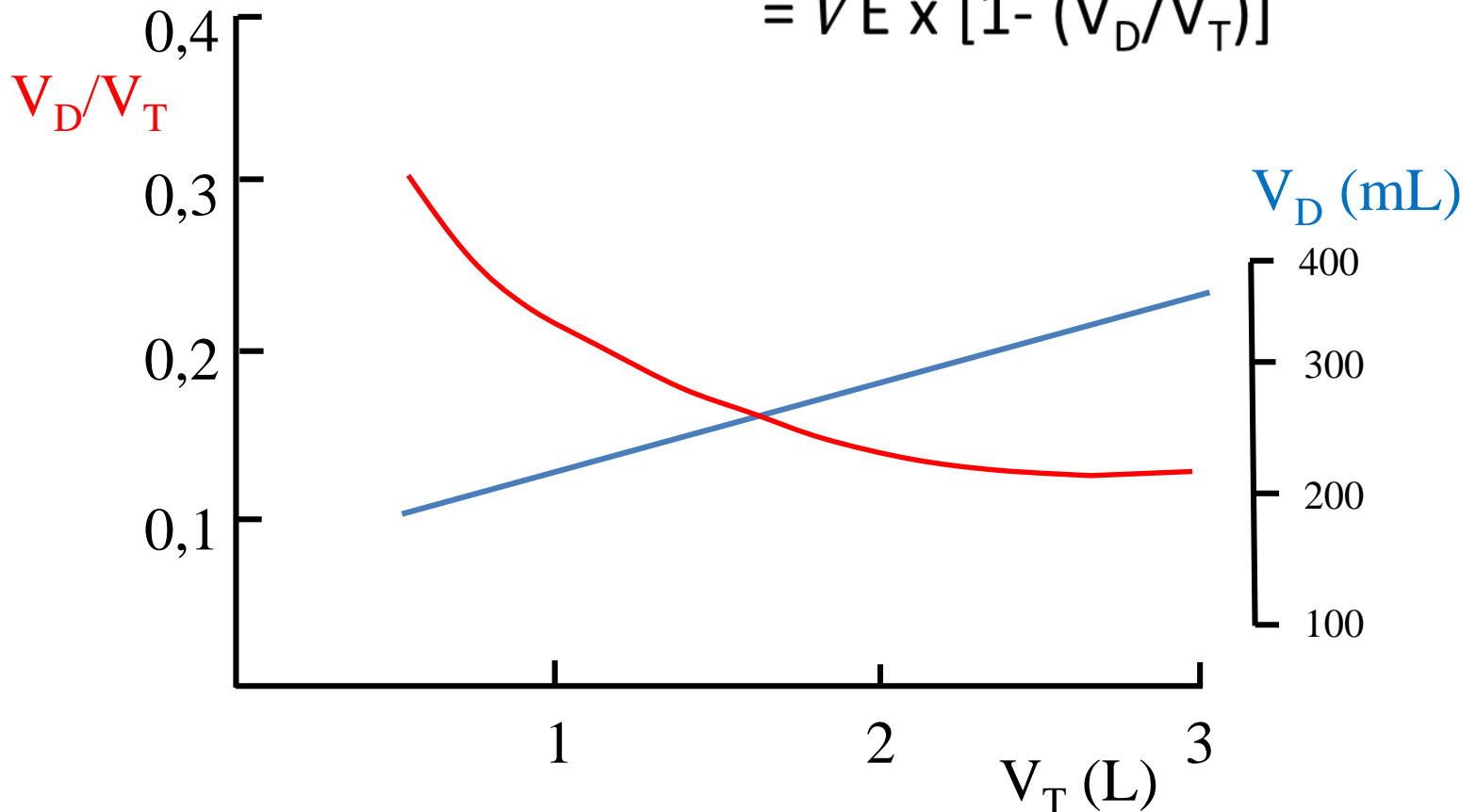
$$RV \text{ (\%)} = VE_{\text{max}} - (35 \times VEMS) / (35 \times VEMS)$$

RV normale  $\geq$  20-30 L/min ou 20-30%

# Adaptations ventilatoires lors de l'exercice incrémental

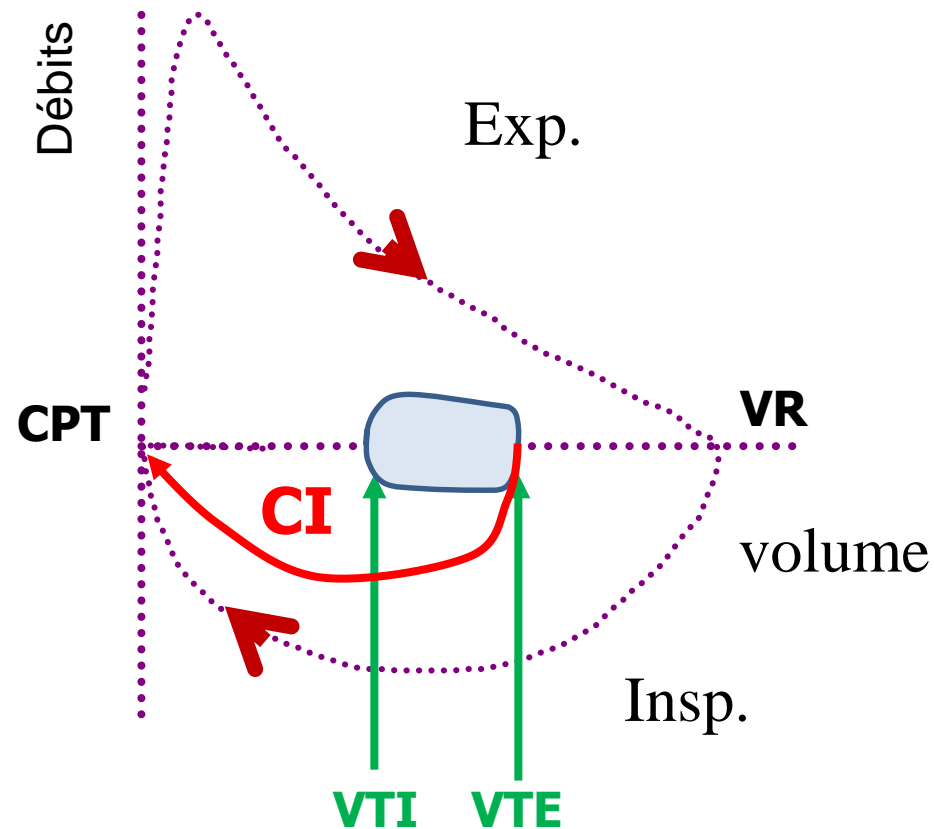
Augmentation de la ventilation alvéolaire par une diminution de la ventilation de l'espace mort

$$\begin{aligned}\dot{V}A &= (V_T \times FR) - (V_D \times FR) \\ &= \dot{V}E \times [1 - (V_D/V_T)]\end{aligned}$$



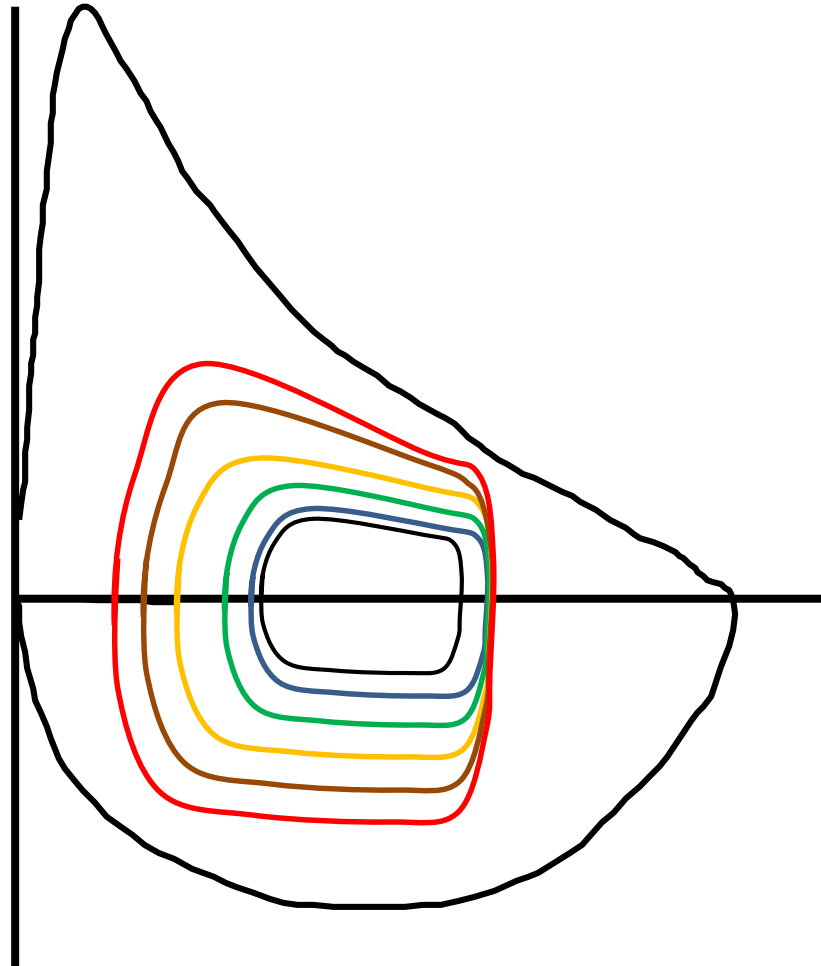
# Adaptations ventilatoires lors de l'exercice incrémental

Visualisation du volume courant sur la boucle D/V maximale et  
recalage du niveau ventilatoire de repos (CRF)

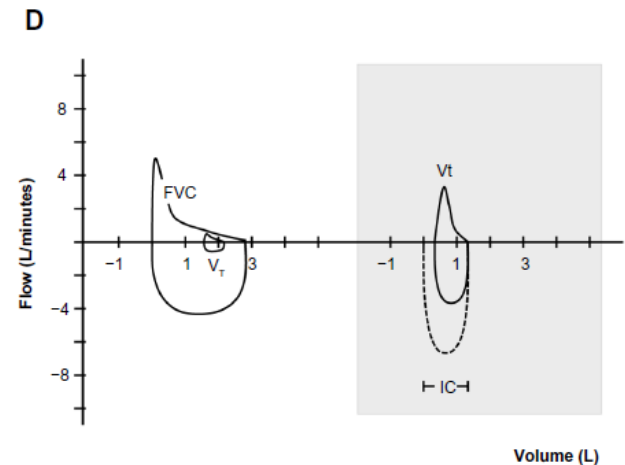
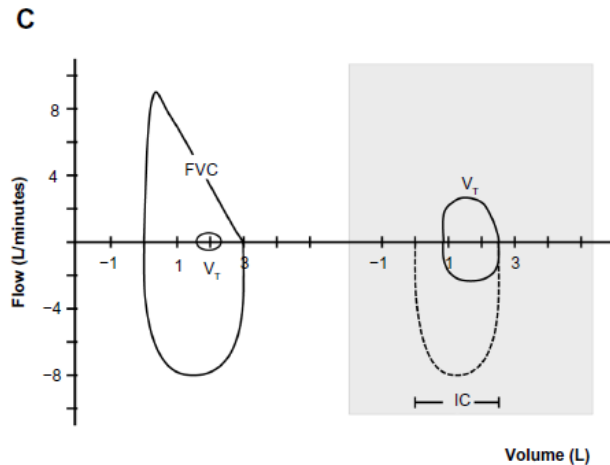
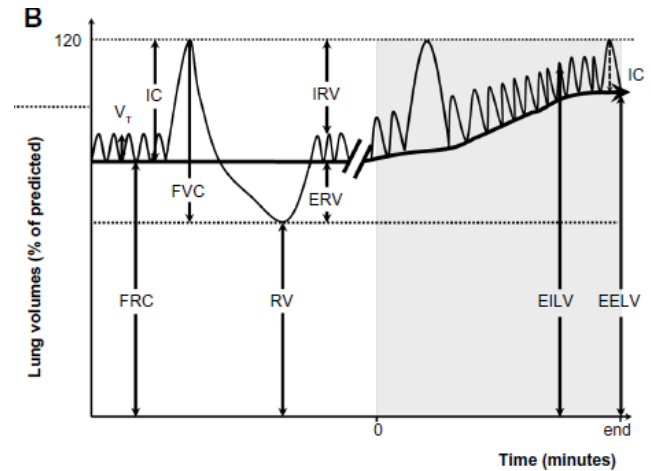
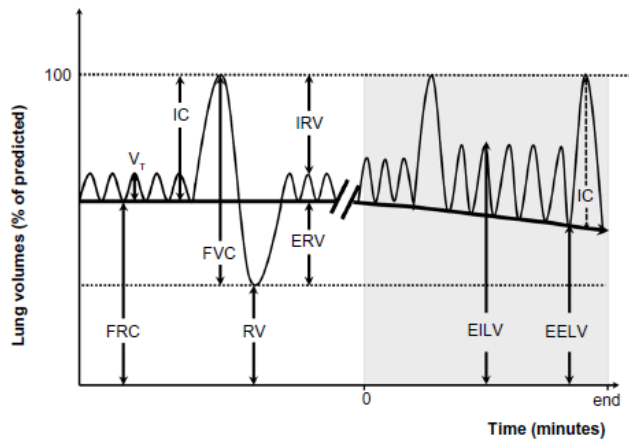


# Adaptations ventilatoires lors de l'exercice incrémental

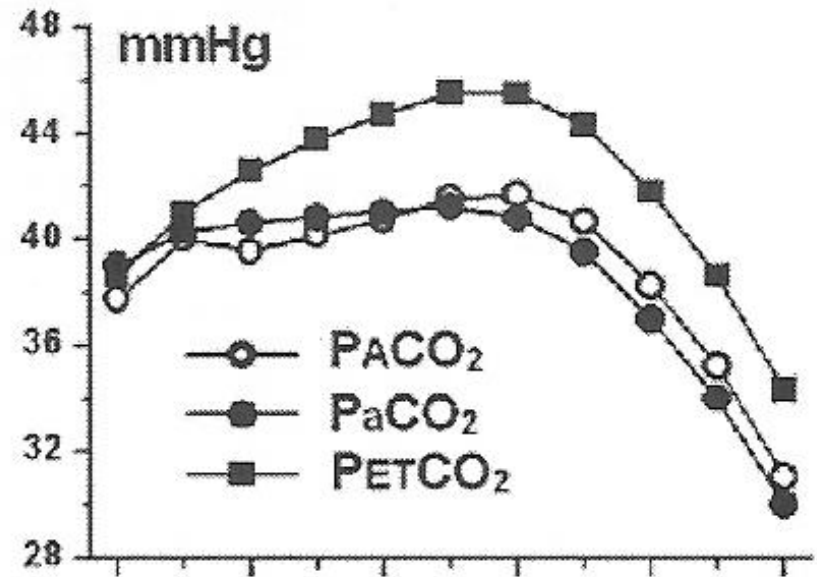
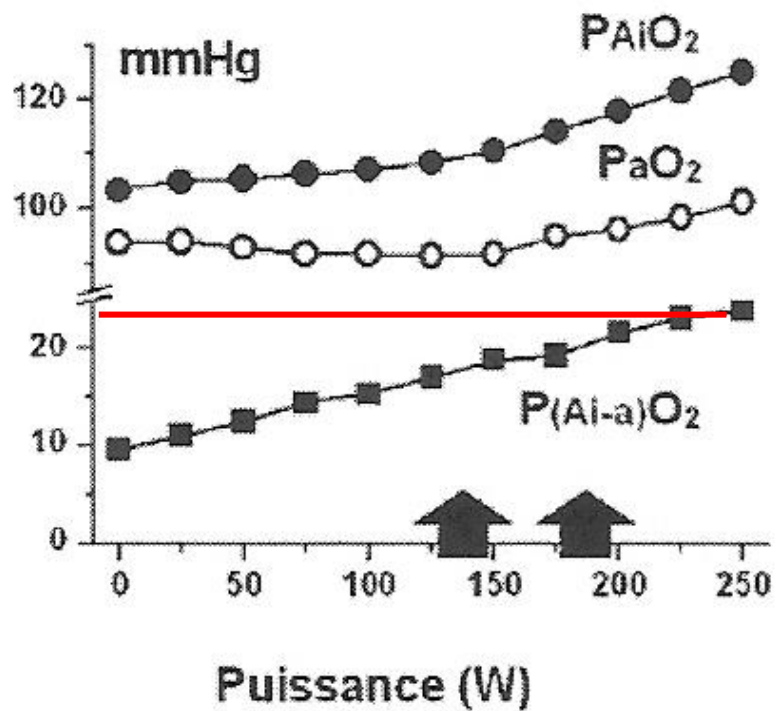
Evolution de la boucle D/V spontanée au cours de l'exercice



# Mise en évidence d'une hyperinflation dynamique à l'exercice = réduction de la capacité inspiratoire



# Adaptations O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> lors de l'exercice incrémental



# PLAN

## **1<sup>ère</sup> Partie : Le fonctionnement des ergospiromètres**

Principes de fonctionnement des appareils

Principaux paramètres mesurés

## **2<sup>ème</sup> Partie : Méthodologie de l' épreuve (Efx)**

Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice

## **3<sup>ème</sup> Partie : Analyse physiologique des réponses**

Remarques préliminaires (Glucides, Energie Aérobie, PaCO<sub>2</sub>)

Physiologie des ajustements

## **4<sup>ème</sup> Partie : L' interprétation**

Analyse en 7 points

Cas cliniques

# PLAN

## **4<sup>ème</sup> Partie : L'interprétation**

Analyse en 7 points

Arbre diagnostic

Critères de gravité

Principales pathologies

Cas cliniques

# Les règles chronologiques de l'analyse

## Analyse systématique et chronologique en 7 étapes

- 1) Efx est-elle interprétable ?
- 2) Efx est-elle maximale ?
- 3) Niveau de capacité fonctionnelle du sujet.
- 4) Analyse des échanges respiratoires.
- 5) Analyse des ajustements cardio-circulatoires.
- 6) Adaptation musculaire à l'exercice.
- 7) Analyse des échanges gazeux.

A) Synthèse des 7 points

B) Hypothèses mécanistiques et diagnostic

# Les règles chronologiques de l'analyse

## Analyse chronologique

1) L'Efx est-elle interprétable ?

### Précision des mesures

$VO_2$  Théorique = (10-11) × Puis (Watts) +  $VO_2$  basale (Exc. incrément).

$VO_2$  Théorique = (12-14) × Puis (Watts) +  $VO_2$  basale (Exc. état stable).

$\Delta VO_2 / \Delta$  Watts  $\approx$  10,3 lors d'un exercice en rampe

$VO_2$  basale = (3,5-5) × poids (kg)

1 MET = 3,5 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>

# Les règles chronologiques de l'analyse

## Analyse chronologique

### 2) L'Efx est-elle maximale ?

#### Critères de maximalité

##### Critères pour un sujet sain

- $\dot{V}O_2$  stable malgré l'augmentation de puissance  
(Pour + 15 W,  $\dot{V}O_2 < 150 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ )
- $F_{c\max} > 90\%$   $F_c$  maximale théorique
- $[\text{Lac}]_{\max} > 8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  et/ou (pH  $\downarrow$  0,04)
- $QR > 1,1$

##### Les paramètres respiratoires

- Réserve respiratoire  $\ll 30\%$
- $VE/\dot{V}O_2 \gg 35$

**Efx limitée par les  
symptômes?**

# Les règles chronologiques de l'analyse

## Analyse chronologique

### 3) Capacité fonctionnelle du sujet.

VO<sub>2</sub>max ou épreuve limitée par les symptômes (pic VO<sub>2</sub>)

Critère de capacité fonctionnelle

Pic VO<sub>2</sub> < 80% de la valeur théorique pour un sujet sédentaire sain

# Les règles chronologiques de l'analyse

## Analyse chronologique

### 4) Analyse des ajustements ventilatoires.

Valeurs théoriques de ventilation valeur stable des équivalents (avant  $SV_1$ )

$$VE/VO_2 = 27 \pm 4$$

$$VE/VCO_2 = 29 \pm 5$$

$$VE = 21,8 \times VO_2 (\text{l}\cdot\text{min}^{-1}) + 5$$

Réponse ventilatoire au pic de l'effort

$RV < 15\%$  ( $\approx 30\%$  chez le sujet sédentaire sain)

$$RV < 11 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$$

$$fR > 45 / \text{min}$$

$$Vt \approx 60\% VC$$

# Les règles chronologiques de l'analyse

## Analyse chronologique

### 5) Analyse des ajustements cardio-circulatoires.

#### Fréquence cardiaque

Fcmax théorique = 220 – âge (avant 40 ans)

Fcmax théorique = 210 – (0,65 × âge) (après 40 ans)

#### Pression artérielle

PASmax < 240

PADmax < 120

#### Pouls d'oxygène

$VO_2/Fc = VES \times D(av)O_2$

$VO_2/Fc > 70\%$  de  $(VO_2 \text{ théorique} / Fc \text{ théorique})_{\max}$

# Les règles chronologiques de l'analyse

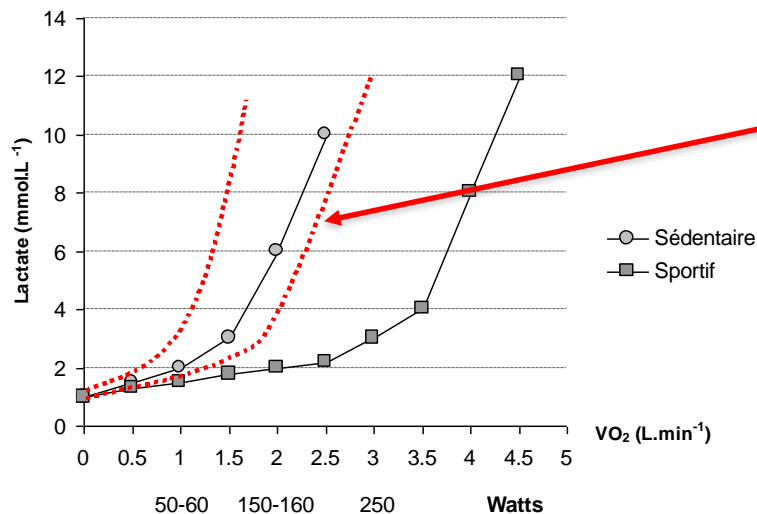
## Analyse chronologique

### 6) Adaptation du muscle à l'exercice.

Puissance/poids < 1 – 1,5 W·kg<sup>-1</sup>

VO<sub>2</sub>(au SV<sub>1</sub>) < 40% de la VO<sub>2</sub>max théorique

Relation [Lac] / puissance anormale



Entre les lignes rouges, les valeurs qui peuvent-être considérées comme normales

# Les règles chronologiques de l'analyse

## Analyse chronologique

### 7) Analyse des échanges gazeux

$P(A-a)O_2 < 35$  mmHg au pic d'effort

Au repos  $\approx (1/3 \times \text{âge}) - 2$  mmHg

Au pic  $\approx$  Valeur de repos +  $(5,5 \times VO_2(l \cdot \text{min}^{-1}))$

$Vd/Vt = (PaCO_2 - PetCO_2) / PaCO_2$

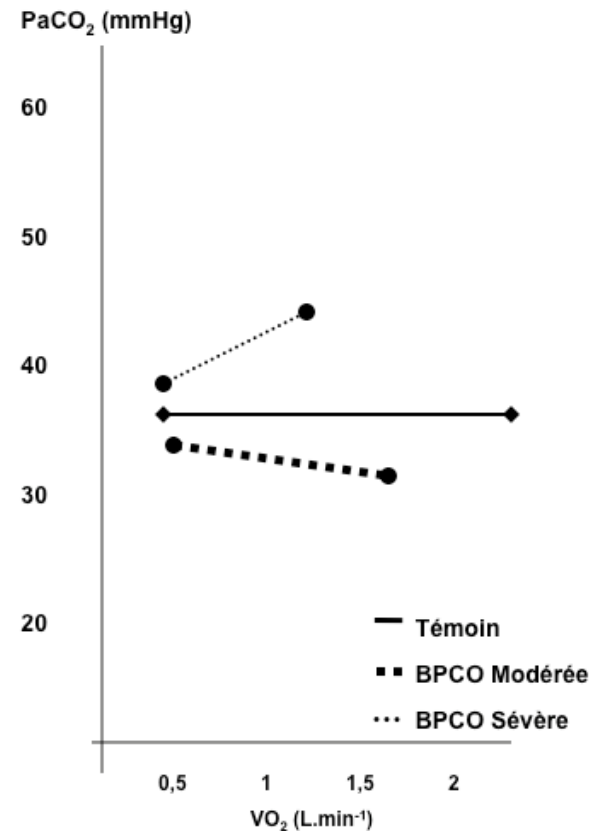
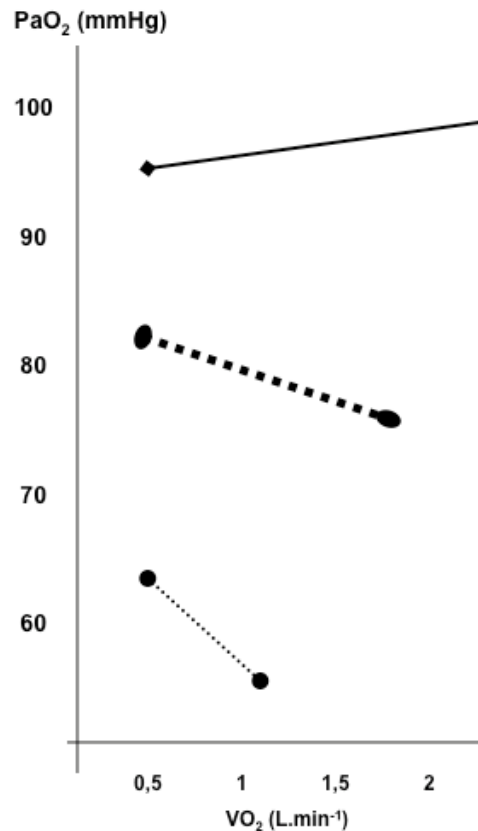
Au repos  $\approx 0,3 - 0,4$

A l'effort  $\approx (0,4 \times \text{âge}) / 100$

# Les règles chronologiques de l'analyse

## Analyse chronologique

### 7) Analyse des gaz du sang



# Les règles chronologiques de l'analyse

## Analyse chronologique

### A) Synthèse des 7 points

### B) Hypothèses mécanistiques et diagnostic

Après une analyse systématique des différentes étapes il est possible d'identifier l'origine de la limitation.

## Arbre diagnostic

## Principales causes des limitations

# PLAN

## **4<sup>ème</sup> Partie : L'interprétation**

Analyse en 7 points

Arbre diagnostic

Critères de gravité

Principales pathologies

Cas cliniques

# Analyse intégrative des réponses à l'EFx

Limitation des capacités fonctionnelles  
Pic  $\text{VO}_2 < 80\%$  Valeur théorique sédentaire



OUI

RV de fin d'effort ?

RV > 30%

RV < 30%

Origine  
Cardio-circulatoire

Origine  
Musculaire

Origine  
Respiratoire

RC Epuisée  
RC ↑ (Incomp. Chron.)  
 $\text{PoO}_2$  ↓ (VES ↓)  
TAS et/ou TAD ↑↑

Fc max < FCMThéor  
QR > 1,1-1,2  
Rapport Lact/Puis ↑  
 $\text{PoO}_2$  ↓ ( $\text{DavO}_2$  ↓)  
1<sup>er</sup> Seuil précoce

RV < 15%  
RV < 11 l·min<sup>-1</sup>  
VE/ $\text{VO}_2$  > 35  
↓ SpO<sub>2</sub>  
RC normale

# PLAN

## **4<sup>ème</sup> Partie : L'interprétation**

Analyse en 7 points

Arbre diagnostic

Critères de gravité

Principales pathologies

Cas cliniques

# Analyse intégrative des réponses à l'EFx

## Critères de gravité :

Ces critères ne sont pas liés spécifiquement à la pathologie mais pour toutes les pathologies ils constituent des critères de gravité

$VO_2\text{pic}$  < 14 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>

$VO_2$  au seuil < 11 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>

$VE/VCO_2$  < 34 dans sa portion horizontale

$VE/VO_2$

# Analyse intégrative des réponses à l'EFx

## Critères de gravité :

Signification physiologique de l'équivalent respiratoire pour l'oxygène  $VE/VO_2$

**Question 1**  
 $VE/VO_2=20$

Réponse : Il faut ventiler 20 l d'air pour consommer 1 l d'oxygène, notion de rendement ventilatoire

## Question 2

A même puissance :  
Sujet A :  $VE/VO_2=25$   
Sujet B :  $VE/VO_2=35$

Réponse : pour une même puissance mécanique, donc une même  $VO_2$ , le sujet B est obligé de mobiliser 10 l d'air supplémentaires

# PLAN

## **4<sup>ème</sup> Partie : L'interprétation**

Analyse en 7 points

Arbre diagnostic

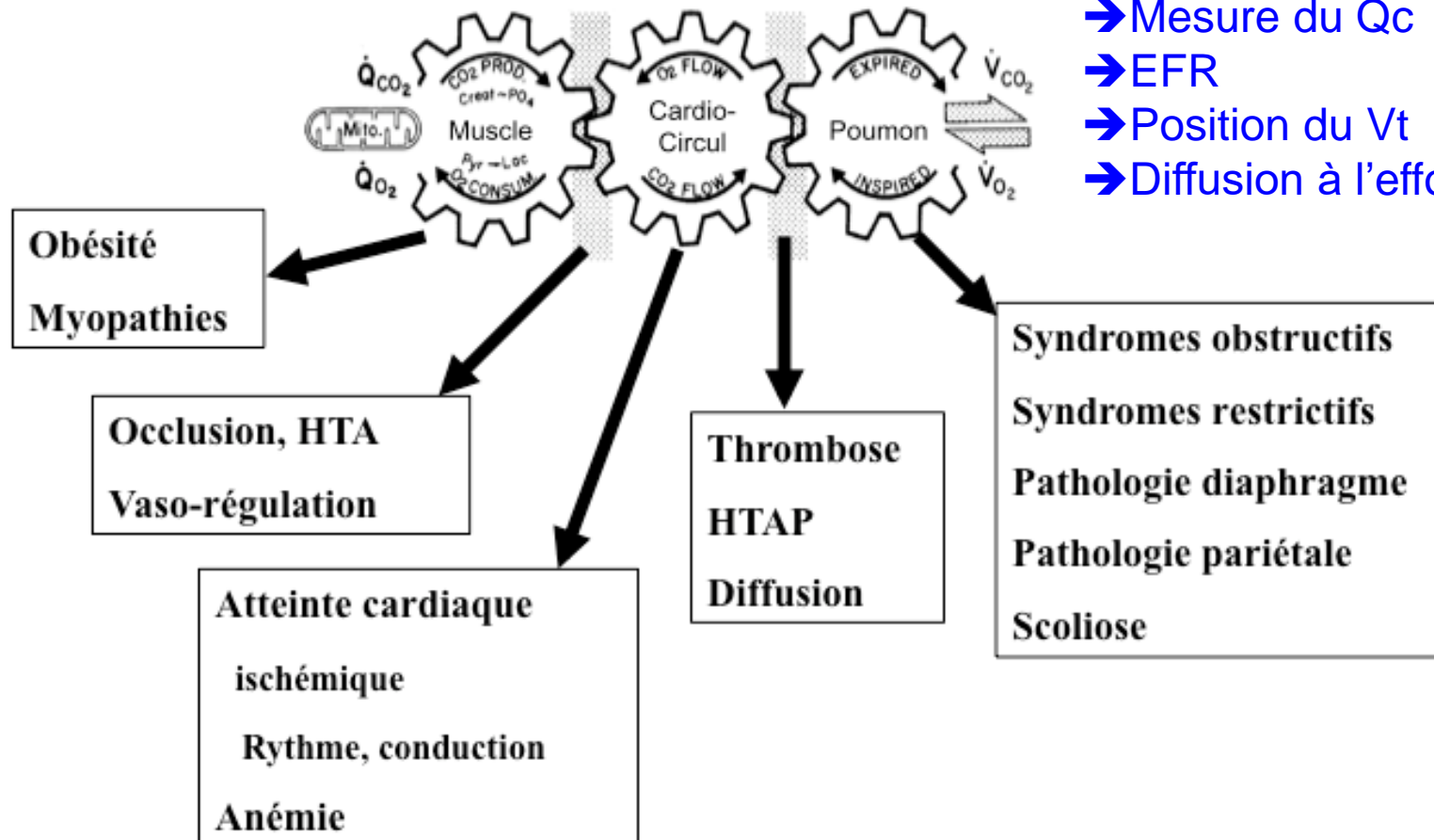
Critères de gravité

**Principales pathologies**

Cas cliniques

# Analyse intégrative des réponses à l'EFx

- Gaz du sang
- Mesure du  $Q_c$
- EFR
- Position du  $V_t$
- Diffusion à l'effort



# Réponses à l'exercice incrémental dans les pathologies cardiaque et respiratoire

Paramètre	BPCO	PID	PVP	ICC	Déconditionné
$\dot{V}O_2\text{max}$ ou $\dot{V}O_{2SL}$	↘ à ↘↘ *	↘	↘	↘ à ↘↘ *	N <sup>ale</sup> ↘ modérée
Seuil ventilatoire	↘ à ↘↘	N <sup>al</sup> ou ↘	N <sup>al</sup> ou ↘	↘ à ↘↘ *	↘ modérée
Réserve chronotrope = $FC_{\text{max}} - FC_{\text{maxthéor}} / FC_{\text{maxthéor}}$	↗ ou N <sup>ale</sup>	↗ ou N <sup>ale</sup>	N <sup>ale</sup>	Svt ↗ ↗ si β-bloquants	N <sup>ale</sup>
Pouls O <sub>2</sub>	N <sup>al</sup>	↘	↘	↘↘	N <sup>al</sup>
Réserve ventilatoire	↘↘	N <sup>ale</sup> ou ↘	N <sup>ale</sup>	↗	N <sup>ale</sup>
$\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ (au SV)	↗ à ↗↗	↗	↗	↗ à ↗↗ *	N <sup>ale</sup>
P(A-a)O <sub>2</sub>	N <sup>ale</sup> à ↗↗	↗↗	↗	N <sup>ale</sup>	N <sup>ale</sup>
Désaturation	± présente	présente	présente	absente	absente
VD/VT	↗	↗↗	↗↗	↗	N <sup>ale</sup>

PCCO : Bronchopneumopathie chronique obstructive ; PID : Pneumopathie interstitielle diffuse ; PVP : Pathologie vasculaire pulmonaire ; ICC : Insuffisance cardiaque chronique ; VD/VT : Volume de l'espace mort/volume courant.

\* Indice pronostic

D'après Hayot M in La réhabilitation du malade respiratoire chronique

# PLAN

## **4<sup>ème</sup> Partie : L'interprétation**

Analyse en 7 points

Arbre diagnostic

Critères de gravité

Principales pathologies

Cas cliniques (1/3)

# Case number 1- D Ch

- Patient with chronic disease.
- Referred by the medical team for a CPET.
- The patient describes symptom of dyspnea on mild physical activities of daily living.

Ramp exercise test

Warm up 15 W for 3 minutes

Increment 5 W per minute

<i>D Ch</i>	
09/11/1949	
Féminin	
56	ans
167	cm
61	kg
21,9	IMC

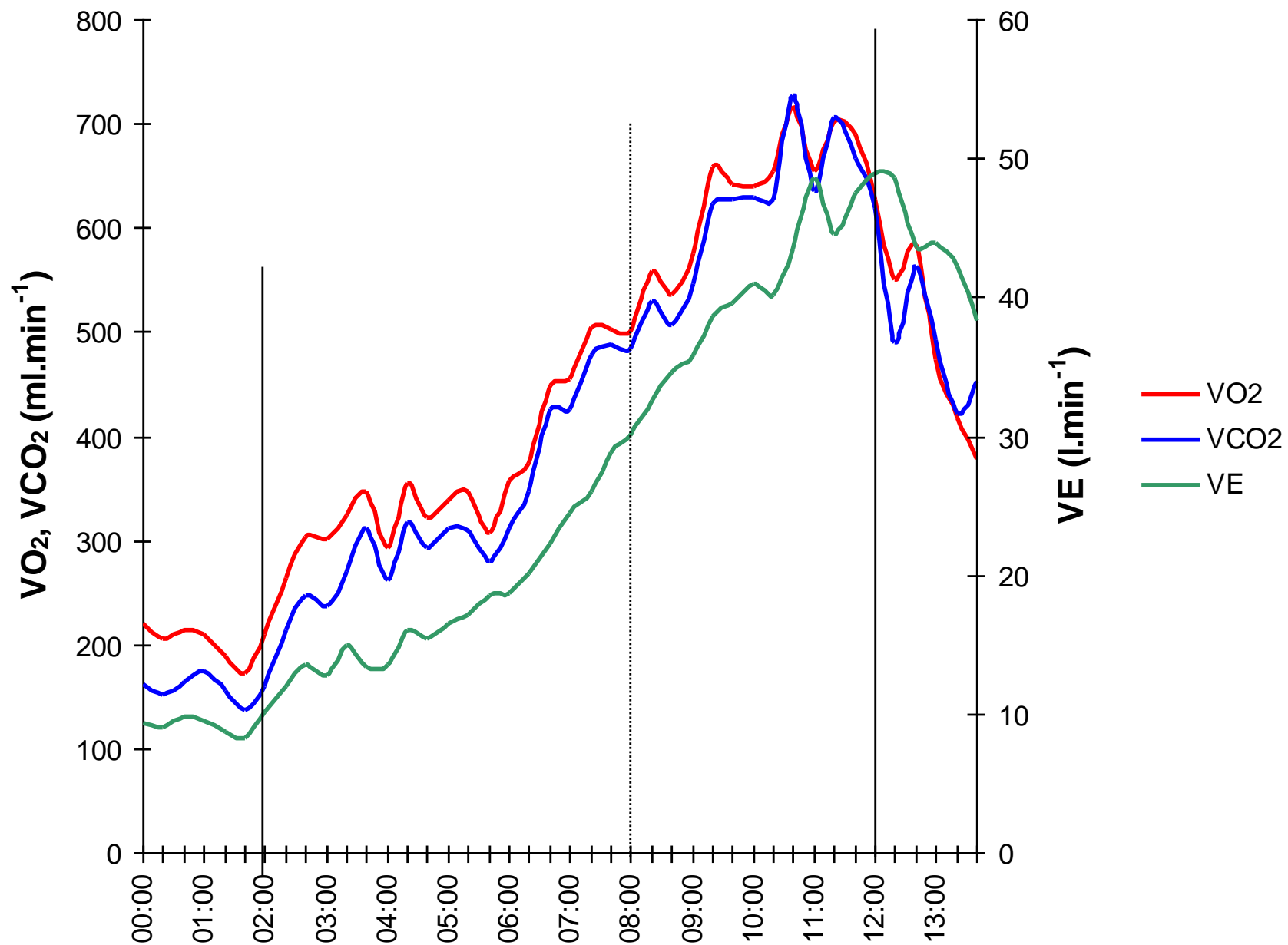
		Mesurée	Théorique
CV	ml	3180	1910
VEMS	ml	1370	2620
VEMS/CV	%	52%	
VMM	L.min <sup>-1</sup>	56	

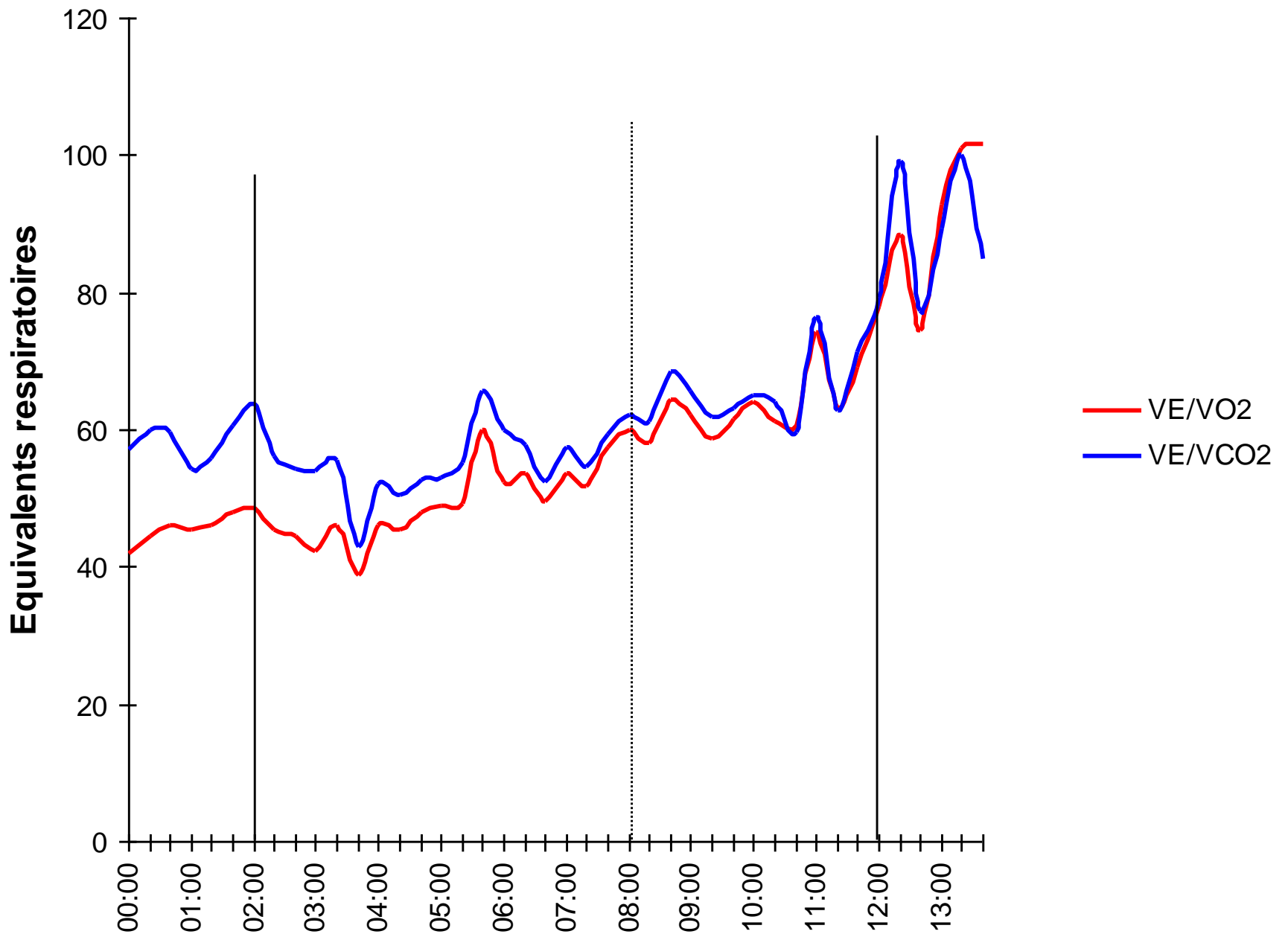
<i>Hb</i>	mg.dl <sup>-1</sup>	
-----------	---------------------	--

31/03/2005

<i>Echauffement</i>	15 w / 3 min
<i>Incrément</i>	5 W / 1 min

		Repos	Seuil 1	Seuil 2	Max Observé	Max Théorique
<i>Borg</i>						
<i>Dyspnée</i>						
<i>Fatigue</i>						
<i>Réponse Métabolique</i>						
<i>Puissance</i>	Watt	0	30		50	174
<i>Puissance</i>	Watt.kg <sup>-1</sup>	0	0,49		0,82	2,85
<i>VO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup>	221	478		703	1396
<i>VO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup>	3,62	7,84		11,52	22,89
<i>QR</i>		0,73			1,01	> 1,1
<i>Lactatémie</i>	mmol.l <sup>-1</sup>	1,23			5,52	
<i>Réponse Ventilatoire</i>						
<i>VE</i>	L.min <sup>-1</sup>	9,3	26,2		49	50-56
<i>Vt</i>	ml	413	618		1020	
<i>FR</i>	Cycle.min <sup>-1</sup>	23	44		48	
<i>VE/VO<sub>2</sub></i>			54		69	
<i>VE/VCO<sub>2</sub></i>						
<i>Vd/Vt</i>						
<i>Réserve ventilatoire</i>	VMM	17%	47%		88%	> 30
<i>Réserve ventilatoire</i>	35xVEMS	19%	52%		98%	> 30
<i>Réponse Hémodynamique</i>						
<i>FC</i>	batt.min <sup>-1</sup>	78	101		118	164
<i>VES</i>	ml					
<i>Qc</i>	Fick/Imp/N <sub>2</sub> O					
<i>D(a-v)O<sub>2</sub></i>	ml.100ml <sup>-1</sup>					
<i>VO<sub>2</sub>/FC</i>	ml.batt <sup>-1</sup>	2,83	4,73		5,96	8,51
<i>Pression systolique</i>	mmHg	100			140	< 240
<i>Pression diastolique</i>	mmHg	60			70	< 120
<i>Rendement</i>						
<i>VO<sub>2</sub>/Puissance</i>			8,57		9,64	10,3
<i>Pente</i>						
<i>Gaz du sang</i>						
<i>SaO<sub>2</sub> Transcutanée</i>	%	98			91	
<i>PaO<sub>2</sub></i>	mmHg	81,6			69,1	
<i>PaCO<sub>2</sub></i>	mmHg	39			39,5	
<i>SaO<sub>2</sub> mesurée</i>	%	95,1			90,4	
<i>pH</i>		7,41			7,34	





# Is the CPET interpretable

<i>Réponse Métabolique</i>						
<i>Puissance</i>	Watt	0	30		50	174
<i>Puissance</i>	Watt.kg <sup>-1</sup>	0	0,49		0,82	2,85
<i>VO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup>	221	478		703	1396
<i>VO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup>	3,62	7,84		11,52	22,89

Theoretical  $VO_2 = (10-11) \times \text{Power (Watts)} + \text{Basal } VO_2$  for incr. exercise

$\Delta VO_2 / \Delta \text{Watts} \approx 10,3$  during ramp exercise test

Theoretical  $VO_2 = (10 \times 30) + 221 = 521$  (478)

Theoretical  $VO_2 = (10 \times 30) + (3.5 \times 61) = 513$  (478)

$\Delta VO_2 / \Delta \text{Watts} = (703 - 478) / 20 = 11.25$

# Is the CPET maximal

<i>Réponse Ventilatoire</i>						
<i>VE</i>	$\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$	9,3	26,2		49	50-56
<i>Vt</i>	ml	413	618		1020	
<i>FR</i>	$\text{Cycle}\cdot\text{min}^{-1}$	23	44		48	
<i>VE/VO<sub>2</sub></i>			54		69	
<i>VE/VCO<sub>2</sub></i>						
<i>Vd/Vt</i>						
<i>Réserve ventilatoire</i>	VMM	17%	47%		88%	> 30
<i>Réserve ventilatoire</i>	35xVEMS	19%	52%		98%	> 30

## Clinical criteria of maximal exercise

### Criteria for healthy subjects

- $\text{VO}_2$  stable despite the power increase **NO**
- $\text{HR}_{\text{max}} > 90\%$  Theoretical maximal heart rate **NO**
- $[\text{Lac}]_{\text{max}} > 8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  ( $\text{pH} \downarrow 0.04$ ) **YES**
- $\text{RER} > 1.1$  **NO**

### Other respiratory parameters

- Respiratory reserve  $\ll 30\%$  **VR < 30%**
- $\text{VE/VO}_2 > 35$   **$\text{VE/VO}_2 = 54$**

# Functional capacity level

<i>Réponse Métabolique</i>						
<i>Puissance</i>	Watt	0	30		50	174
<i>Puissance</i>	Watt.kg <sup>-1</sup>	0	0,49		0,82	2,85
<i>VO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup>	221	478		703	1396
<i>VO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup>	3,62	7,84		11,52	22,89

VO<sub>2</sub>max or symptom limited exercise test (Peak VO<sub>2</sub>)

Criteria for functional capacity limitation

Peak VO<sub>2</sub> < 80% of the theoretical value for sedentary healthy subject

**Symptom limited exercise test**

**Peak VO<sub>2</sub> / Theoretical VO<sub>2</sub> = 703/1396 = 0.5 (50 %)**

# Respiratory adjustments

<i>Réponse Ventilatoire</i>					
<i>VE</i>	$\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$	9,3	26,2	49	50-56
<i>Vt</i>	ml	413	618	1020	
<i>FR</i>	$\text{Cycle}\cdot\text{min}^{-1}$	23	44	48	
<i>VE/VO<sub>2</sub></i>			54	69	
<i>VE/VCO<sub>2</sub></i>					
<i>Vd/Vt</i>					
<i>Réserve ventilatoire</i>	VMM	17%	47%	88%	> 30
<i>Réserve ventilatoire</i>	35xVEMS	19%	52%	98%	> 30

$$VE/VO_2 = 27 \pm 4$$

54 - 69

$$VE/VCO_2 = 29 \pm 5$$

$$VE = 21.8 \times VO_2 (\text{l}\cdot\text{min}^{-1}) + 5 = 20 - 21$$

49

Ventilatory reserve > 15%

2 to 12%

Ventilatory reserve > 11  $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$

49 - 47.9 =

1.95

fR < 45 / min

44

Vt ≈ 60% VC

# Cardio-circulatory adjustments

<i>Réponse Hémodynamique</i>						
<i>FC</i>	batt.min <sup>-1</sup>	78	101		118	164
<i>VES</i>	ml					
<i>Qc</i>	<i>Fick/Imp/N<sub>2</sub>O</i> l.min <sup>-1</sup>					
<i>D(a-v)O<sub>2</sub></i>	ml.100ml <sup>-1</sup>					
<i>VO<sub>2</sub>/FC</i>	ml.batt <sup>-1</sup>	2,83	4,73		5,96	8,51
<i>Pression systolique</i>	mmHg	100			140	< 240
<i>Pression diastolique</i>	mmHg	60			70	< 120

Theoretical HRmax = 210 – (0.65 × age)

Theoretical HRmax = 173

**118**

Blood pressure

SAPmax < 240

**140**

DAPmax < 120

**70**

Oxygen pulse

VO<sub>2</sub>/HR Theor = 8.51

**5.96**

# Muscle adaptation to exercise

<i>Réponse Métabolique</i>					
<i>Puissance</i>	Watt	0	30	50	174
<i>Puissance</i>	Watt.kg <sup>-1</sup>	0	0,49	0,82	2,85
<i>VO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup>	221	478	703	1396
<i>VO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup>	3,62	7,84	11,52	22,89
<i>QR</i>		0,73		1,01	> 1,1
<i>Lactémie</i>	mmol.l <sup>-1</sup>	1,23		5,52	

Power/weight < 1 – 1.5 W·kg<sup>-1</sup>

50/61=0.8

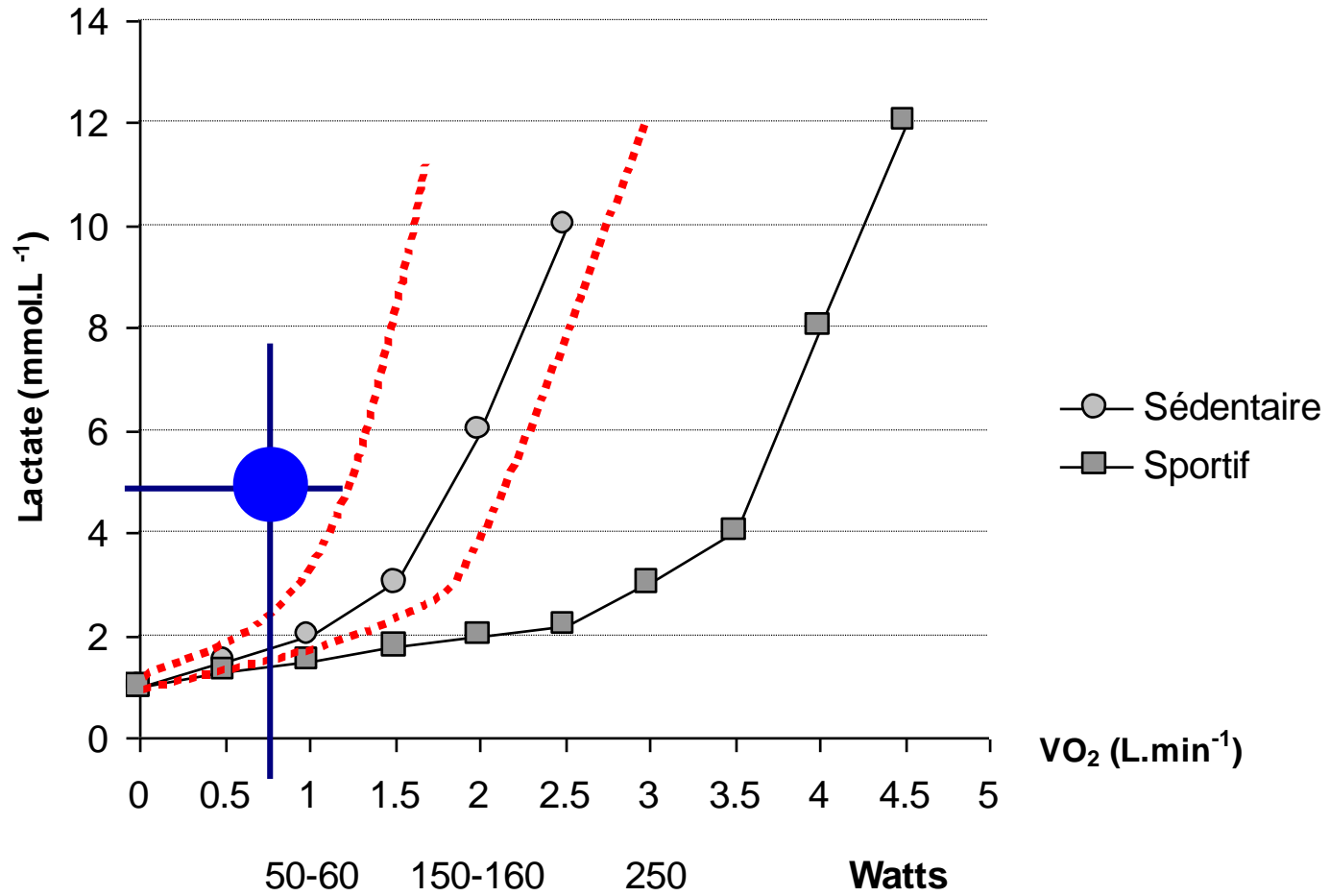
VO<sub>2</sub>(LT) < 40% of theoretical VO<sub>2</sub>max

478/1396=0.34 (34%)

Abnormal [Lac] / power relationship

YES

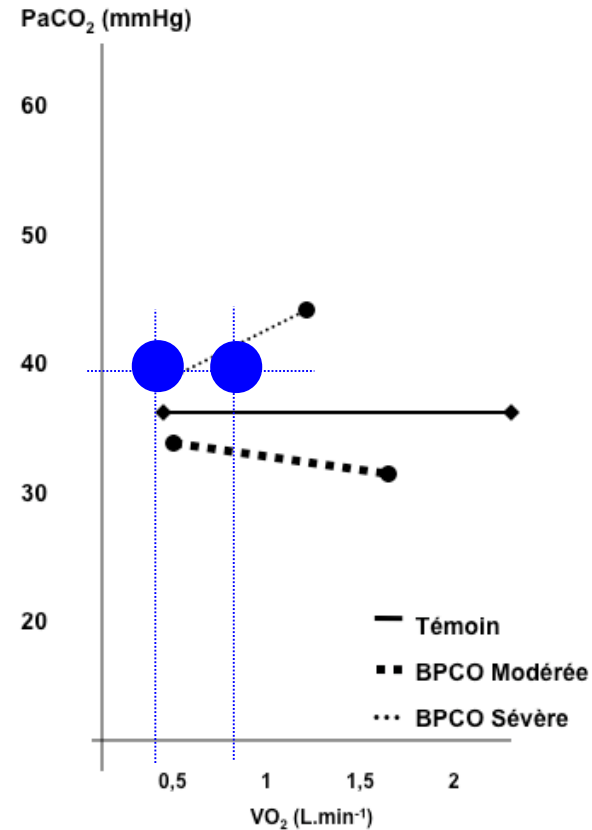
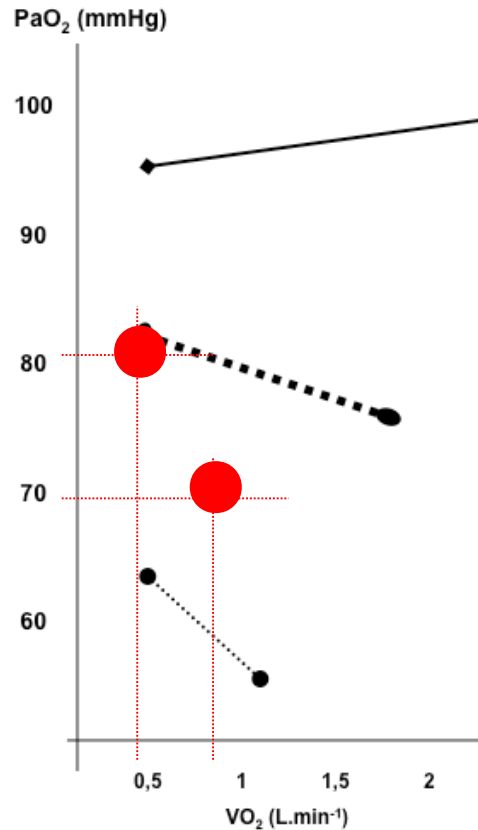
# Muscle adaptation to exercise



# Gaz exchanges

## Gaz du sang

<i>SaO<sub>2</sub> Transcutanée</i>	%	98			91
<i>PaO<sub>2</sub></i>	mmHg	81,6			69,1
<i>PaCO<sub>2</sub></i>	mmHg	39			39,5
<i>SaO<sub>2</sub> mesurée</i>	%	95,1			90,4
<i>pH</i>		7,41			7,34



# Case number 1- D Ch

- CPET “symptom limited”
- Important functional capacity limitation.
- Origin :
  - 1) Respiratory
  - 2) Muscular (likely secondary to a respiratory condition)
- During exercise,  $PO_2$  reduced and desaturation
- No cardiocirculatory abnormality; the low  $O_2$  pulse is likely secondary to a muscular problem

## Case number 1- D Ch

- Exercise dyspnea secondary to the patient's respiratory condition; diffusion abnormalities in the context of Sjögren.
- The muscular limitation is likely related with deconditioning and the chronic use of systemic corticosteroids.

Data missing that would be useful to have:

- 1) DLCO
- 2) A-aO<sub>2</sub> gradients

# PLAN

## **4<sup>ème</sup> Partie : L'interprétation**

Analyse en 7 points

Arbre diagnostic

Critères de gravité

Principales pathologies

Cas cliniques (2/3)

# Case number 2- Be

- Patient of 32 yrs old referred because of some breathlessness when she exercise. She was originally tested and found to have deconditioning. She was prescribed an exercise training program.
- No improvement despite patient being compliant to her exercise program.
- Patient has no significant past medical history. She described having problem following her friends when doing leisure activities.

Ramp exercise test 10 W increased every 2 minutes

<b>M Be</b>	
28/10/1969	
Féminin	
32	ans
168	cm
58	kg
20,5	IMC

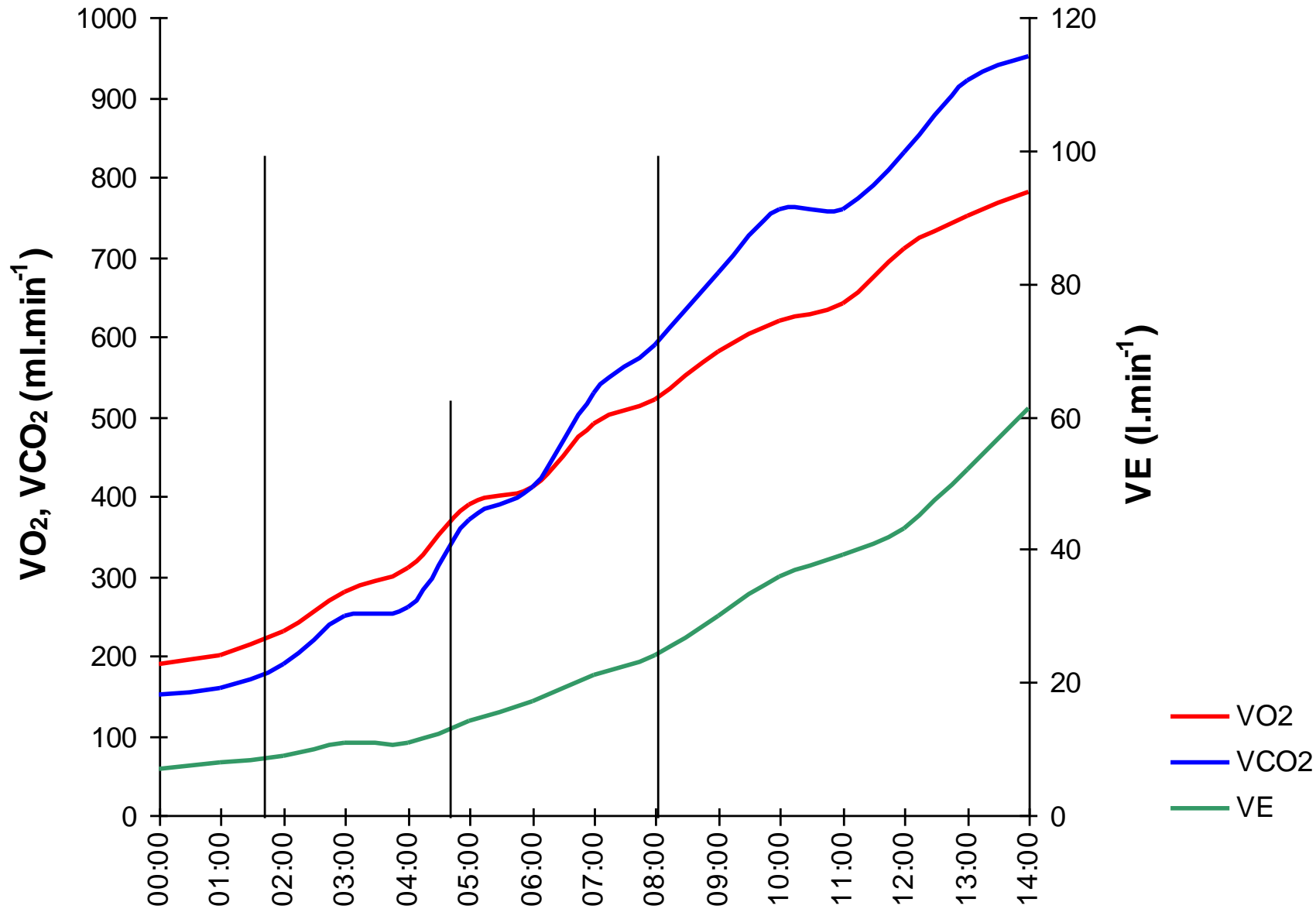
		<b>Mesurée</b>	<b>Théorique</b>
CV	ml	4210	3780
VEMS	ml	3040	3240
VEMS/CV	%	72	83
VMM	l.min <sup>-1</sup>	114	

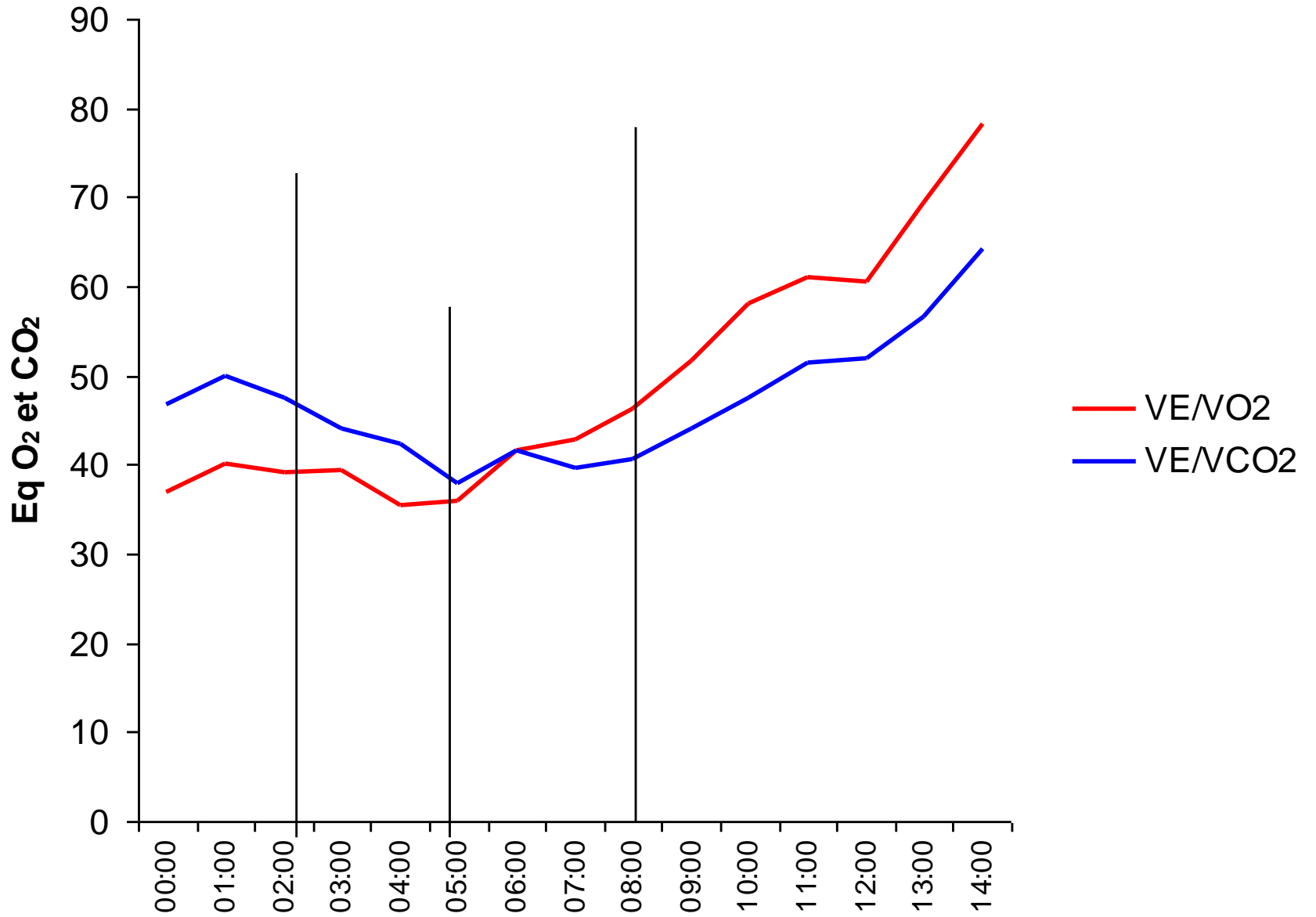
<b>Hb</b>	mg.dl <sup>-1</sup>	
-----------	---------------------	--

21/03/2005

<b>Echauffement</b>	10 W / 2 min
<b>Incrément</b>	10 W / 2 min

		Repos	Seuil 1	Seuil 2	Max Observé	Max Théorique
<b>Borg</b>						
<b>Dyspnée</b>						
<b>Fatigue</b>						
<b>Réponse Métabolique</b>						
<b>Puissance</b>	Watt	0	30		70	141
<b>Puissance</b>	Watt.kg <sup>-1</sup>	0,0	0,5		1,2	2,43
<b>VO<sub>2</sub></b>	ml.min <sup>-1</sup>	190	490		810	1750
<b>VO<sub>2</sub></b>	ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup>	3,28	8,45		13,97	30,17
<b>VCO<sub>2</sub></b>	ml.min <sup>-1</sup>		480		980	
<b>QR</b>			0,98		1,21	> 1,1
<b>Lactatémie</b>	mmol.l <sup>-1</sup>	2,69	4,9		11,7	
<b>Réponse Ventilatoire</b>						
<b>VE</b>	l.min <sup>-1</sup>	8	18		60	106
<b>Vt</b>	ml	730	1380		2280	
<b>FR</b>	Cycle.min <sup>-1</sup>	11	14		18	
<b>VE/VO<sub>2</sub></b>			36		74	
<b>VE/VCO<sub>2</sub></b>			37		61	
<b>Vd/Vt</b>						
<b>Réserve ventilatoire</b>	VMM	7%			46%	> 30
<b>Réserve ventilatoire</b>	35xVEMS					> 30
<b>Réponse Hémodynamique</b>						
<b>FC</b>	batt.min <sup>-1</sup>	82	151		190	188
<b>VES</b>	ml					
<b>Qc</b>	Fick/Imp/N <sub>2</sub> O					
<b>D(a-v)O<sub>2</sub></b>	ml.100ml <sup>-1</sup>					
<b>VO<sub>2</sub>/FC</b>	ml.batt <sup>-1</sup>	2	3		4	9,31
<b>Pression systolique</b>	mmHg	120	140		190	< 240
<b>Pression diastolique</b>	mmHg	80	90		110	< 120
<b>Rendement</b>						
<b>VO<sub>2</sub>/Puissance</b>	ml.W <sup>-1</sup>		10,00		8,86	10,3
<b>Pente</b>						
<b>Gaz du sang</b>						
<b>SaO<sub>2</sub> Transcutanée</b>	%					
<b>PaO<sub>2</sub></b>	mmHg	94			98	
<b>PaCO<sub>2</sub></b>	mmHg	39			31	
<b>SaO<sub>2</sub> mesurée</b>	%					
<b>pH</b>						





# Is the CPET interpretable

<i>Réponse Métabolique</i>					
<i>Puissance</i>	Watt	0	30	70	141
<i>Puissance</i>	Watt.kg <sup>-1</sup>	0,0	0,5	1,2	2,43
<i>VO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup>	190	490	810	1750

Theoretical  $VO_2 = (10-11) \times \text{Power (Watts)} + \text{Basal } VO_2$  for incr. exercise

$\Delta VO_2 / \Delta \text{ Watts} \approx 10,3$  during ramp exercise test

Theoretical  $VO_2 = (10 \times 30) + 190 = 490$  (490) ← Normal

Theoretical  $VO_2 = (10 \times 30) + (3.5 \times 58) = 503$  (490)

$\Delta VO_2 / \Delta \text{ Watts} = (810 - 490) / 40 = 8$  ← Low

# Is the CPET maximal

<i>Réponse Métabolique</i>						
<i>Puissance</i>	Watt	0	30		70	141
<i>Puissance</i>	Watt.kg <sup>-1</sup>	0,0	0,5		1,2	2,43
<i>VO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup>	190	490		810	1750
<i>VO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup>	3,28	8,45		13,97	30,17
<i>VCO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup>		480		980	
<i>QR</i>			0,98		1.21	> 1,1
<i>Lactatémie</i>	mmol.l <sup>-1</sup>	2,69	4,9		11,7	

## Clinical criteria of maximal exercise

### Criteria for healthy subjects

- VO<sub>2</sub> stable despite the power increase **NO**
- HRmax > 90% Theoretical maximal heart rate **YES (190/188)**
- [Lac]max > 8 mmol.l<sup>-1</sup> (pH ↓ 0.04) **YES (11.7)**
- RER > 1.1 **YES (1.21)**

### Other respiratory parameters

- Respiratory reserve << 30% **NO**
- VE/VO<sub>2</sub> > 35 **VE/VO<sub>2</sub> = 36**

# Functional capacity level

<i>Réponse Métabolique</i>					
<i>Puissance</i>	Watt	0	30	70	141
<i>Puissance</i>	Watt.kg <sup>-1</sup>	0,0	0,5	1,2	2,43
<i>VO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup>	190	490	810	1750

VO<sub>2</sub>max or symptom limited exercise test (Peak VO<sub>2</sub>)

Criteria for functional capacity limitation

Peak VO<sub>2</sub> < 80% of the theoretical value for sedentary healthy subject

**Symptom limited exercise test**

**Peak VO<sub>2</sub> / Theoretical VO<sub>2</sub> = 810/1750 = 46%**

# Respiratory adjustments

<i>Réponse Ventilatoire</i>						
<i>VE</i>	<i>l.min<sup>-1</sup></i>	8	18		60	106
<i>Vt</i>	<i>ml</i>	730	1380		2280	
<i>FR</i>	<i>Cycle.min<sup>-1</sup></i>	11	14		18	
<i>VE/VO<sub>2</sub></i>			36		74	
<i>VE/VCO<sub>2</sub></i>			37		61	
<i>Vd/Vt</i>						
<i>Réserve ventilatoire</i>	<i>VMM</i>	7%			46%	> 30

$$VE/VO_2 = 27 \pm 4$$

36

$$VE/VCO_2 = 29 \pm 5$$

37

$$VE = 21.8 \times VO_2 (\text{l}\cdot\text{min}^{-1}) + 5 = 22$$

60

Ventilatory reserve > 15%

46%

Ventilatory reserve > 11 l·min<sup>-1</sup>

54

fR < 45 / min

18

Vt ≈ 60% VC

# Cardio-circulatory adjustments

<i>Réponse Hémodynamique</i>						
<i>FC</i>	batt.min <sup>-1</sup>	82	151		190	188
<i>VES</i>	ml					
<i>Qc</i>	<i>Fick/Imp/N<sub>2</sub>O</i> l.min <sup>-1</sup>					
<i>D(a-v)O<sub>2</sub></i>	ml.100ml <sup>-1</sup>					
<i>VO<sub>2</sub>/FC</i>	ml.batt <sup>-1</sup>	2	3		4	9,31
<i>Pression systolique</i>	mmHg	120	140		190	< 240
<i>Pression diastolique</i>	mmHg	80	90		110	< 120

Theoretical HRmax = 220 – age

Theoretical HRmax = 188

**190**

Blood pressure

SAPmax < 240

**190**

DAPmax < 120

**110**

Oxygen pulse

VO<sub>2</sub>/HR Theor = 9.31

**4**

# Muscle adaptation to exercise

<i>Réponse Métabolique</i>						
<i>Puissance</i>	Watt	0	30		70	141
<i>Puissance</i>	Watt.kg <sup>-1</sup>	0,0	0,5		1,2	2,43
<i>VO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup>	190	490		810	1750
<i>VO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup>	3,28	8,45		13,97	30,17
<i>VCO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup>		480		980	
<i>QR</i>			0,98		1,21	> 1,1
<i>Lactatémie</i>	mmol.l <sup>-1</sup>	2,69	4,9		11,7	

Power/weight < 1 – 1.5 W·kg<sup>-1</sup>

70/58=1.3

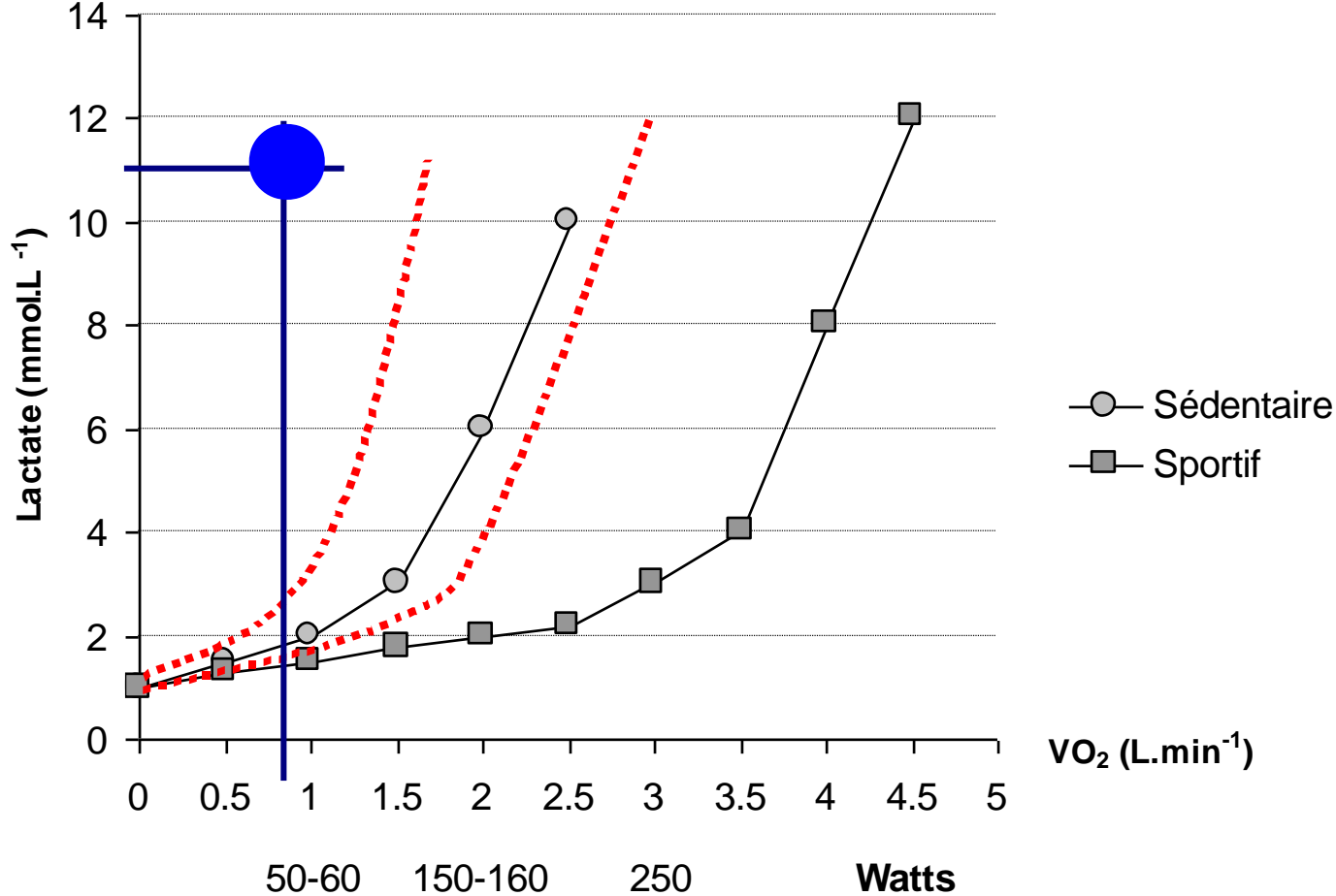
VO<sub>2</sub>(LT) < 40% of theoretical VO<sub>2</sub>max

490/1750=0.28 (28%)

Abnormal [Lac] / power relationship

YES

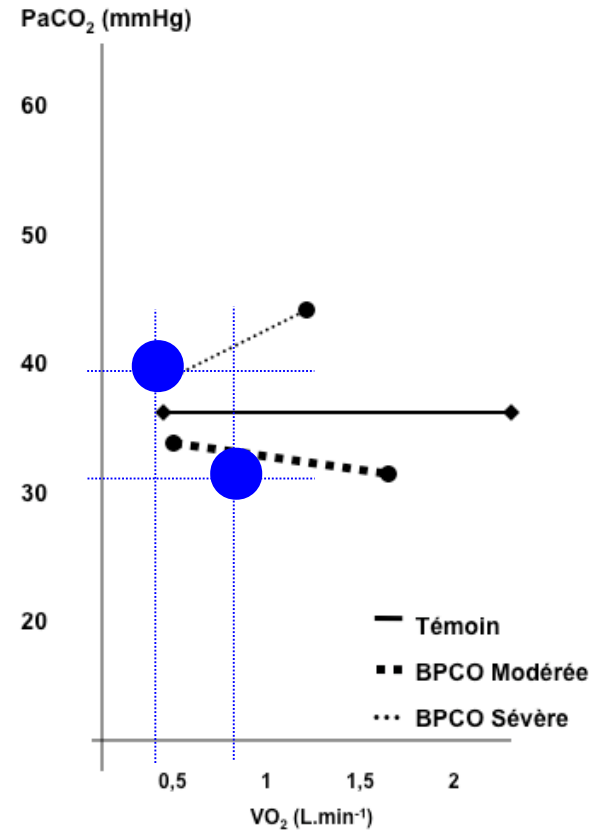
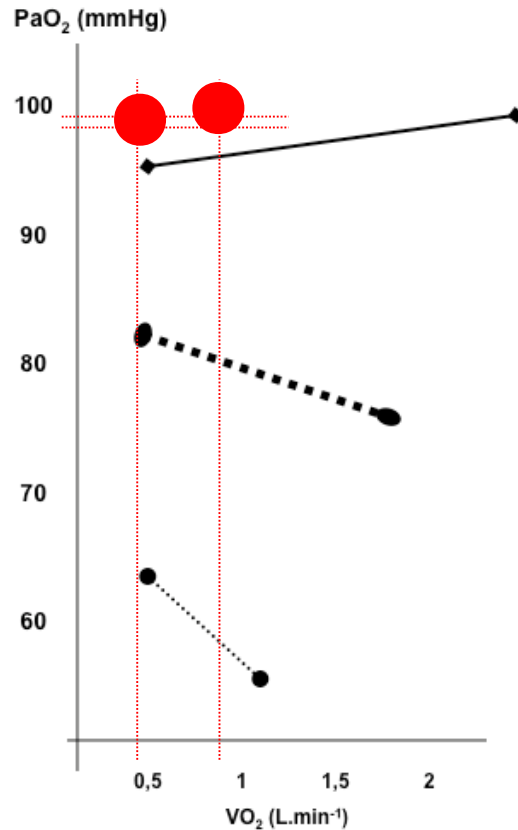
# Muscle adaptation to exercise



# Gaz exchanges

## Gaz du sang

$SaO_2$ Transcutanée	%				
$PaO_2$	mmHg	94		98	
$PaCO_2$	mmHg	39		31	
$SaO_2$ mesurée	%				
pH					



## Case number 2- Be

- CPET “symptom limited”
- Important functional capacity limitation.
- Origin « Peripheral Muscle » :
  - 1) Increased of the lactate out of proportion with the exercise power, power limited, RQ elevated.
  - 2) Cardiac problem associated ? No although the tachycardia compensate for the poor muscular oxygen utilisation.
  - 3) No ventilatory limitation

## Case number 2- Be

- Important limitation in relation to a peripheral muscular disease.
- A diagnostic of mitochondrial myopathy was confirmed with a muscle biopsy and the evidence of a deficit of complex 1

# PLAN

## **4<sup>ème</sup> Partie : L'interprétation**

Analyse en 7 points

Arbre diagnostic

Critères de gravité

Principales pathologies

Cas cliniques (3/3)

## Case number 3 – S Ab

- Patient 55 yrs old, follow up for a known chronic condition.
- Patient has worsening of his symptoms and more limited in his exercise capacity.

Ramp exercise test

Warm up 10 W for 3 minutes

Increment 10 W per minute

<b>S Ab</b>	
<b>18/06/1949</b>	
Masculin	
55	ans
167	cm
97	kg
34,8	IMC

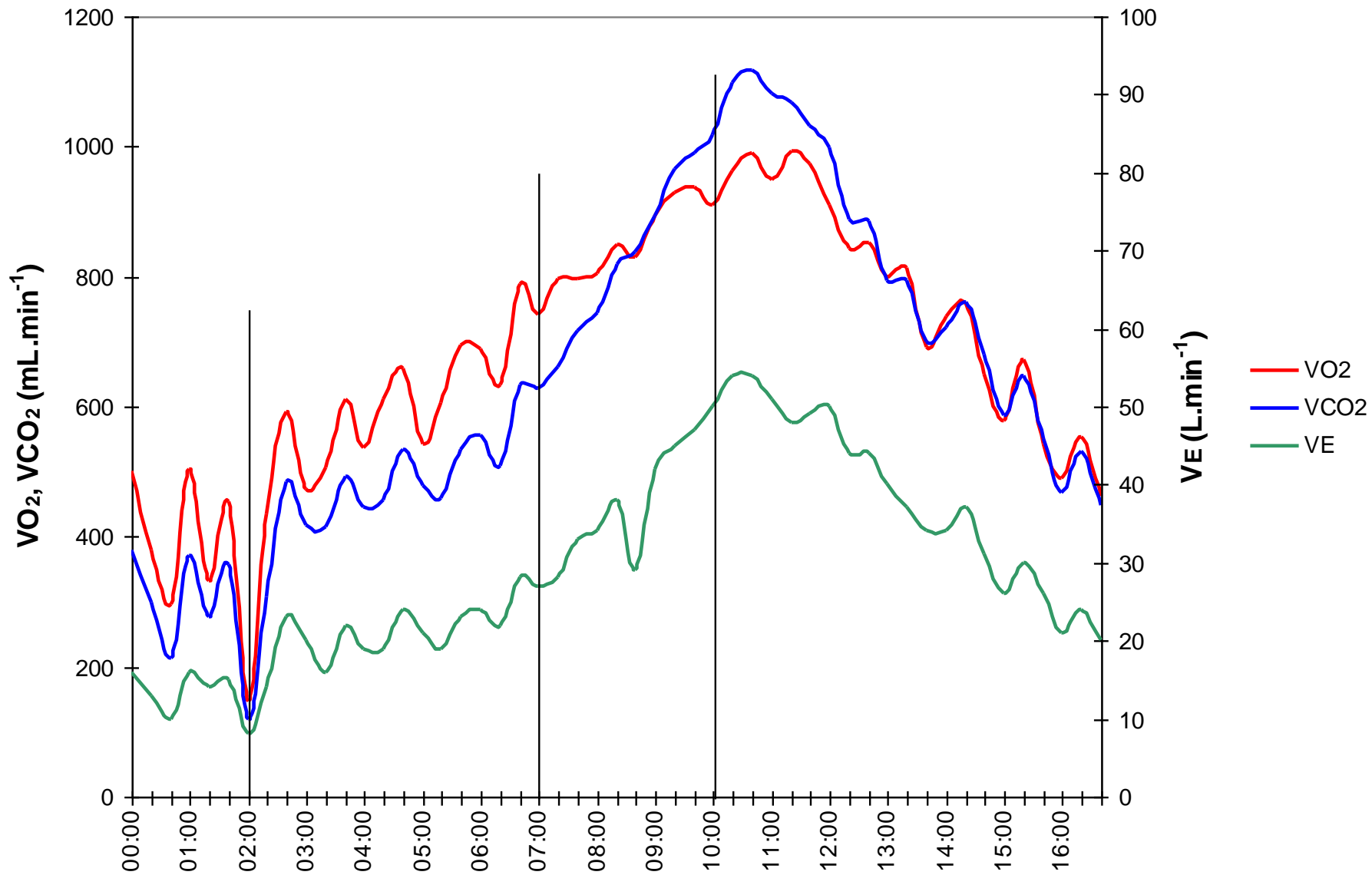
		<b>Mesurée</b>	<b>Théorique</b>
CV	ml	1440	3850
VEMS	ml	1360	3100
VEMS/CV	%	77	87
VMM	l.min <sup>-1</sup>	116	

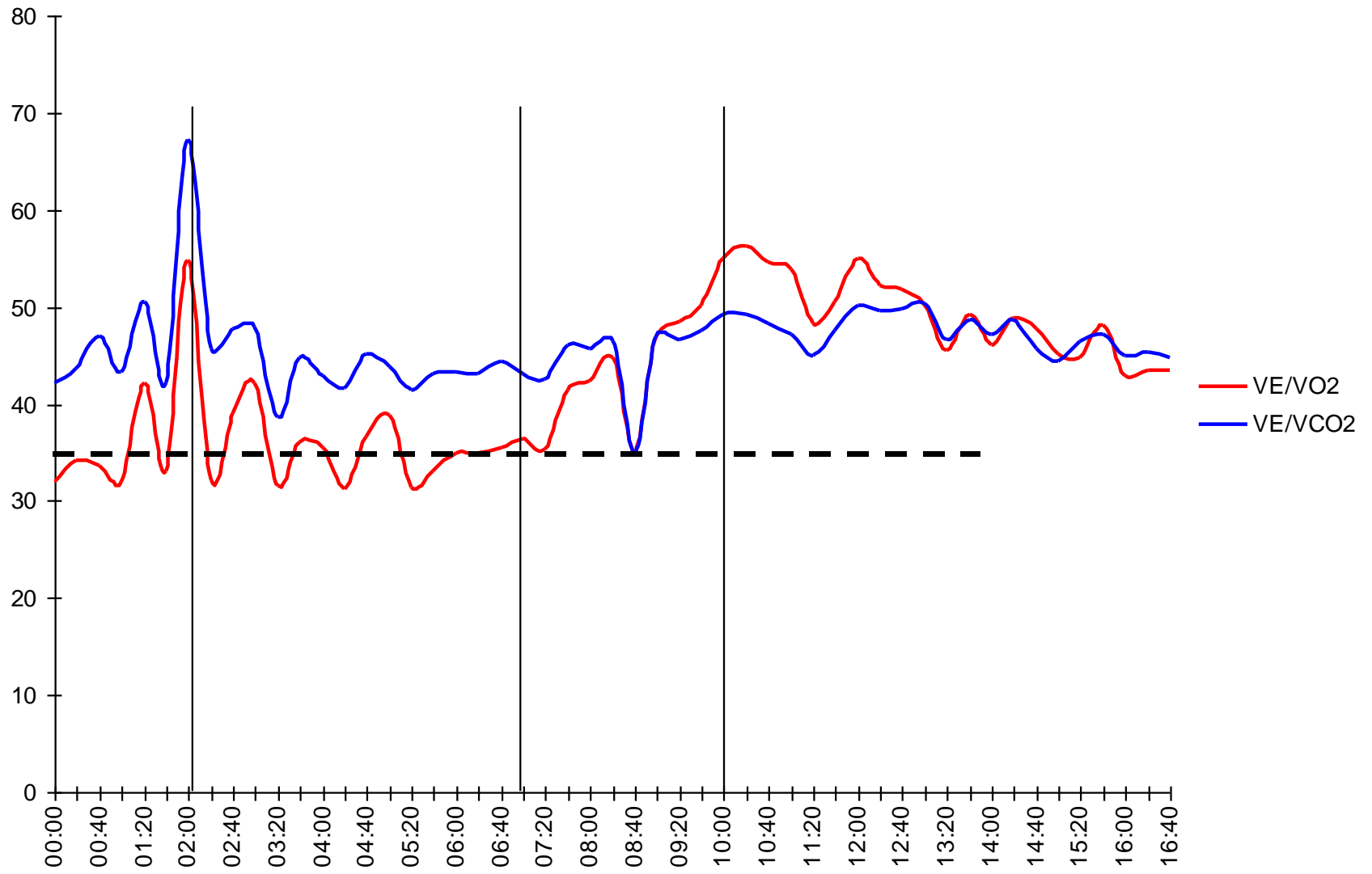
<b>Hb</b>	mg.dl <sup>-1</sup>	
-----------	---------------------	--

21/03/2005

<b>Echauffement</b>	10 W / 3 min
<b>Incrément</b>	10 W / 1 min

		Repos	Seuil 1	Seuil 2	Max Observé	Max Théorique
<b>Borg</b>						
<b>Dyspnée</b>						
<b>Fatigue</b>						
<b>Réponse Métabolique</b>						
<b>Puissance</b>	Watt		30		60	
<b>Puissance</b>	Watt.kg <sup>-1</sup>		0,3		0,6	174
<b>VO<sub>2</sub></b>	ml.min <sup>-1</sup>	354	796		993	2155
<b>VO<sub>2</sub></b>	ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup>	3,65	8,21		10,24	22,22
<b>VCO<sub>2</sub></b>	ml.min <sup>-1</sup>	291	780		1062	
<b>QR</b>		0,82	0,98		1,07	> 1,1
<b>Lactémie</b>	mmol.l <sup>-1</sup>					
<b>Réponse Ventilatoire</b>						
<b>VE</b>	l.min <sup>-1</sup>	8	28		48	116
<b>Vt</b>	ml	399	1055		1188	
<b>FR</b>	Cycle.min <sup>-1</sup>	21	26		45	
<b>VE/VO<sub>2</sub></b>		29,2	32,7		51,3	
<b>VE/VCO<sub>2</sub></b>		38,6	40,8		46,6	
<b>Vd/Vt</b>						
<b>Réserve ventilatoire</b>	VMM	7%	24%		41%	> 30
<b>Réserve ventilatoire</b>	35xVEMS	17%	59%		101%	> 30
<b>Réponse Hémodynamique</b>						
<b>FC</b>	batt.min <sup>-1</sup>	97	121		143	165
<b>VES</b>	ml					
<b>Qc</b>	Fick/Imp/N <sub>2</sub> O					
<b>D(a-v)O<sub>2</sub></b>	ml.100ml <sup>-1</sup>					
<b>VO<sub>2</sub>/FC</b>	ml.batt <sup>-1</sup>	4	7		7	13
<b>Pression systolique</b>	mmHg	105	110		130	< 240
<b>Pression diastolique</b>	mmHg	60	70		80	< 120
<b>Rendement</b>						
<b>VO<sub>2</sub>/Puissance</b>	ml.W <sup>-1</sup>		14,73		10,65	10,3
<b>Pente</b>						
<b>Gaz du sang</b>						
<b>SaO<sub>2</sub> Transcutanée</b>	%	97			96	
<b>PaO<sub>2</sub></b>	mmHg	87,8			97,9	
<b>PaCO<sub>2</sub></b>	mmHg	33,8			31,9	
<b>SaO<sub>2</sub> mesurée</b>	%	95,6			95,5	
<b>pH</b>		7,47			7,43	





# Is the CPET interpretable

## Réponse Métabolique

<b>Puissance</b>	Watt		30		60	
<b>Puissance</b>	Watt.kg <sup>-1</sup>		0,3		0,6	174
<b>VO<sub>2</sub></b>	ml.min <sup>-1</sup>	354	796		993	2155
<b>VO<sub>2</sub></b>	ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup>	3,65	8,21		10,24	22,22

Theoretical VO<sub>2</sub> = (10-11) × Power (Watts) + Basal VO<sub>2</sub> for incr. exercise

ΔVO<sub>2</sub> / Δ Watts ≈ 10,3 during ramp exercise test

Theoretical VO<sub>2</sub> = (10 × 30) + 354 = 654 (796)

Theoretical VO<sub>2</sub> = (10 × 60) + 354 = 954 (993) ← Normal

Theoretical VO<sub>2</sub> = (10 × 30) + (3.5 × 97) = 639 (796)

ΔVO<sub>2</sub> / Δ Watts = (993 – 796) / 30 = 6.56 ← Very Low

# Is the CPET maximal

<i>Réponse Métabolique</i>						
<i>Puissance</i>	Watt		30		60	
<i>Puissance</i>	Watt.kg <sup>-1</sup>		0,3		0,6	174
<i>VO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup>	354	796		993	2155
<i>VO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup>	3,65	8,21		10,24	22,22
<i>VCO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup>	291	780		1062	
<i>QR</i>		0,82	0,98		1,07	> 1,1
<i>Lactatémie</i>	mmol.l <sup>-1</sup>					
<i>Réponse Hémodynamique</i>						
<i>FC</i>	batt.min <sup>-1</sup>	97	121		143	165

## Clinical criteria of maximal exercise

### Criteria for healthy subjects

- VO<sub>2</sub> stable despite the power increase **NO**
- HRmax > 90% Theoretical maximal heart rate **NO (143/165)**
- [Lac]max > 8 mmol.l<sup>-1</sup> (pH ↓ 0.04) **?**
- RER > 1.1 **NO (1.07)**

### Other respiratory parameters

- Respiratory reserve << 30% **NO**
- VE/VO<sub>2</sub> > 35 **VE/VO<sub>2</sub> = 33 - 51**

# Functional capacity level

## Réponse Métabolique

<i>Puissance</i>	Watt		30		60	
<i>Puissance</i>	Watt.kg <sup>-1</sup>		0,3		0,6	174
<i>VO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup>	354	796		993	2155
<i>VO<sub>2</sub></i>	ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup>	3,65	8,21		10,24	22,22

VO<sub>2</sub>max or symptom limited exercise test (Peak VO<sub>2</sub>)

Criteria for functional capacity limitation

Peak VO<sub>2</sub> < 80% of the theoretical value for sedentary healthy subject

Symptom limited exercise test ← YES

Peak VO<sub>2</sub> / Theoretical VO<sub>2</sub> = 993/2155 = 46%

Peak VO<sub>2</sub> = 10.24 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>

# Respiratory adjustments

<i>Réponse Ventilatoire</i>						
<i>VE</i>	<i>l.min<sup>-1</sup></i>	8	28		48	116
<i>Vt</i>	<i>ml</i>	399	1055		1188	
<i>FR</i>	<i>Cycle.min<sup>-1</sup></i>	21	26		45	
<i>VE/VO<sub>2</sub></i>		29,2	32,7		51,3	
<i>VE/VCO<sub>2</sub></i>		38,6	40,8		46,6	
<i>Vd/Vt</i>						
<i>Réserve ventilatoire</i>	<i>VMM</i>	7%	24%		41%	> 30
<i>Réserve ventilatoire</i>	<i>35xVEMS</i>	17%	59%		101%	> 30

$$VE/VO_2 = 27 \pm 4$$

**33 - 51**

$$VE/VCO_2 = 29 \pm 5$$

**41 - 47**

$$VE = 21.8 \times VO_2 (l \cdot \text{min}^{-1}) + 5 = 27$$

**48**

Ventilatory reserve > 15%

**59%**

Ventilatory reserve > 11 l·min<sup>-1</sup>

**68**

fR < 45 / min

**45**

Vt ≈ 60% VC

# Cardio-circulatory adjustments

<i>Réponse Hémodynamique</i>						
<i>FC</i>	batt.min <sup>-1</sup>	97	121		143	165
<i>VES</i>	ml					
<i>Qc</i>	<i>Fick/Imp/N<sub>2</sub>O</i> l.min <sup>-1</sup>					
<i>D(a-v)O<sub>2</sub></i>	ml.100ml <sup>-1</sup>					
<i>VO<sub>2</sub>/FC</i>	ml.batt <sup>-1</sup>	4	7		7	13
<i>Pression systolique</i>	mmHg	105	110		130	< 240
<i>Pression diastolique</i>	mmHg	60	70		80	< 120

Theoretical HRmax = 220 – age

Theoretical HRmax = 165

**143 (87%)**

Blood pressure

SAPmax < 240

**130**

DAPmax < 120

**80**

Oxygen pulse

VO<sub>2</sub>/HR Theor = 13

**7**

# Muscle adaptation to exercise

## Réponse Métabolique

<b>Puissance</b>	Watt		30		60	
<b>Puissance</b>	Watt.kg <sup>-1</sup>		0,3		0,6	174
<b>VO<sub>2</sub></b>	ml.min <sup>-1</sup>	354	796		993	2155
<b>VO<sub>2</sub></b>	ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup>	3,65	8,21		10,24	22,22
<b>VCO<sub>2</sub></b>	ml.min <sup>-1</sup>	291	780		1062	
<b>QR</b>		0,82	0,98		1,07	> 1,1

Power/weight < 1 – 1.5 W·kg<sup>-1</sup>

VO<sub>2</sub>(LT) < 40% of theoretical VO<sub>2</sub>max

Abnormal [Lac] / power relationship

$$60/97=0.61$$

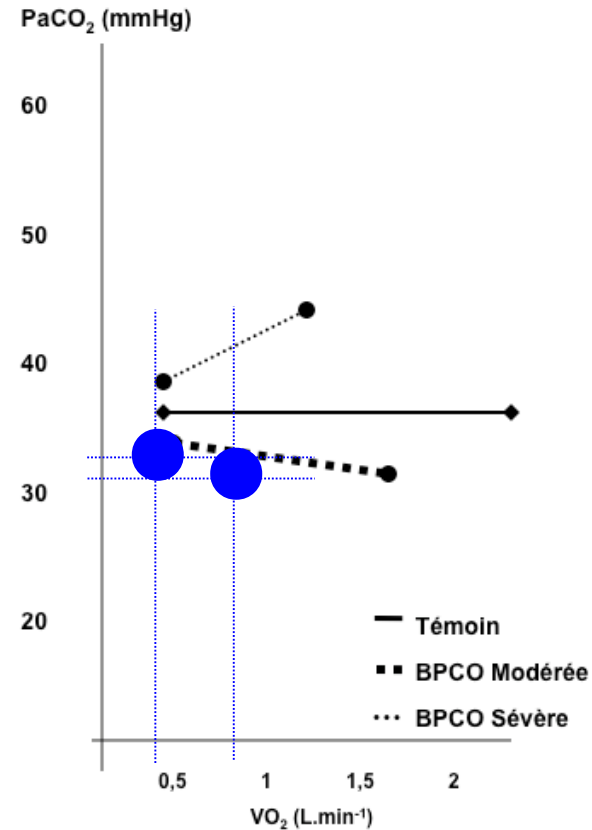
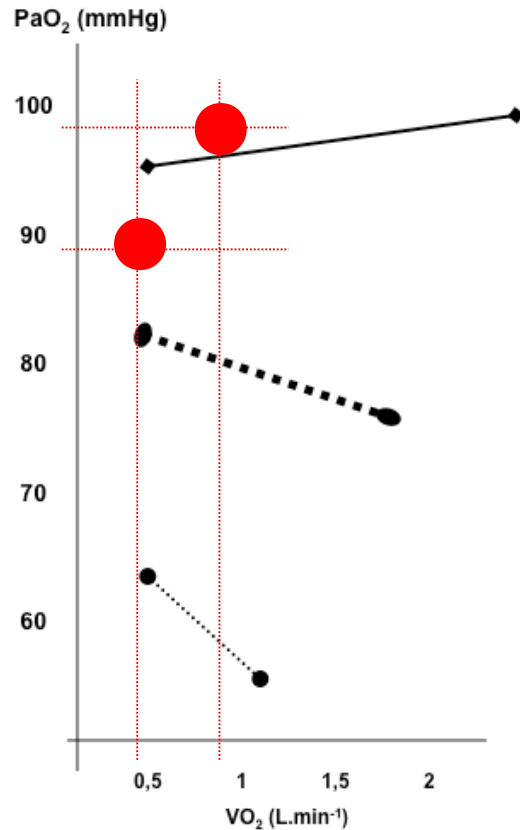
$$796/2155=0.37 \text{ (37\%)}$$

?

# Gaz exchanges

## Gaz du sang

<i>SaO<sub>2</sub> Transcutanée</i>	%	97		96	
<i>PaO<sub>2</sub></i>	mmHg	87,8		97,9	
<i>PaCO<sub>2</sub></i>	mmHg	33,8		31,9	
<i>SaO<sub>2</sub> mesurée</i>	%	95,6		95,5	
<i>pH</i>		7,47		7,43	



# Case number 3 – S Ab

- CPET “symptom limited”
- Important functional capacity limitation.
- Origin « Cardiac » :
  - 1) Characteristic of the  $\text{VO}_2$ - $\text{VCO}_2$ - $\text{VE}$  / Power relationships
  - 2)  $\text{O}_2$  pulse very low, no elevation of the BP
  - 3) Criteria of severity:
    - Cyclique respiration before  $V_{\text{threshold}}$
    - Peak  $\text{VO}_2 = 10.29 < 14 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$
    - $\text{VO}_2$  threshold =  $8.21 < 11 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$
    - $\text{VE}/\text{VCO}_2 = 41 > 24$

Very poor pronostic and need treatment.

# Efx de la Mesure à L'Interprétation

Ruddy RICHARD

Centre de Recherche en Nutrition Humaine

CRNH Auvergne

[ruddy.richard@udamail.fr](mailto:ruddy.richard@udamail.fr)

et

Service de Médecine du Sport et  
des Explorations Fonctionnelles

CHU G. Montpied, 58 rue Montalembert,  
63003 Clermont-Ferrand Cedex 1

[rriehard@chu-clermontferrand.fr](mailto:rriehard@chu-clermontferrand.fr)