

# 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

[rriichard@chu-clermontferrand.fr](mailto:rriichard@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**

# 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

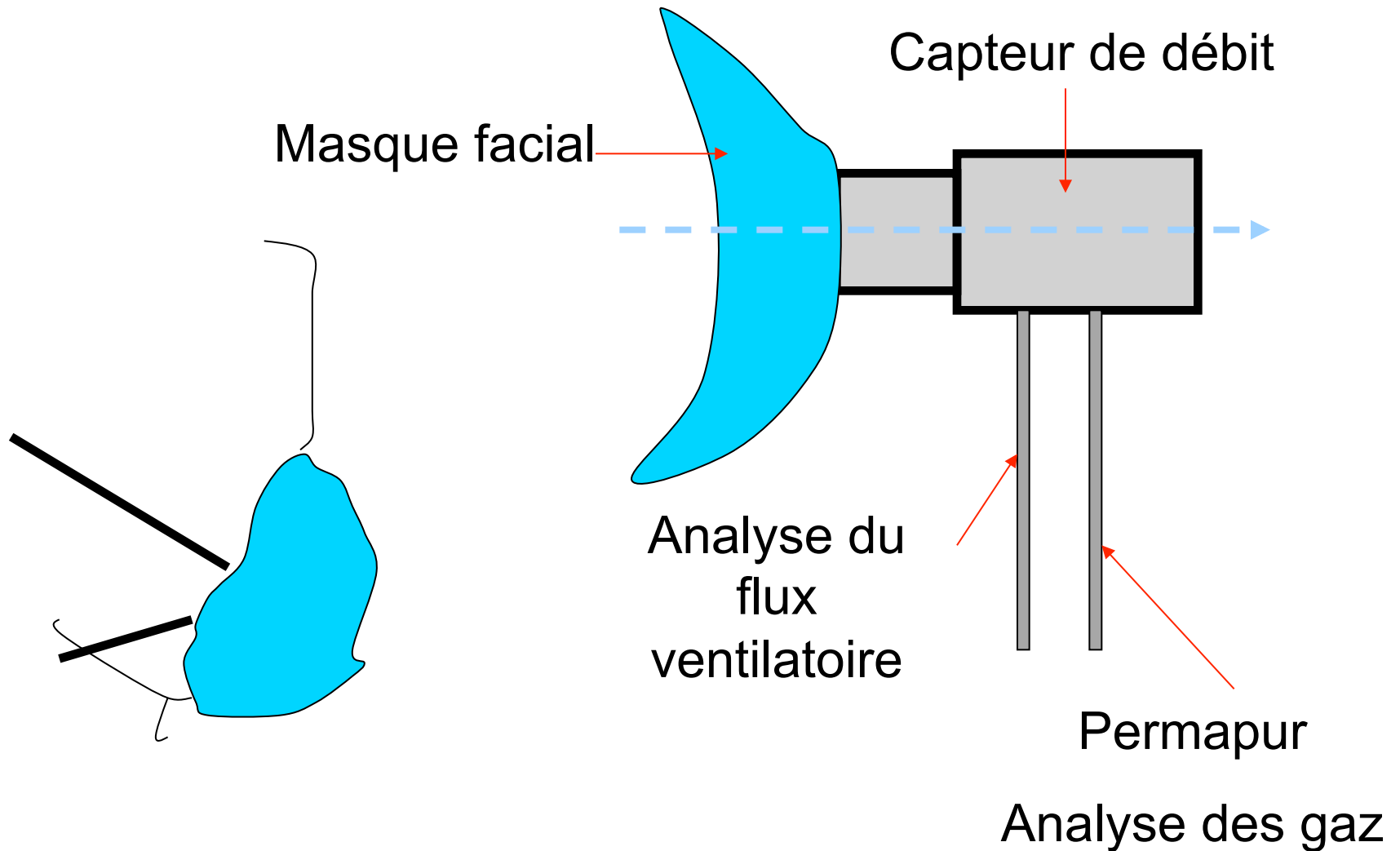
### Mesure des débits ventilatoires

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

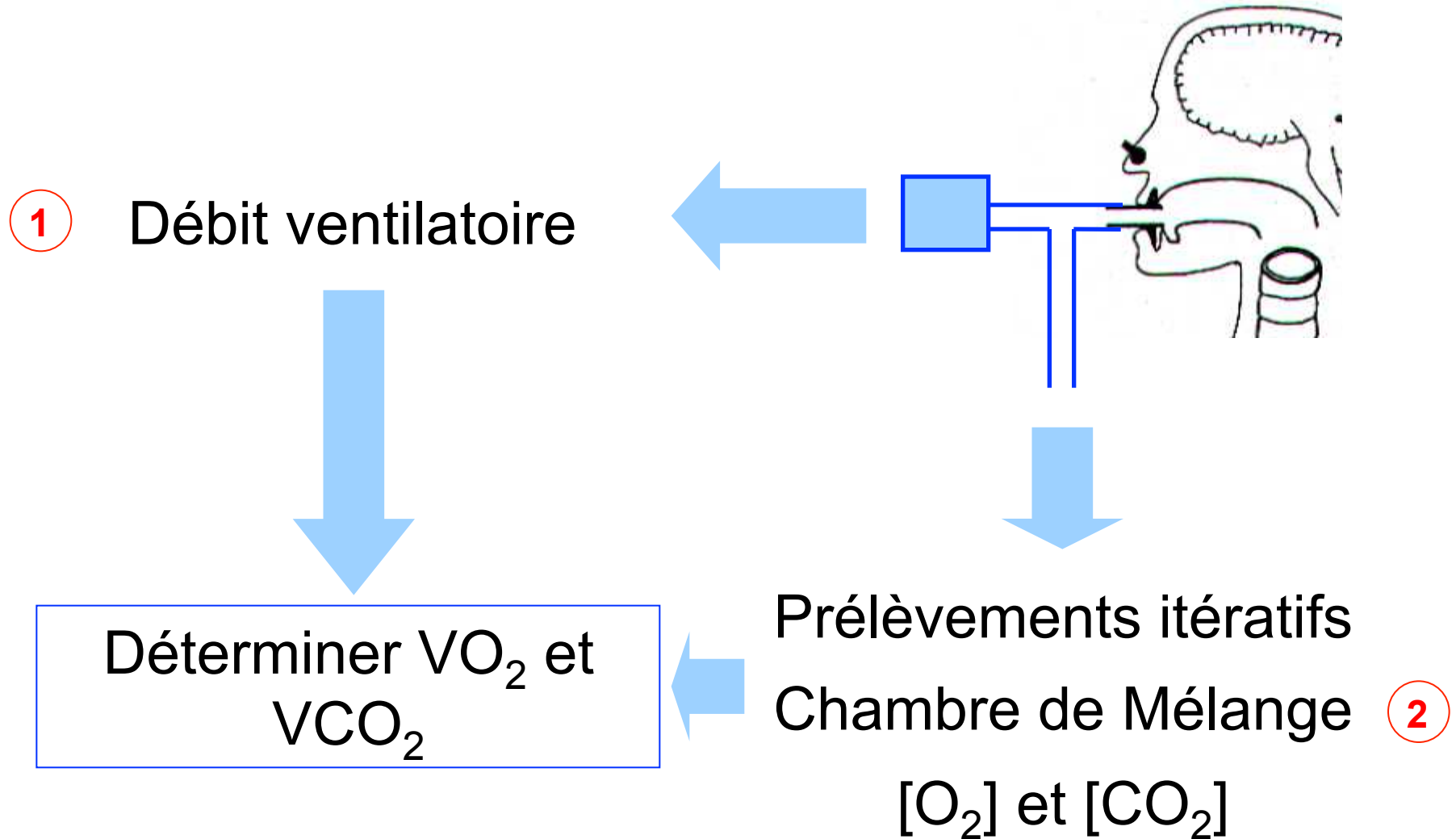
### Mesure de la concentration des gaz (expirés et parfois inspirés)

- 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

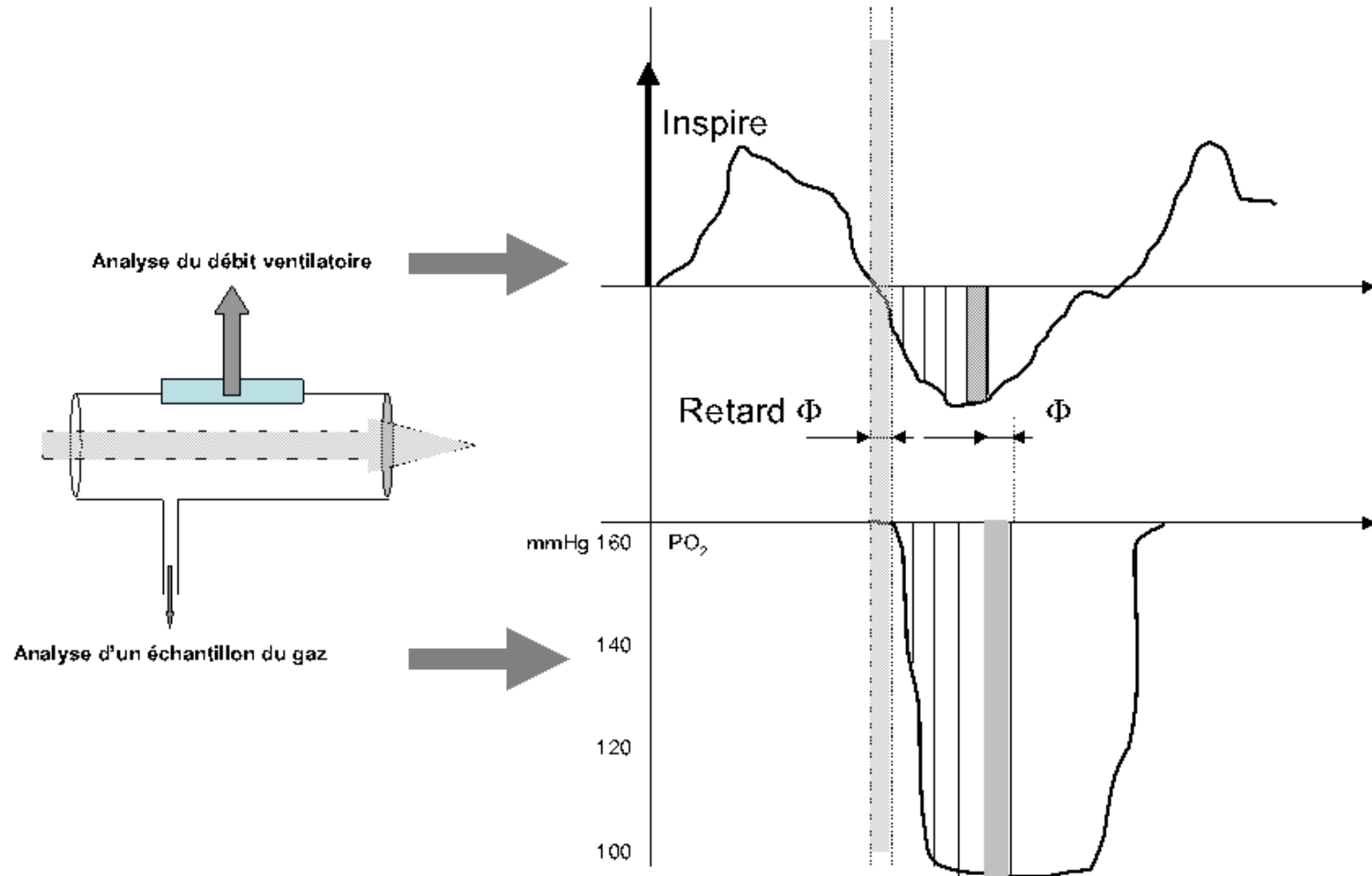
## ① La mesure des débits : Pneumotachographe

- 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

## 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  $V_{O_2}$

→ Le  $V_{O_2}$

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)

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

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

$$\dot{V}O_2 = (F_c \times V_{ES}) \times D_{av}O_2 \quad (D_{a\bar{v}}O_2)$$

air  
air

Spirométrie

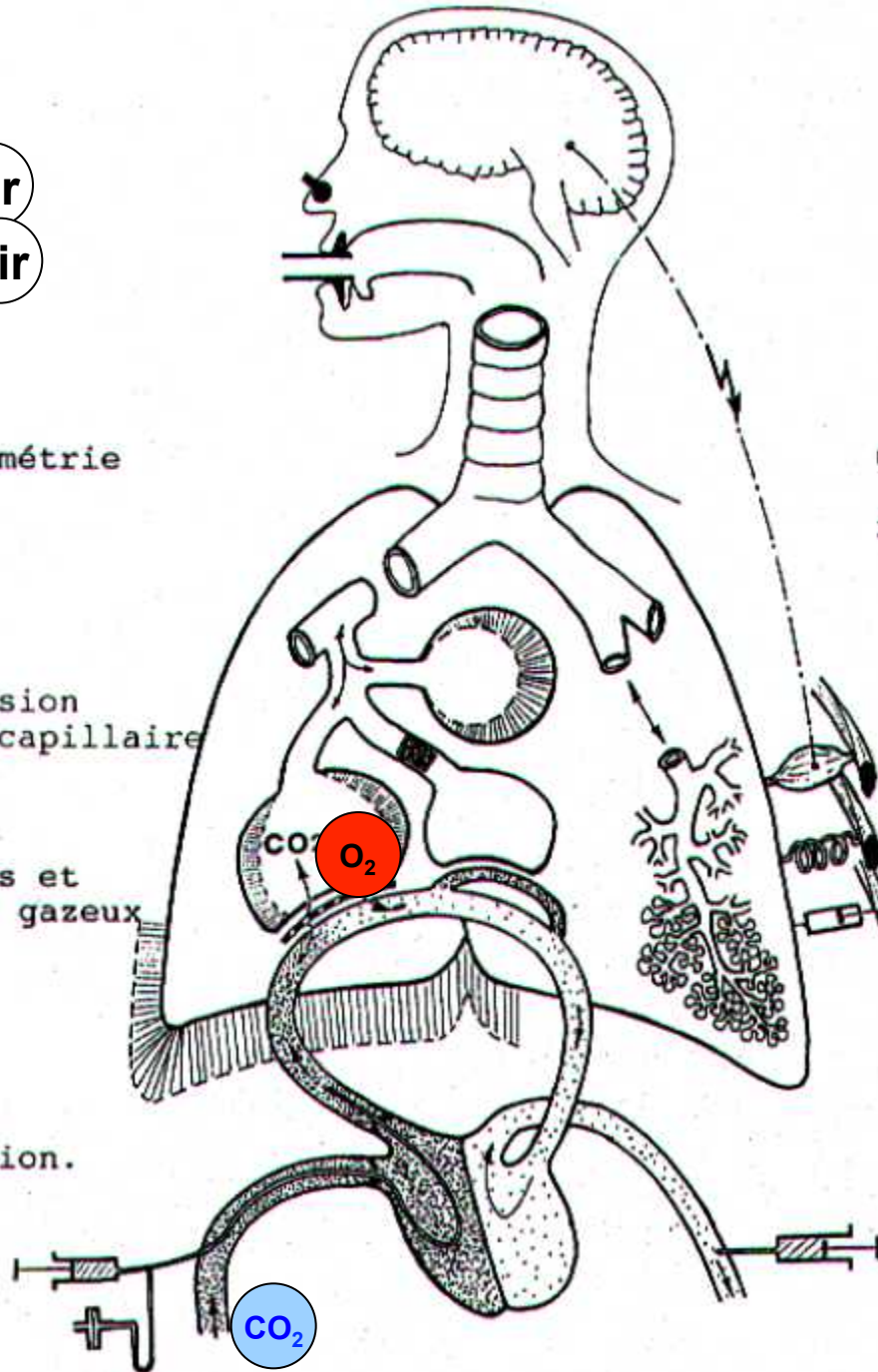
Contrôle  
de la  
respiration.

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)**

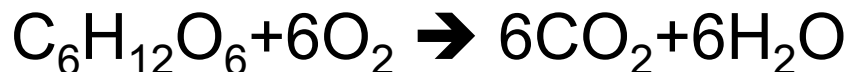
Exprimé en mL/min

**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



# 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 différentier fatigue et épuisement
- Ajustée à la pathologie

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

# 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° 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 :

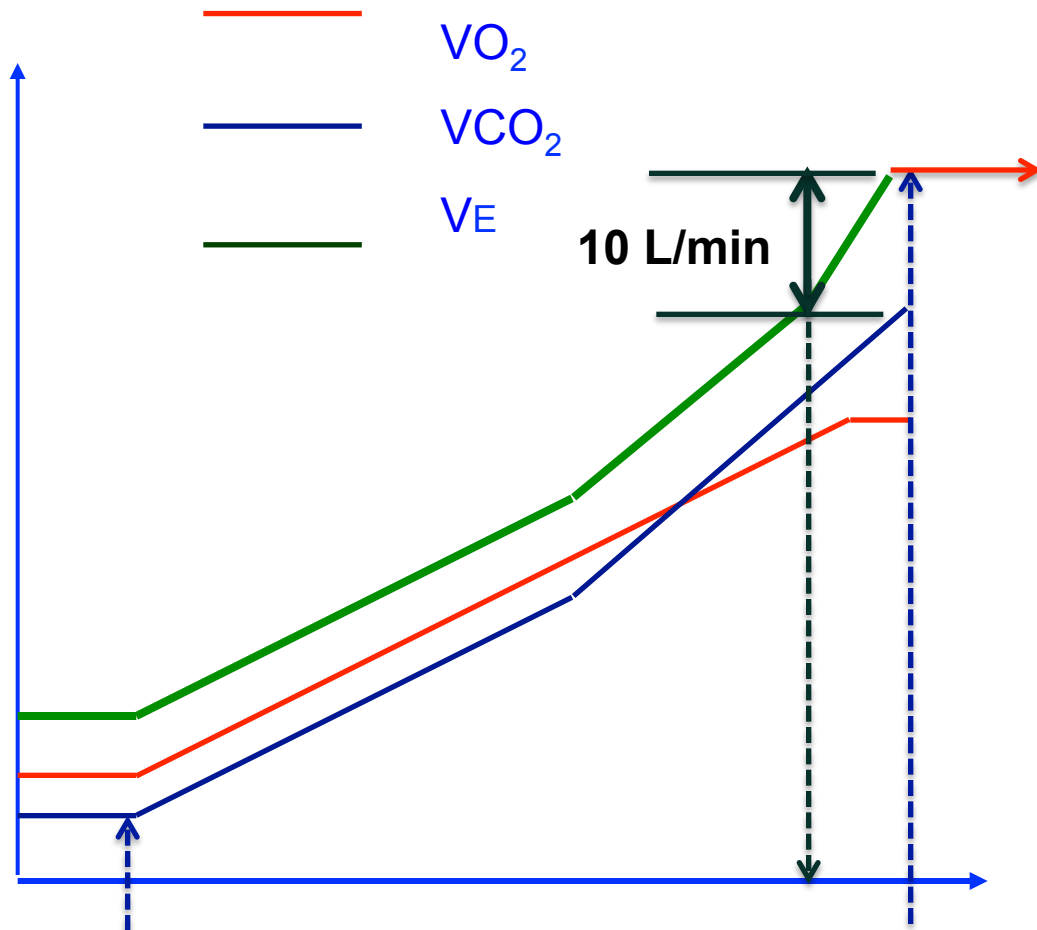
Sujet masculin, âgé de 60 ans, poids 90 kg, Taille 170 cm

**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>)

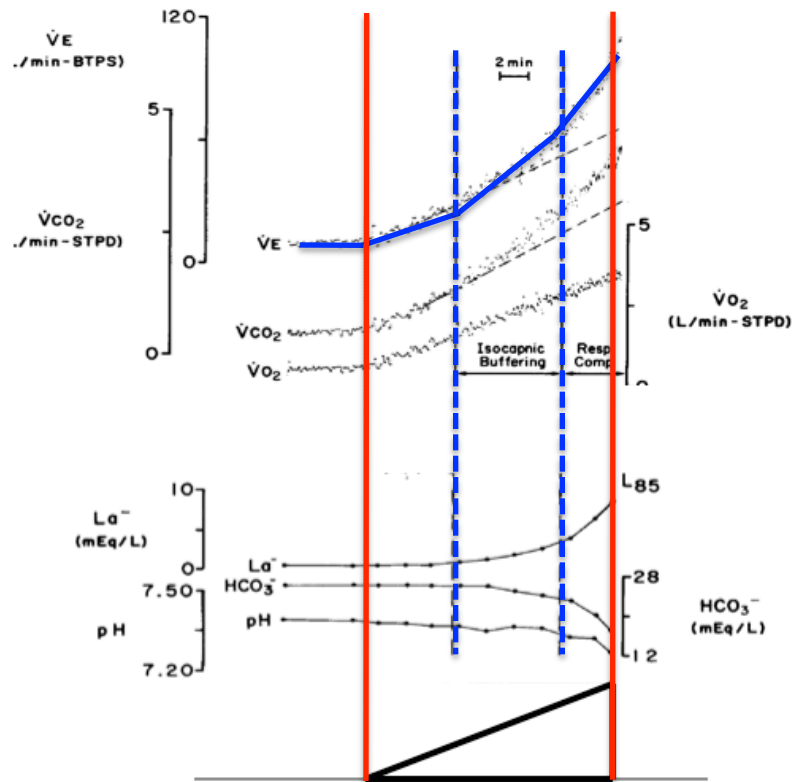
Physiologie des ajustements

## **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

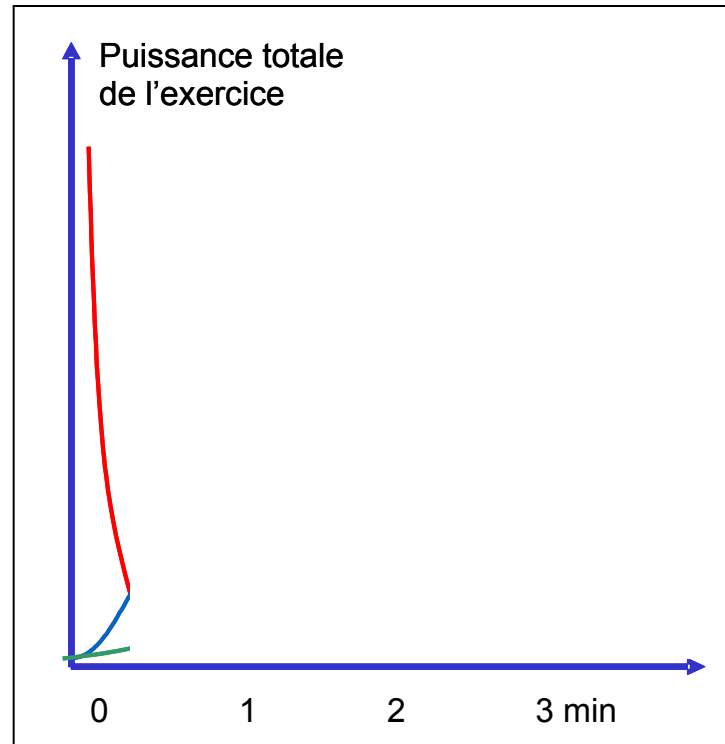
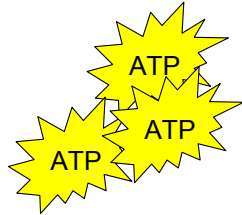
**3) Les décrochements ventilatoires observés ne sont pas expliqués (pas uniquement) par les variations de la  $\text{PaCO}_2$**

Multiples facteurs impliqués

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

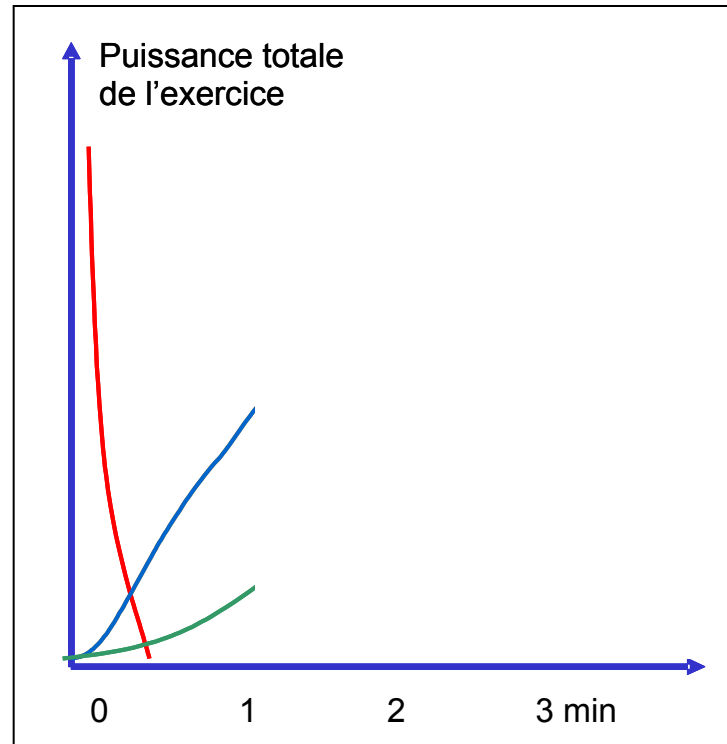
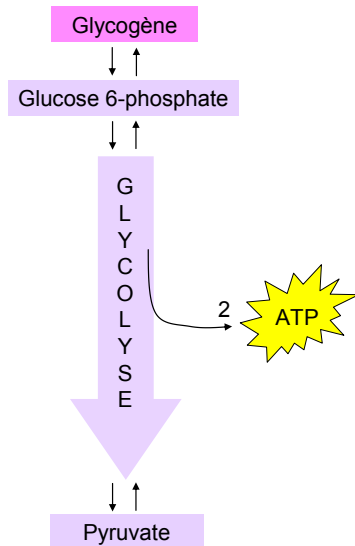
Remarques Préliminaires

Glycogène



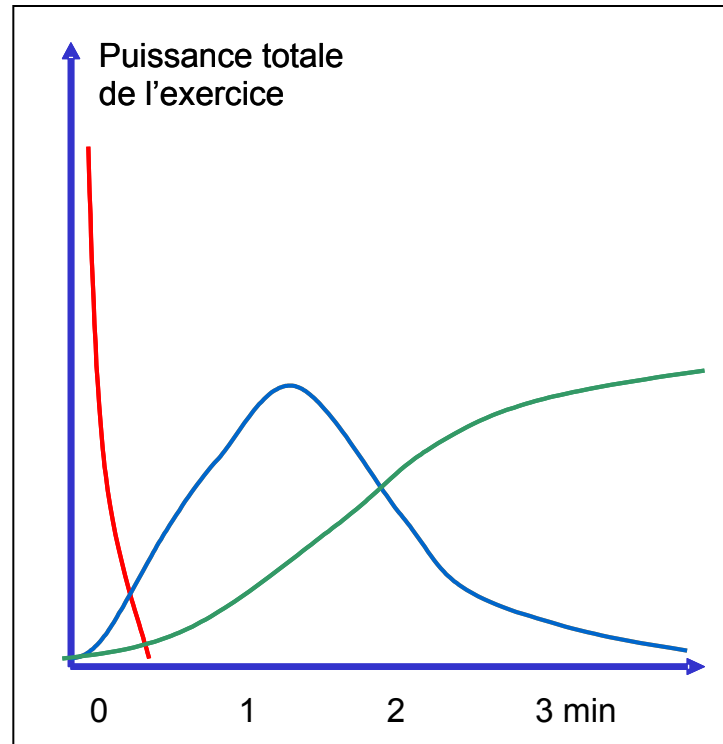
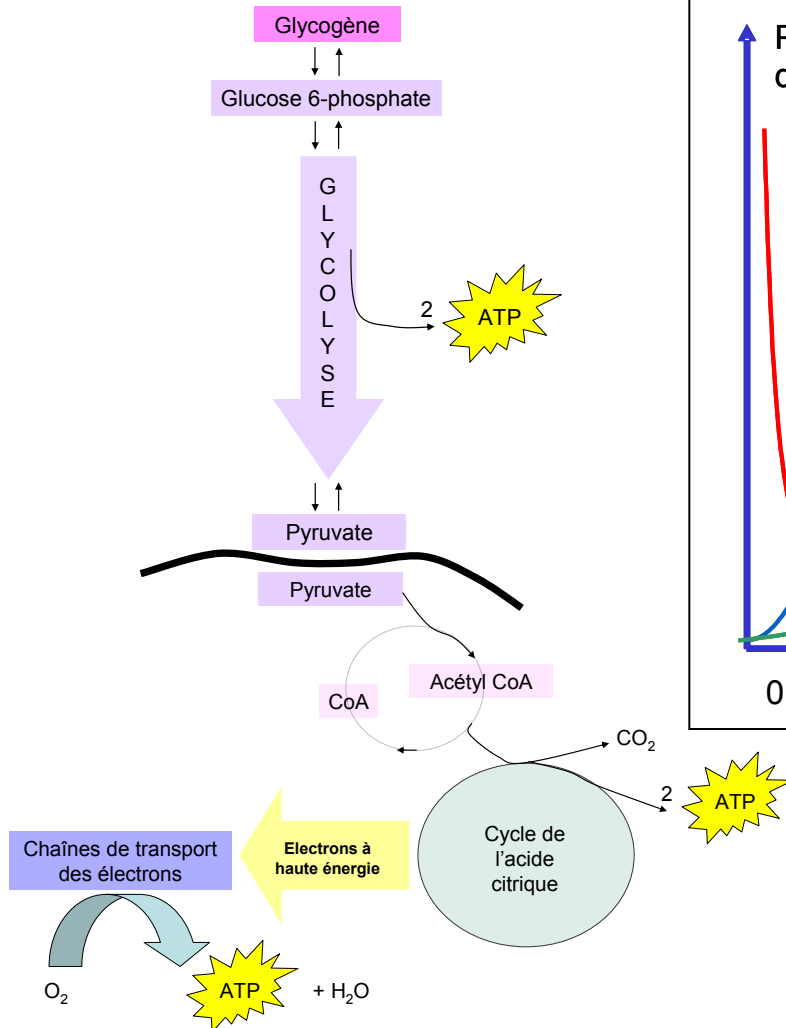
# L'épreuve d'effort en rampe est une épreuve glucidique

Remarques Préliminaires



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

Remarques Préliminaires



# Remarques Préliminaires

Glycogène

Glucose

Glucose 6-phosphate

Foie

Glycérol

G  
L  
Y  
C  
O  
L  
Y  
S  
E

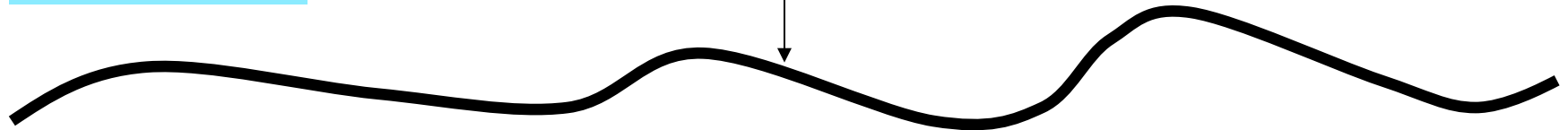
2  
ATP

Certains  
acides  
aminés

NH<sub>3</sub>

Pyruvate

Lactate



# Remarques Préliminaires

Pyruvate

Pyruvate

Corps cétoniques (foie)

Acétyl CoA

Acides Gras

CoA

CO<sub>2</sub>

ATP

Chaînes de transport des électrons

Electrons à haute énergie

Cycle de l'acide citrique

Certains acides aminés

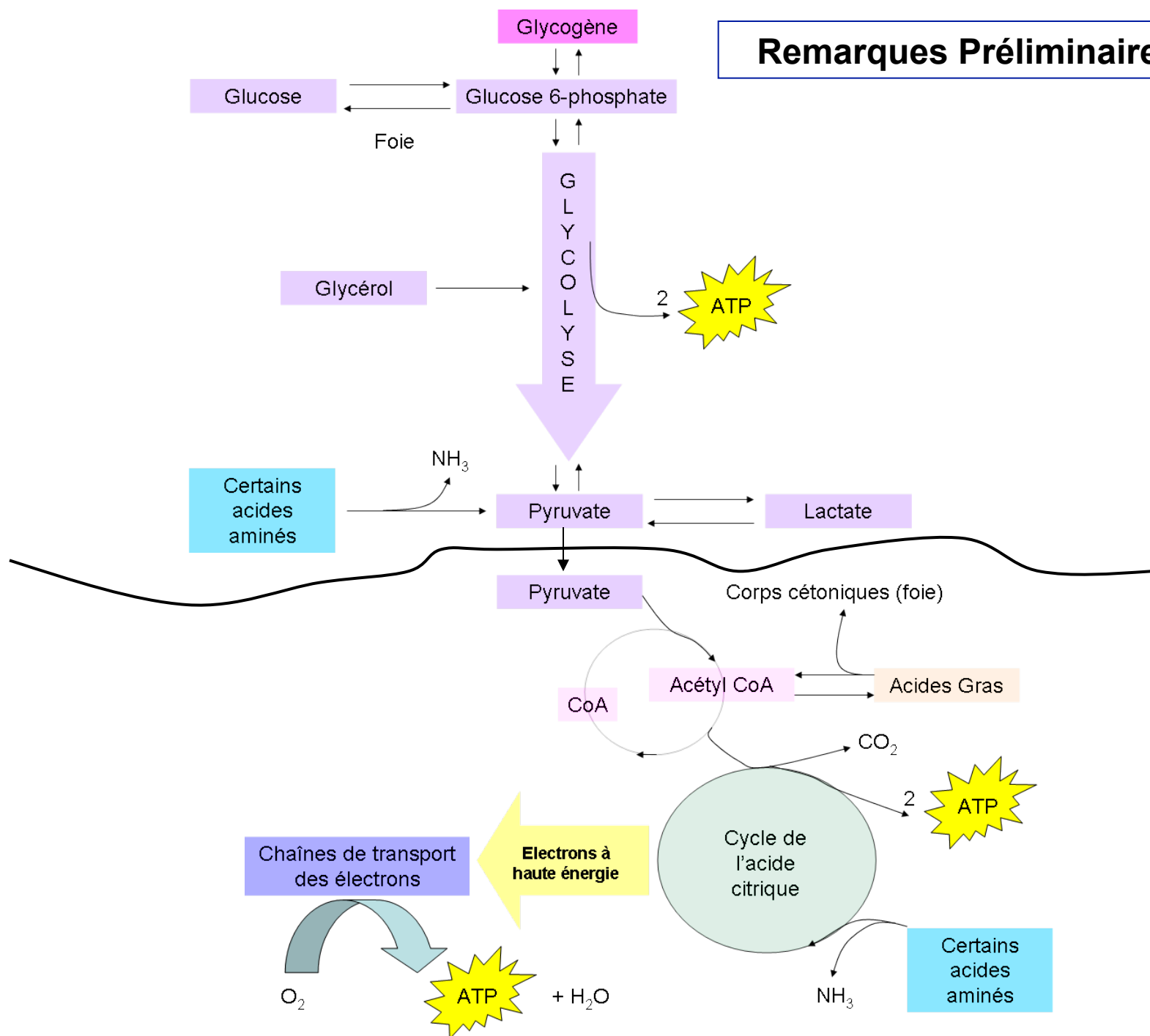
O<sub>2</sub>

ATP

+ H<sub>2</sub>O

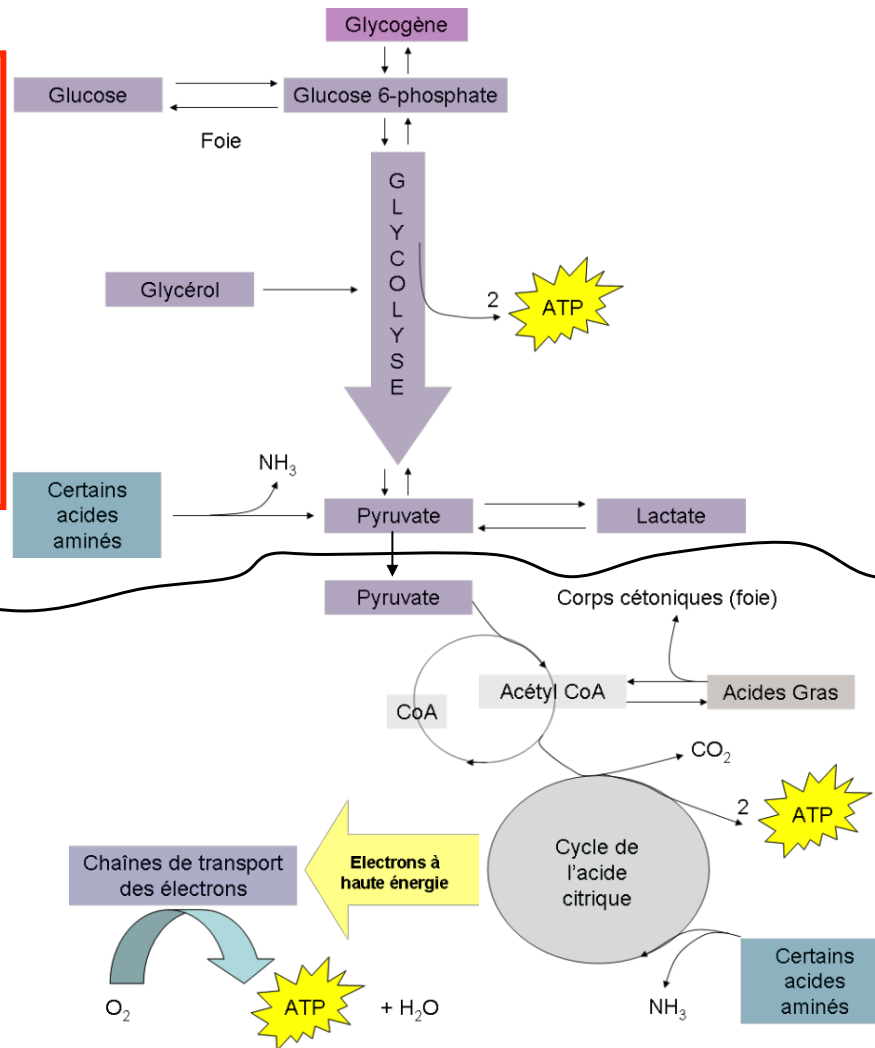
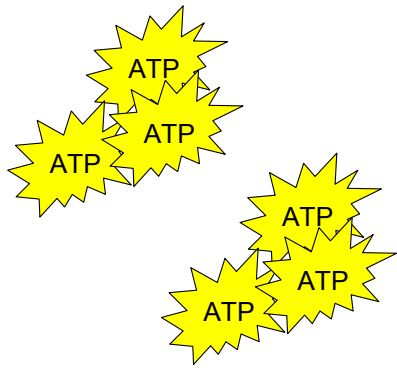
NH<sub>3</sub>

# Remarques Préliminaires



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

## Remarques Préliminaires



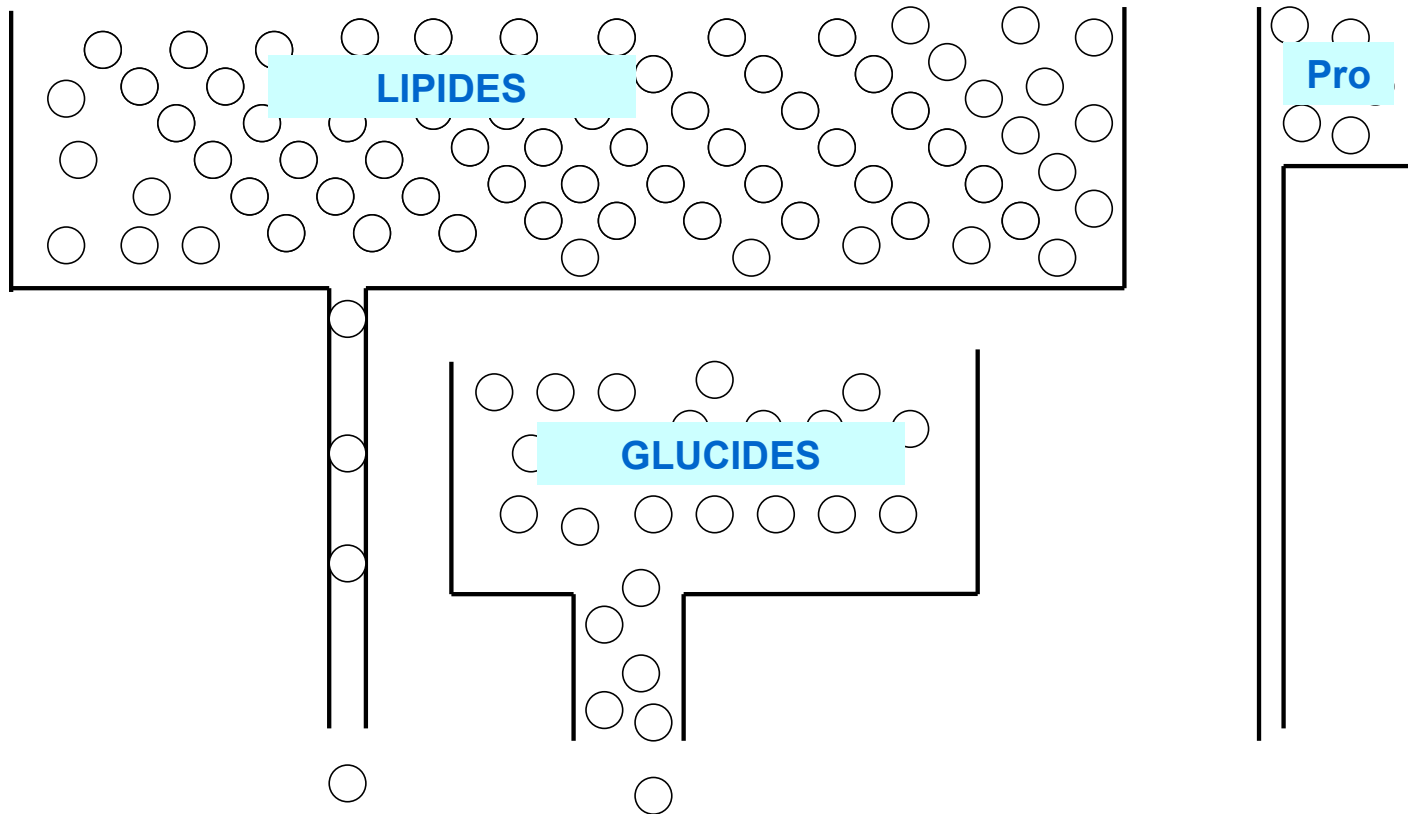
Activation de la glycolyse Anaérobie

Activation de la glycolyse Aérobie

Consommation des Réserves

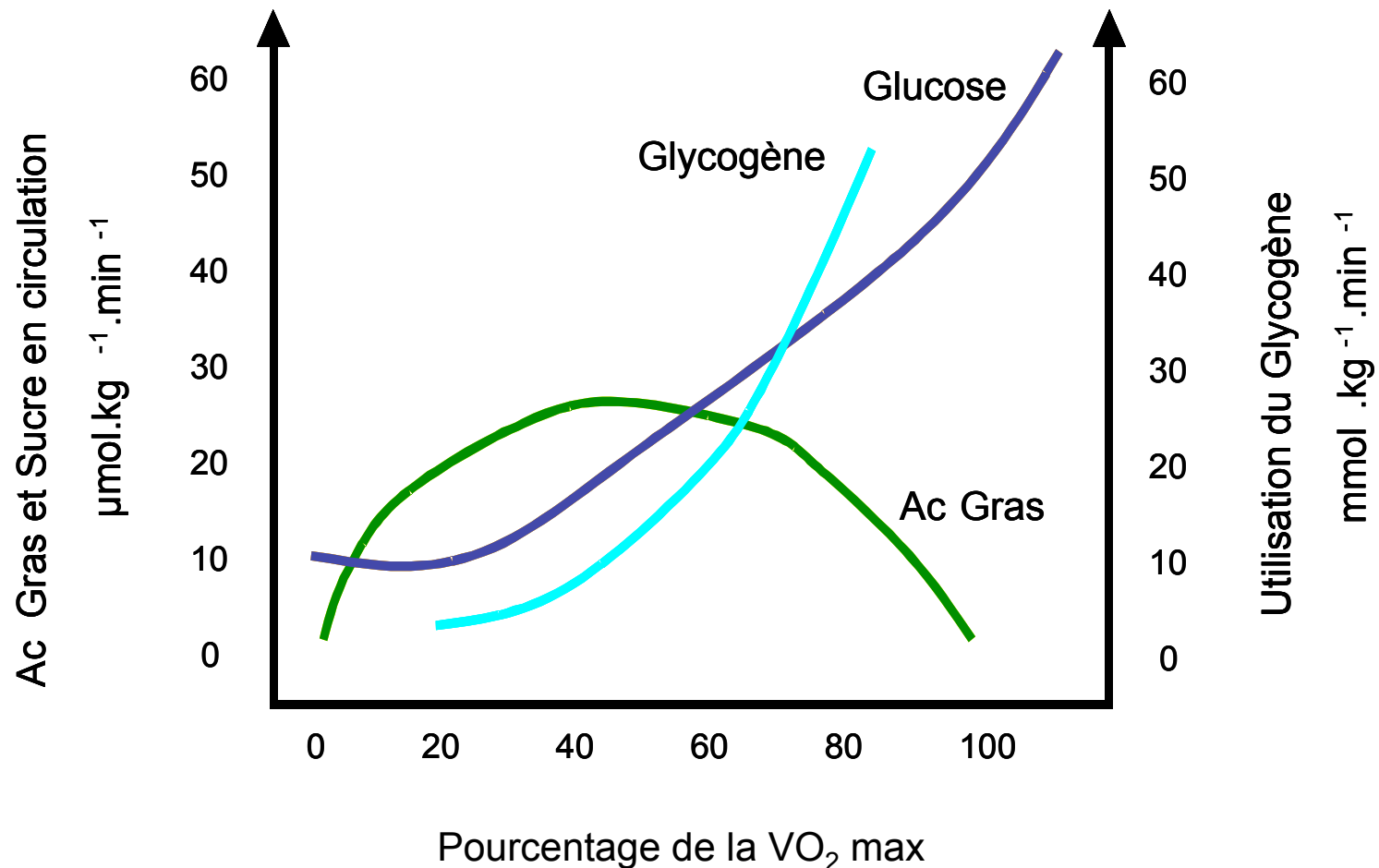
# L' épreuve d' effort en rampe est une épreuve glucidique

Remarques Préliminaires



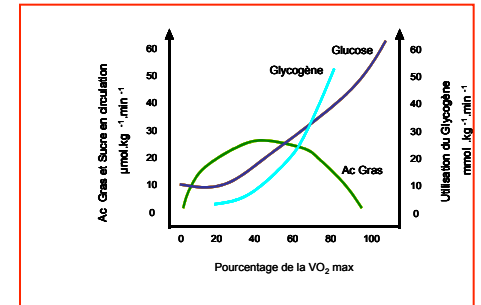
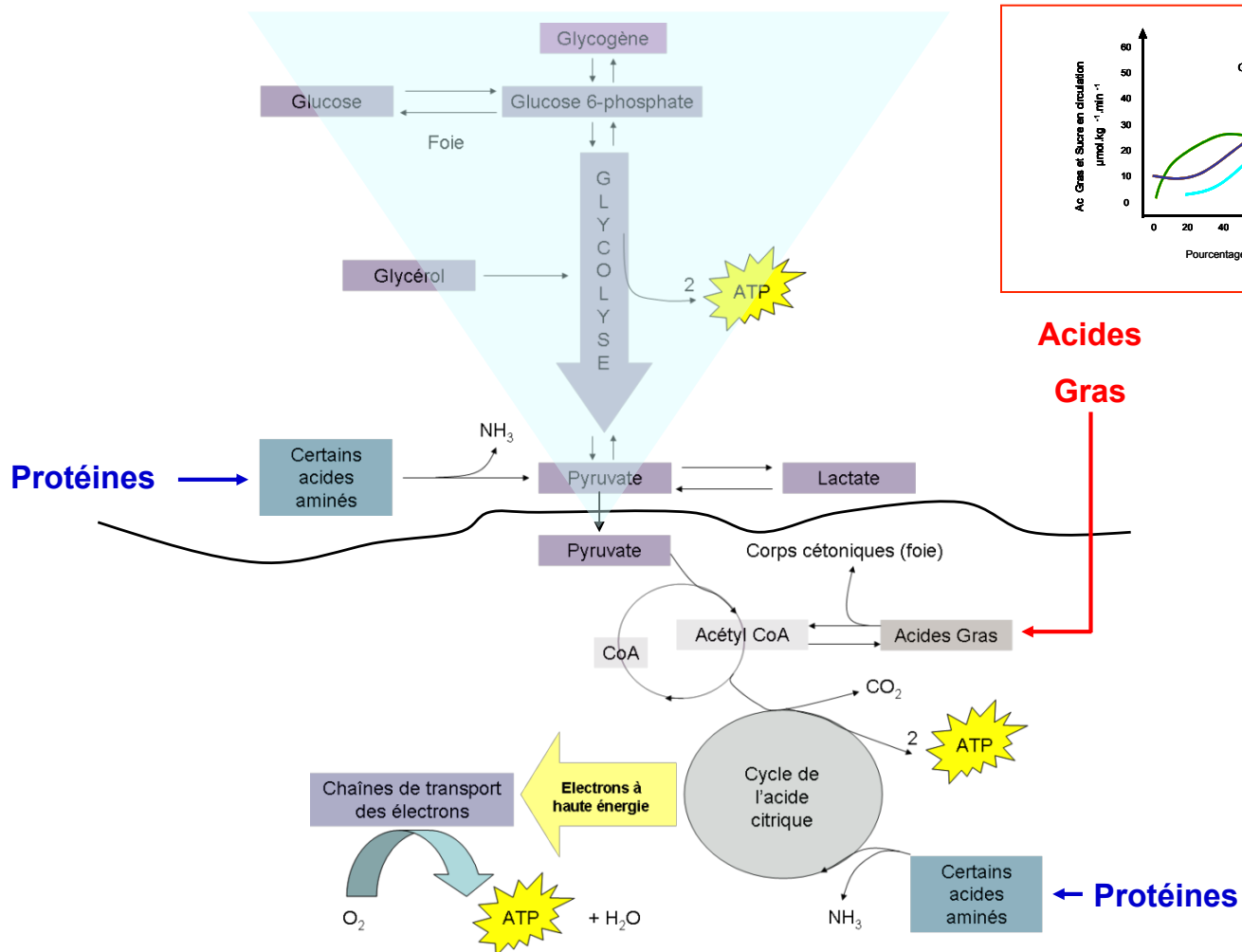
# L'épreuve d'effort en rampe est une épreuve glucidique

Remarques Préliminaires



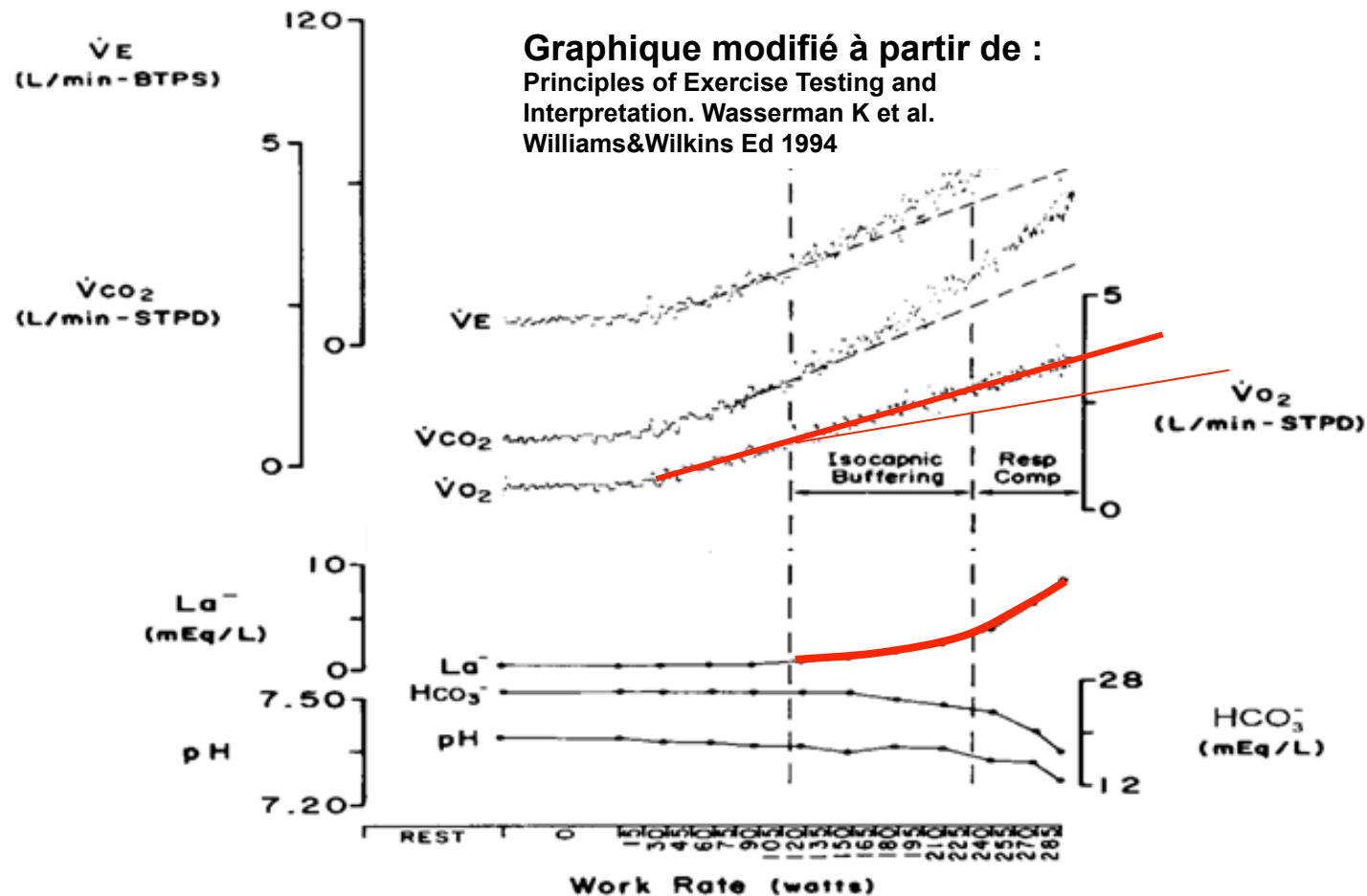
# L'épreuve d'effort en rampe est une épreuve glucidique

## Remarques Préliminaires



# Lors d'une épreuve en rampe l'énergie est quasi exclusivement d'origine aérobie

## Remarques Préliminaires



# Lors d'une épreuve en rampe l'énergie est quasi exclusivement d'origine aérobie

## Remarques Préliminaires

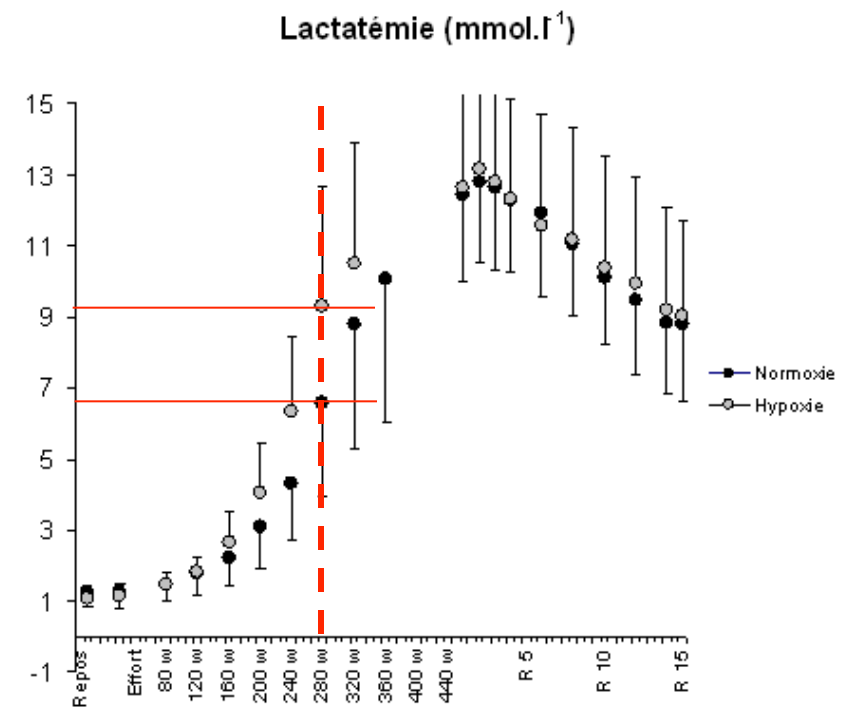
**18 sujets :**

Epreuve par paliers de 2 min

En normoxie ( $FiO_2=21\%$ ) •

En hypoxie ( $FiO_2=14\%$ ) •

$VO_{2max}$  (normoxie)  $63,2 \pm 1,2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$



Données non publiées relatives à la publication :

Dufour S et al. *J Appl Physiol.* 2006; 100:1238-1248

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

## Remarques Préliminaires

### ABSTRACT:

During exercise by healthy mammals, alveolar ventilation and alveolar-capillary diffusion increase in proportion to the increase in metabolic rate to prevent PaCO<sub>2</sub> from increasing and PaO<sub>2</sub> from decreasing. There is no known mechanism capable of directly sensing the rate of gas exchange in the muscles or the lungs; thus, for over a century there has been intense interest in elucidating how respiratory neurons adjust their output to variables which can not be directly monitored. Several hypotheses have been tested and supportive data were obtained, but for each hypothesis, there are contradictory data or reasons to question the validity of each hypothesis. Herein, we report a critique of the major hypotheses which has led to the following conclusions. First, a single stimulus or combination of stimuli that convincingly and entirely explains the hyperpnea has not been identified. Second, the coupling of the hyperpnea to metabolic rate is not causal but is due to of these variables each resulting from a common factor which link the circulatory and ventilatory responses to exercise. Third, stimuli postulated to act at pulmonary or cardiac receptors or carotid and intracranial chemoreceptors are not primary mediators of the hyperpnea. Fourth, stimuli originating in exercising limbs and conveyed to the brain by spinal afferents contribute to the exercise hyperpnea. Fifth, the hyperventilation during heavy exercise is not primarily due to lactacidosis stimulation of carotid chemoreceptors. Finally, since volitional exercise requires activation of the CNS, neural feed-forward (central command) mediation of the exercise hyperpnea seems intuitive and is supported by data from several studies. However, there is no compelling evidence to accept this concept as an indisputable fact. © 2012 American Physiological Society. *Compr Physiol* 2:743-777, 2012.

# 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>)

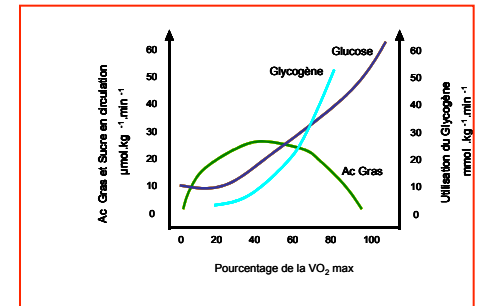
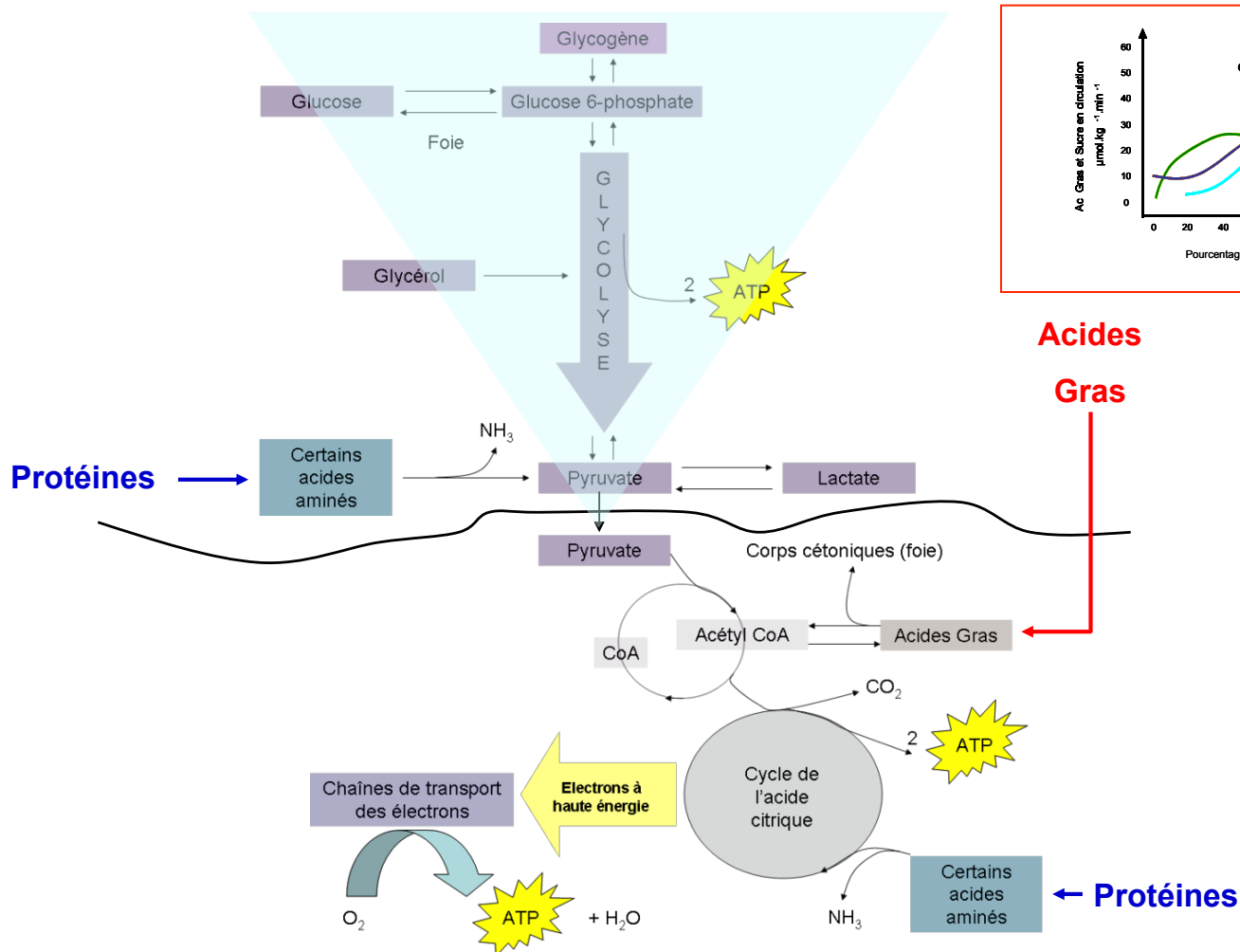
**Physiologie des ajustements**

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

Analyse en 7 points

Cas cliniques

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



**Acides Gras**

**Protéines**

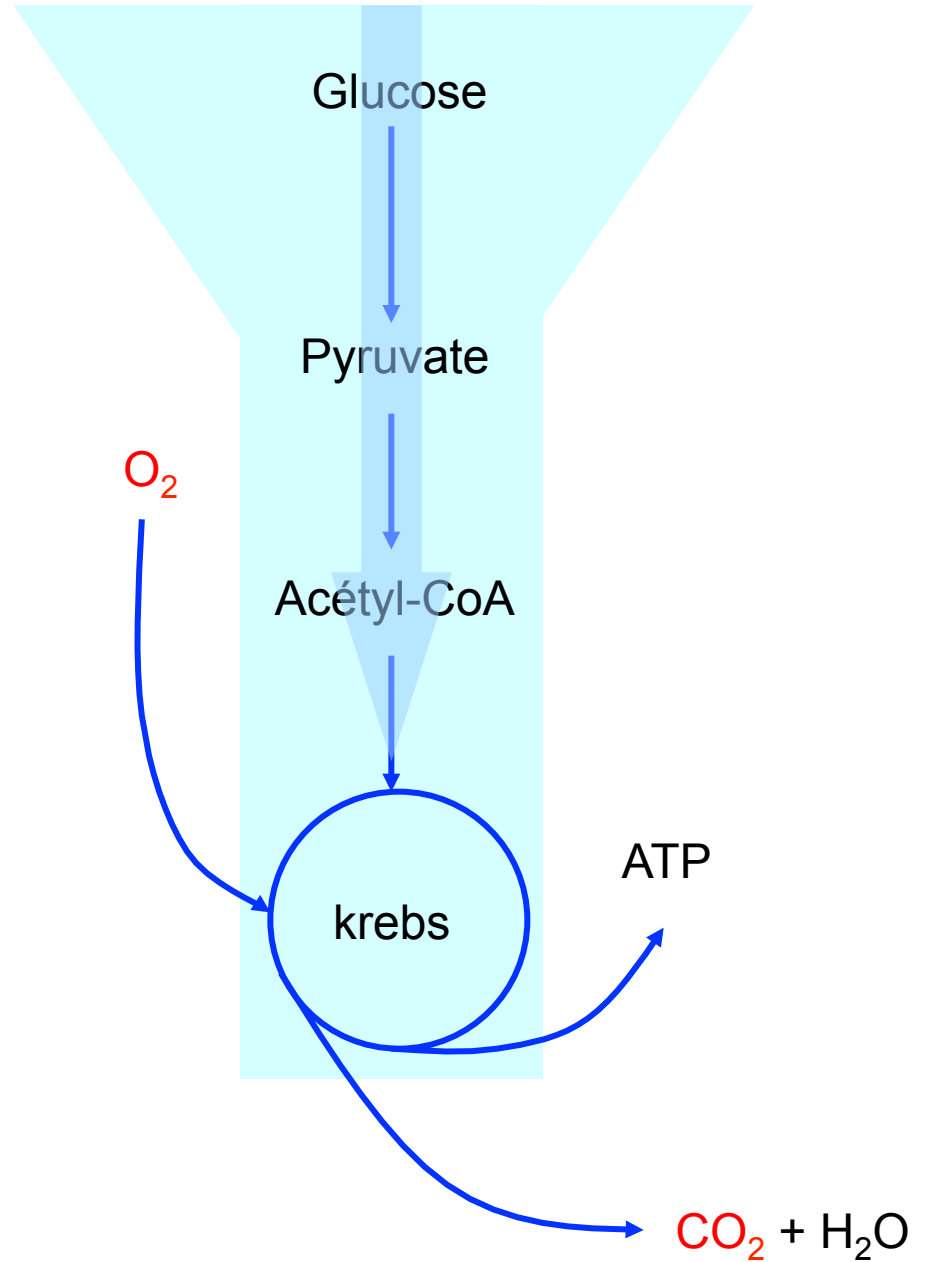
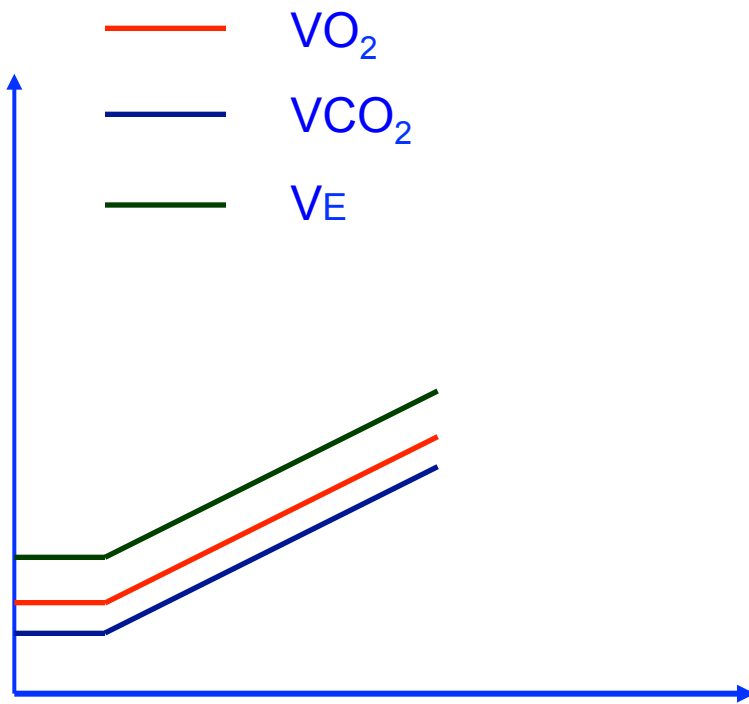
# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

- 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

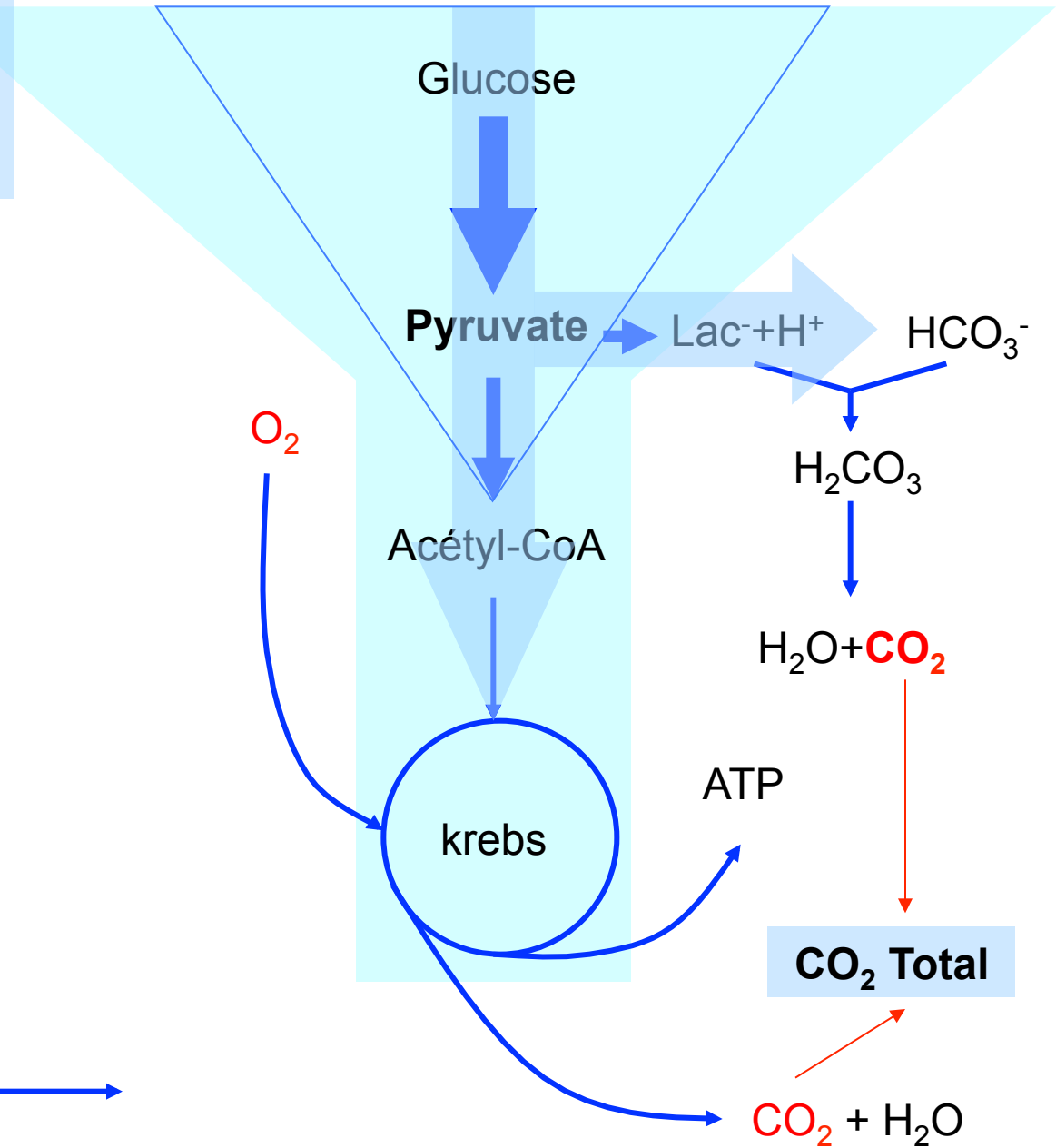
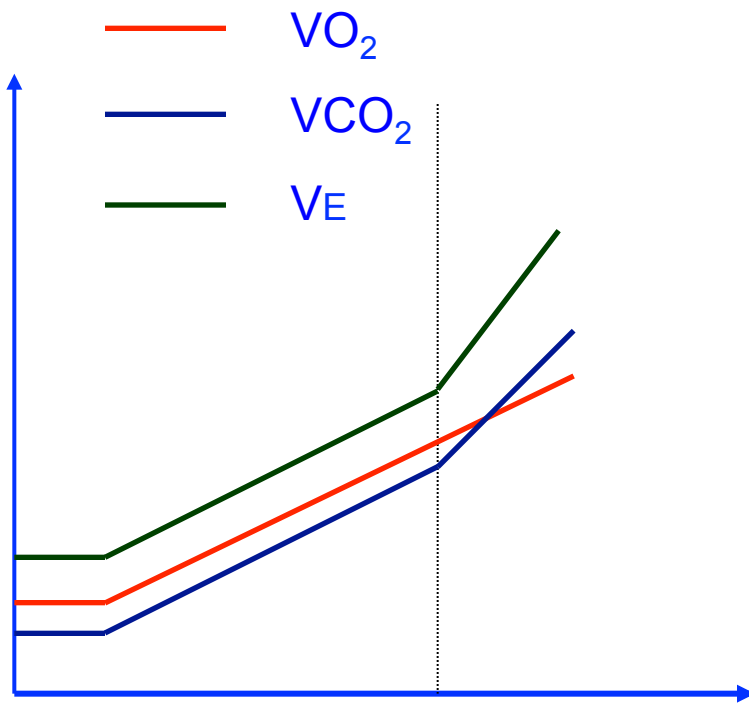
# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

- 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

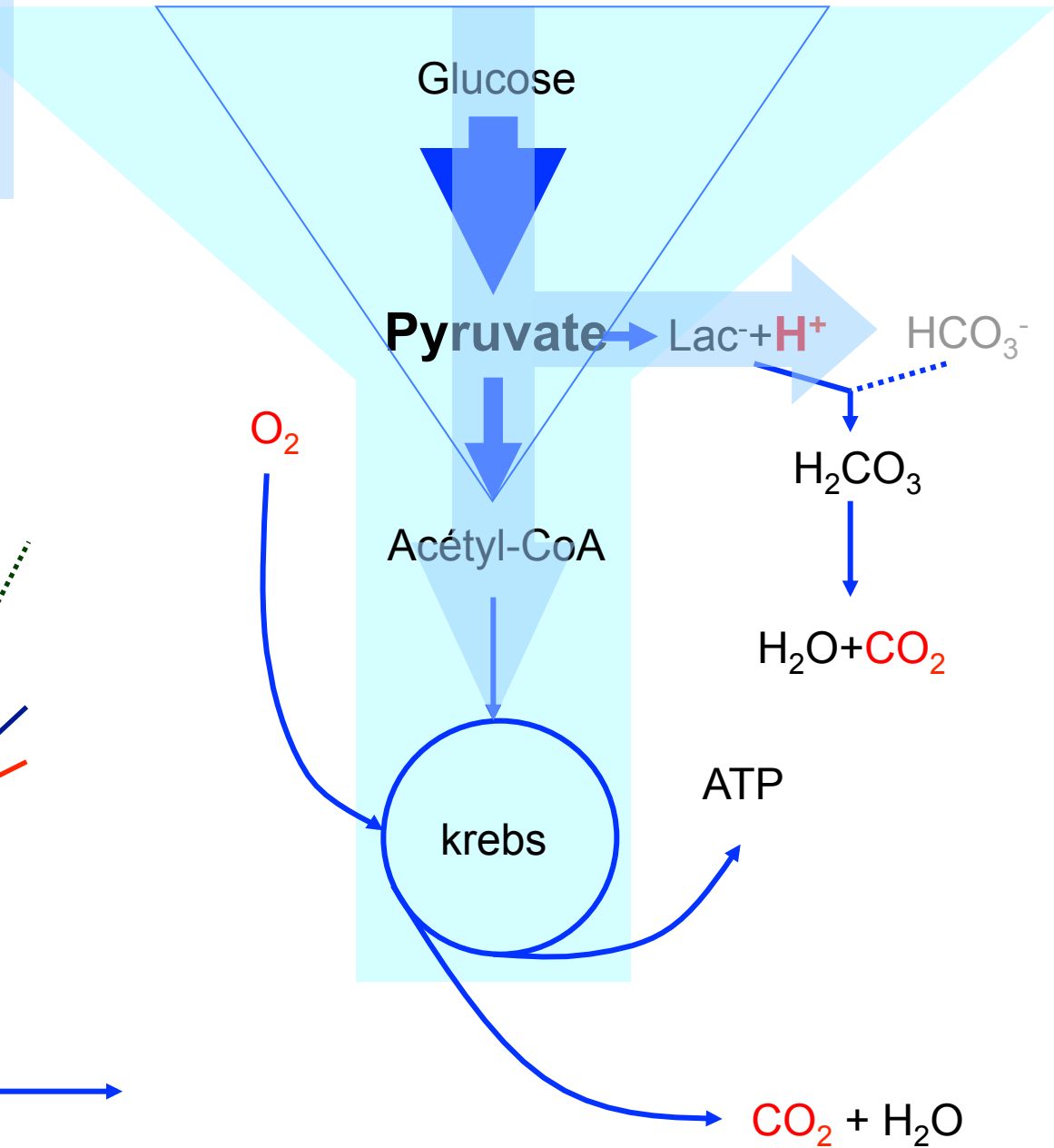
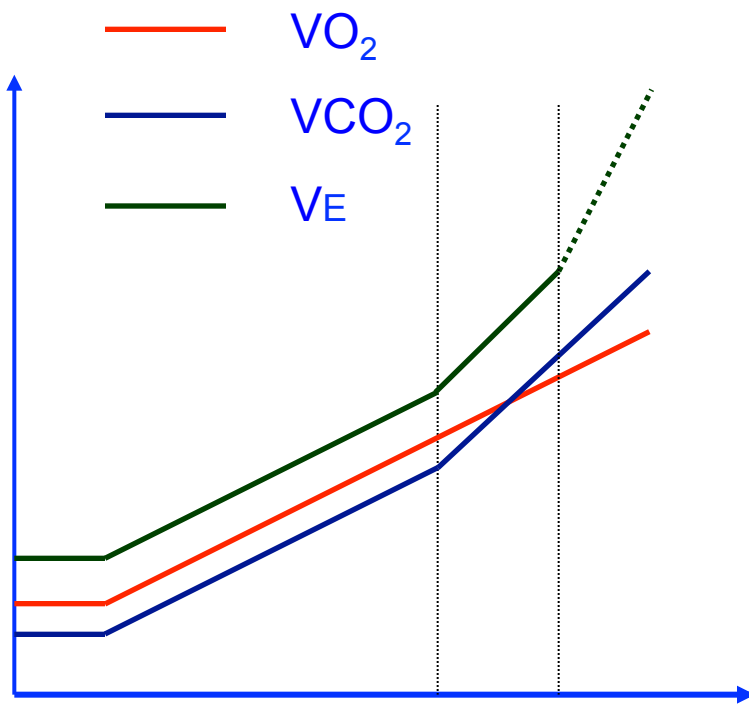
# Oxydation glucidique et cinétique des ajustements



# Oxydation glucidique et cinétique des ajustements



# Oxydation glucidique et cinétique des ajustements



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

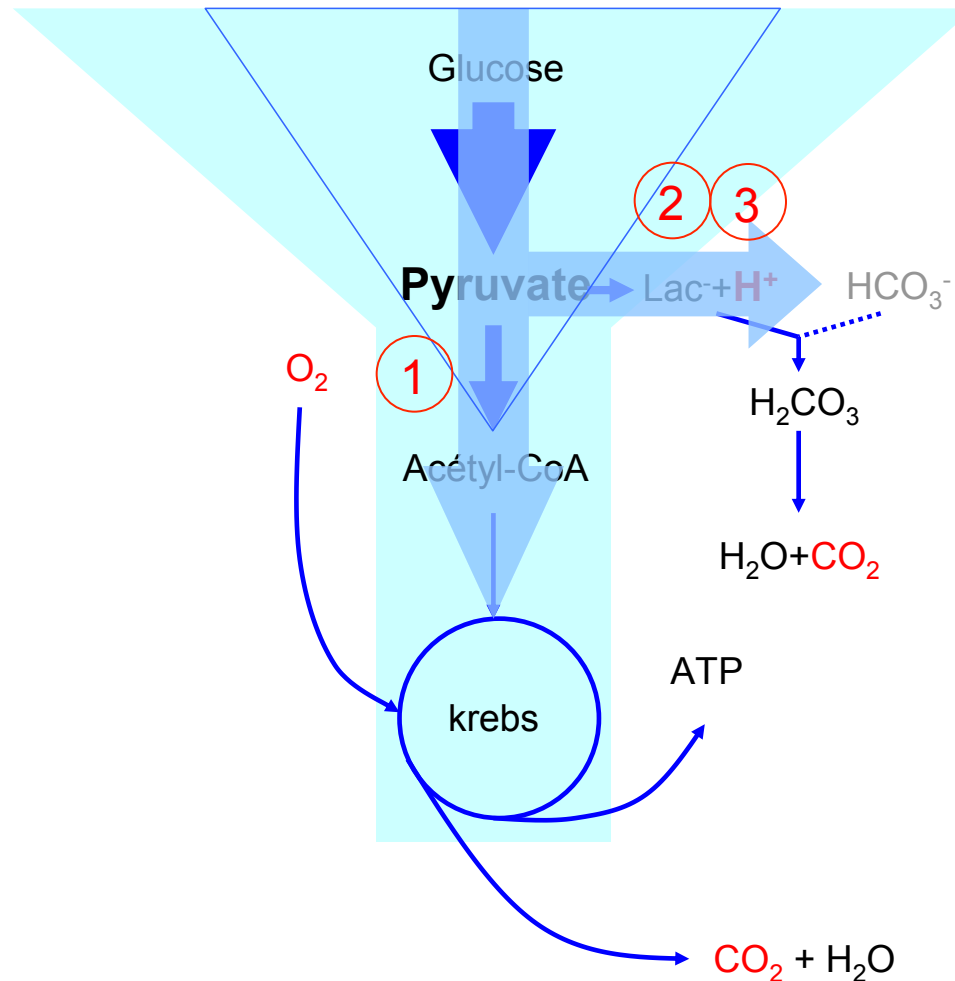
- Relation entre oxydation glucidique et cinétique des ajustements
- Intérêt de l'oxydation glucidique à haute intensité d'effort
- Méthodes de détermination des seuils
  - Méthodes ventilatoires
  - Méthodes lactiques
- Significations cliniques des seuils

# Intérêts de l'oxydation glucidique à haute intensité d'exercice

## Contributions respectives des différents substrats

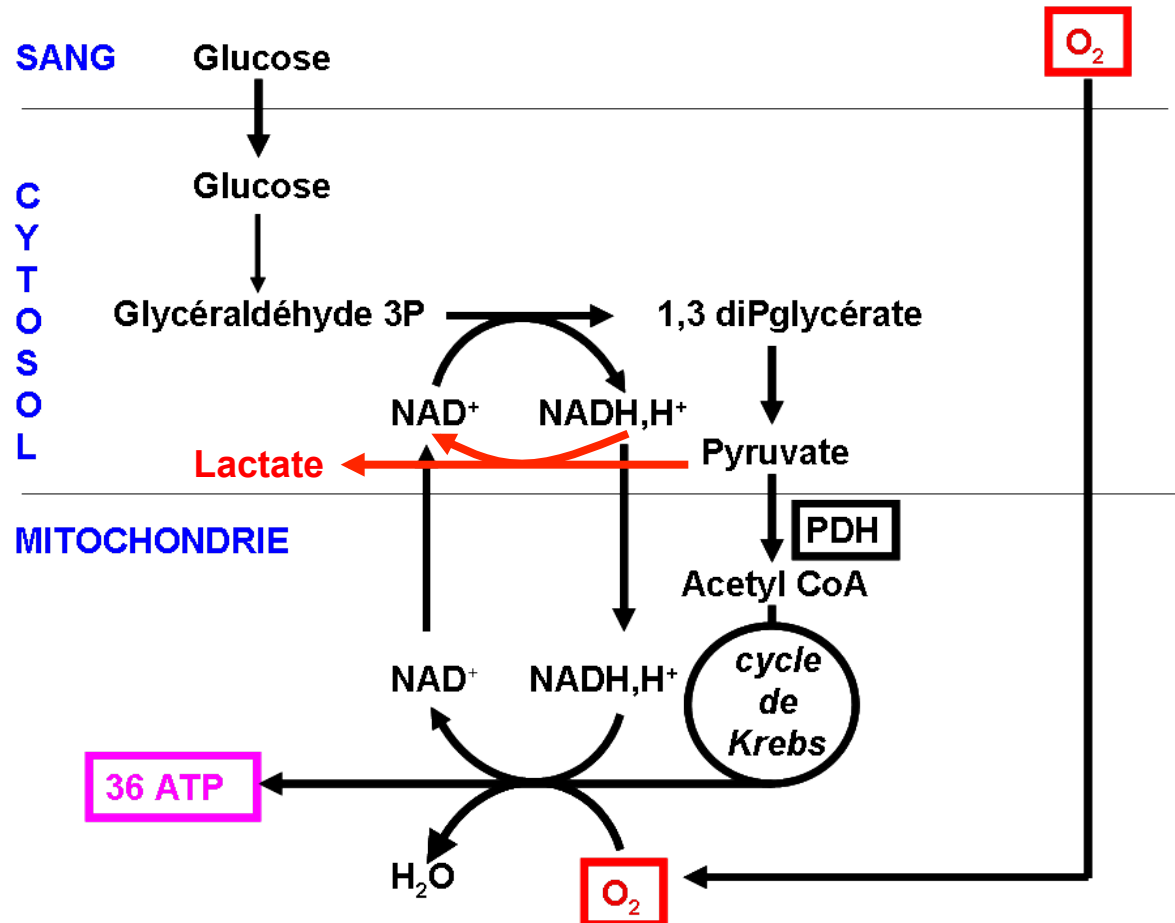
- Stock rapidement mobilisable :
  - 15 à 18 g par kg de muscle (♂ 70 kg – 400 g)
  - 5 à 6 g dans le sang
  - 50 à 90 g dans le foie
- Coefficient thermique élevé
  - 21,3 kJ.lO<sub>2</sub><sup>-1</sup> (19,6 pour les lipides)
- Plus faible coût en O<sub>2</sub> lors de la production énergétique
  - Glucose ~P/O<sub>2</sub>=6 ou 6,18
  - Lipide ~P/O<sub>2</sub>=5,65
- Navette NAD<sup>+</sup>/NADH H<sup>+</sup> 1
- Production de lactate et activité mitochondriale 2
- Acidose tissulaire et apport d'oxygène tissulaire 3

# Intérêts de l'oxydation glucidique à haute intensité d'exercice



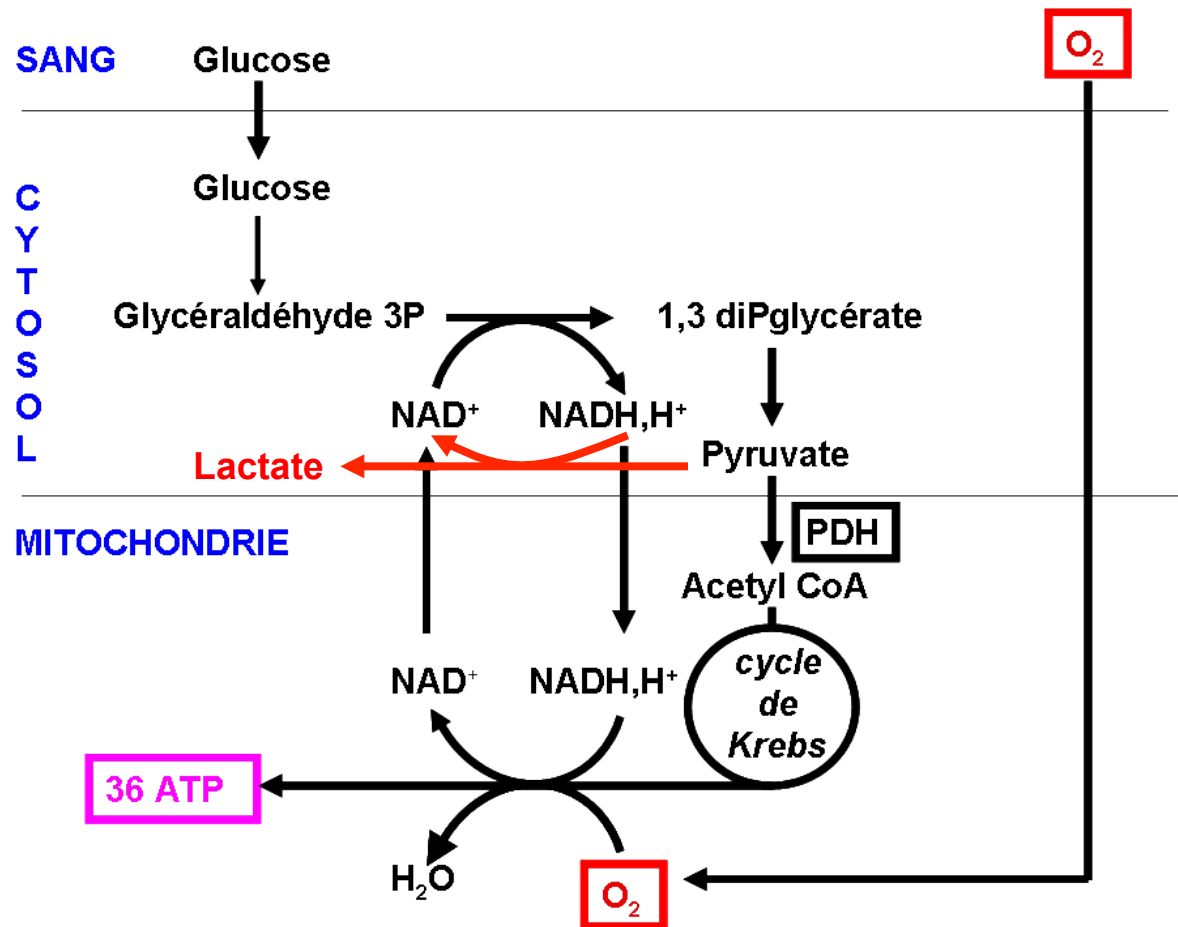
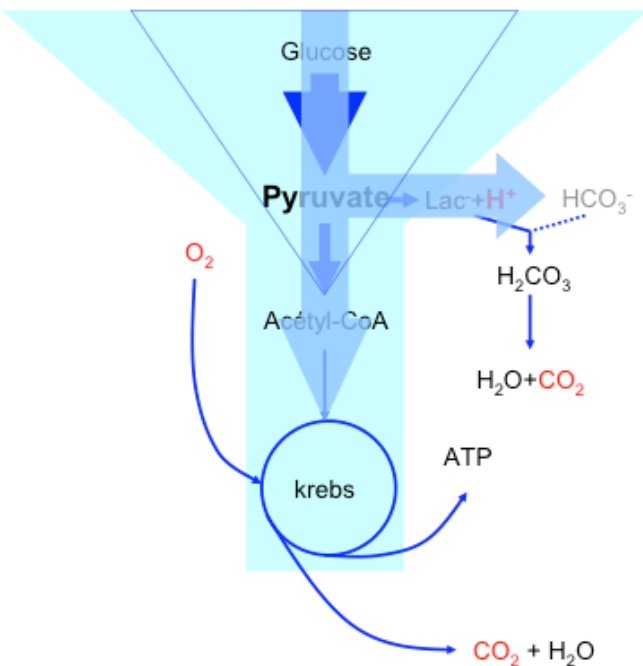
# Intérêts de l'oxydation glucidique à haute intensité d'exercice

## 1 Navette NAD<sup>+</sup>/NADH H<sup>+</sup>



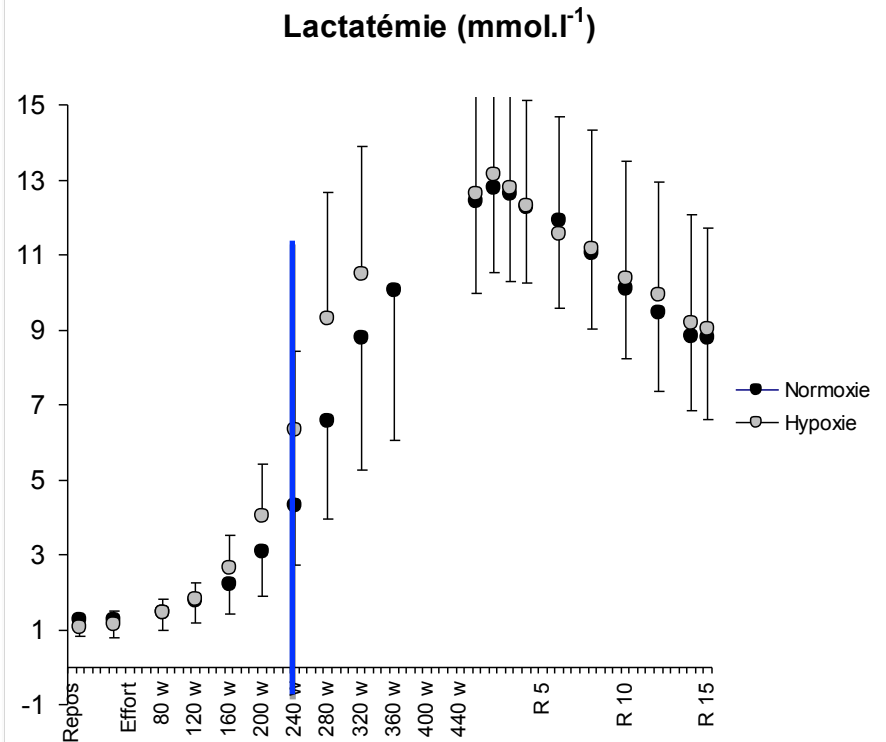
# Intérêts de l'oxydation glucidique à haute intensité d'exercice

## Navette NAD<sup>+</sup>/NADH H<sup>+</sup>



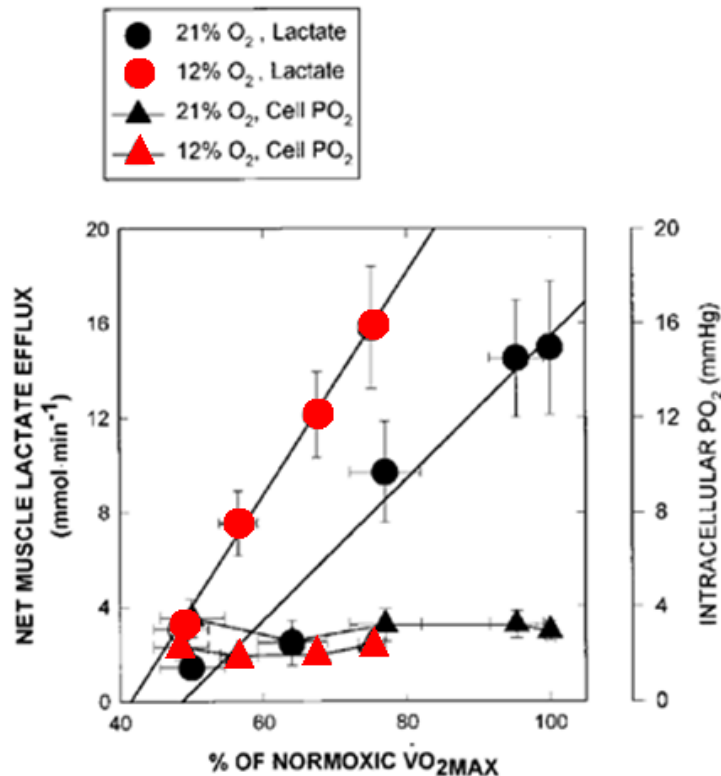
# Intérêts de l'oxydation glucidique à haute intensité d'exercice

## 2 Lactate et activité mitochondriale



# Intérêts de l'oxydation glucidique à haute intensité d'exercice

## 2 Lactate et activité mitochondriale



2 exercices :

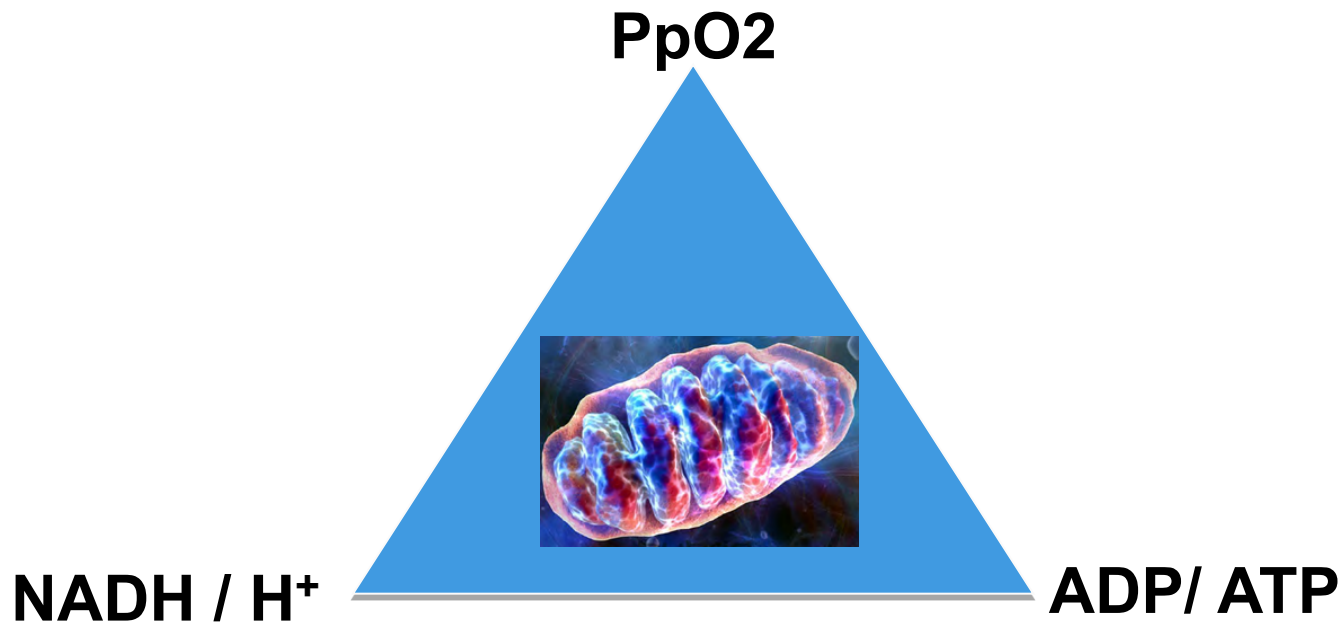
Niveau de la mer et 5000 m

- La PpO<sub>2</sub> tissulaire est la même
- Le VO<sub>2</sub> est le même
- La lactatémie est plus élevée

Pourquoi le lactate augmente ?

# Intérêts de l'oxydation glucidique à haute intensité d'exercice

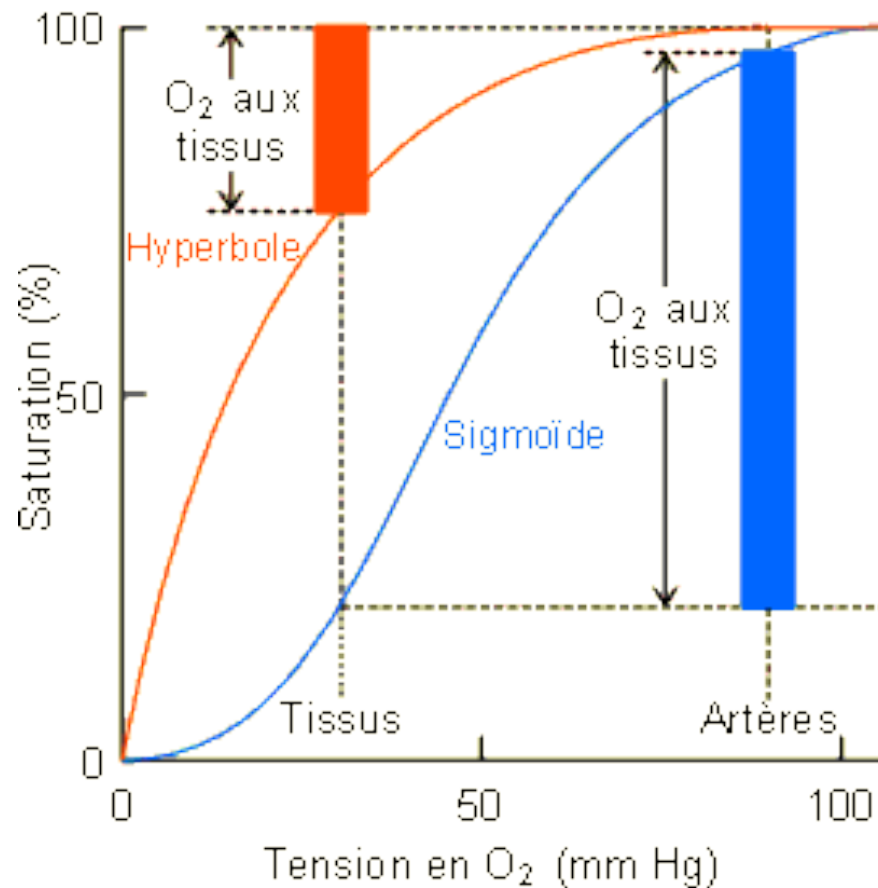
## ② Lactate et activité mitochondriale



# Intérêts de l'oxydation glucidique à haute intensité d'exercice

3

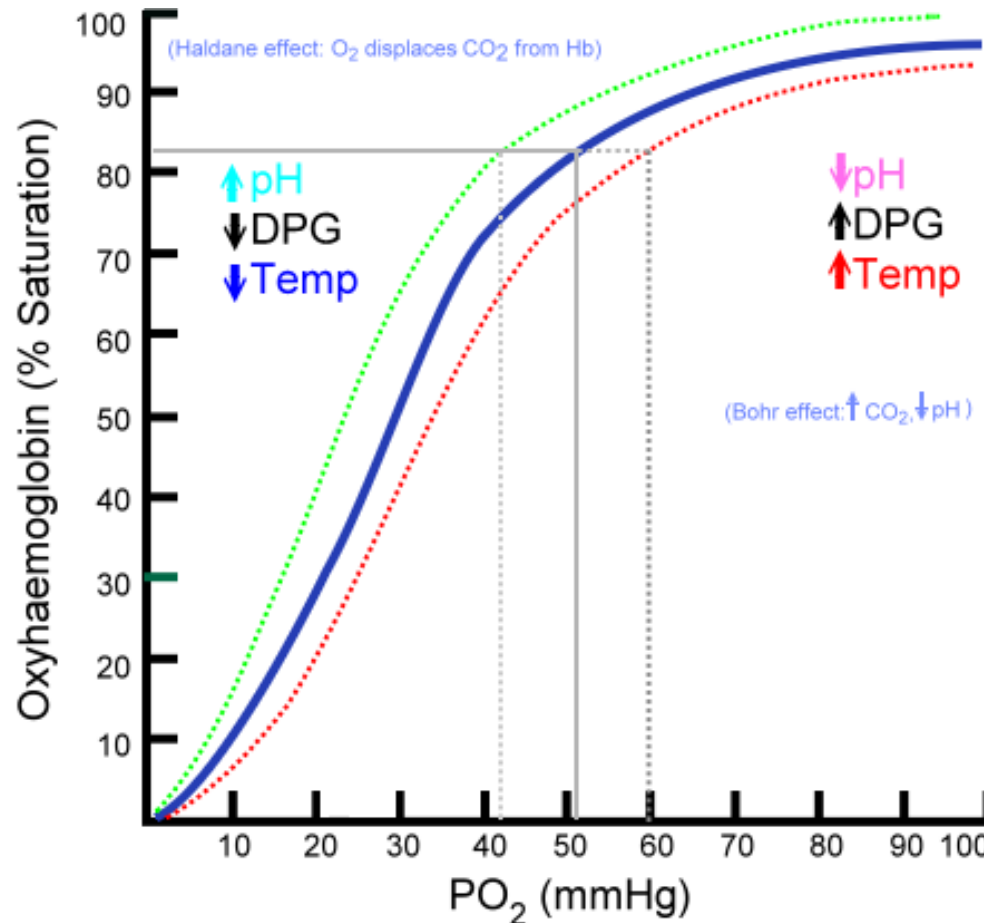
## Acidose et apport d'oxygène tissulaire



# Intérêts de l'oxydation glucidique à haute intensité d'exercice

3

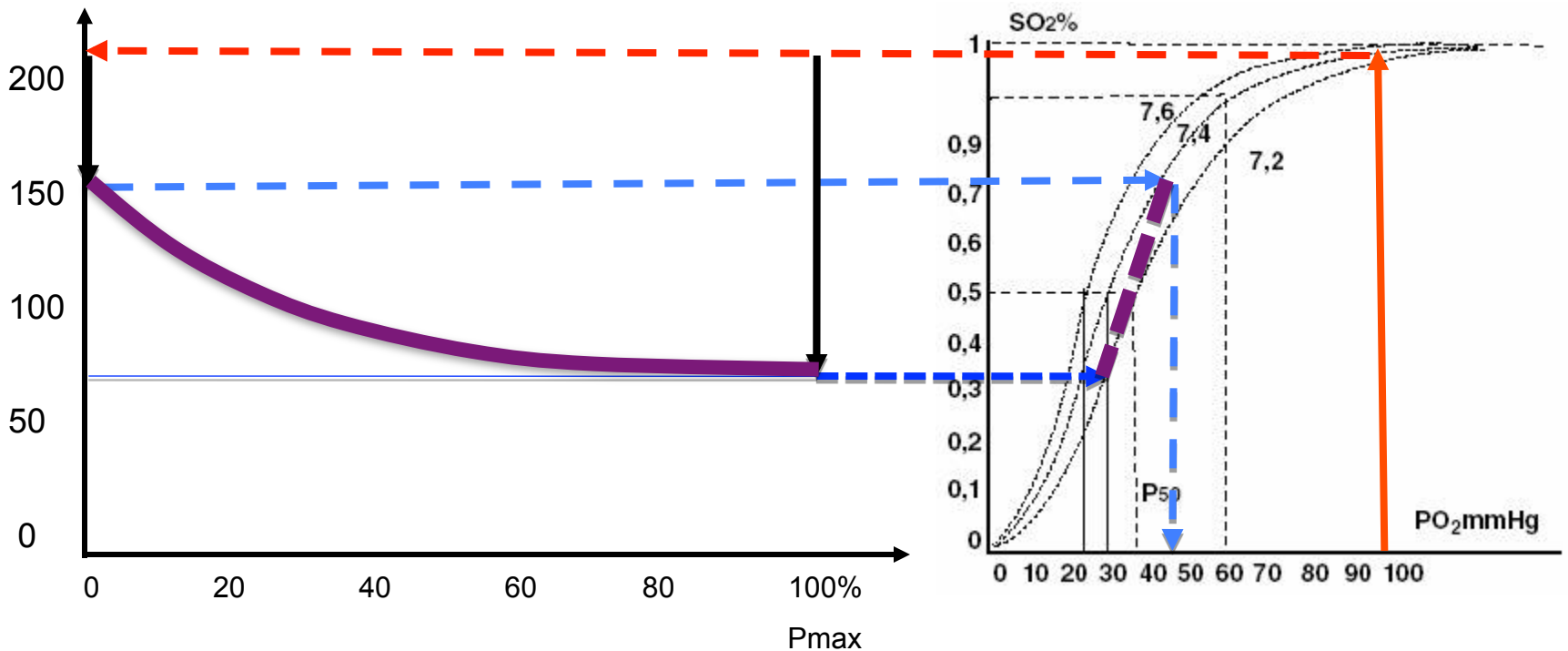
## Acidose et apport d'oxygène tissulaire



# Intérêts de l'oxydation glucidique à haute intensité d'exercice

## 3 Acidose et apport d'oxygène tissulaire

Contenu du sang en  $O_2$  (ml.l<sup>-1</sup>)

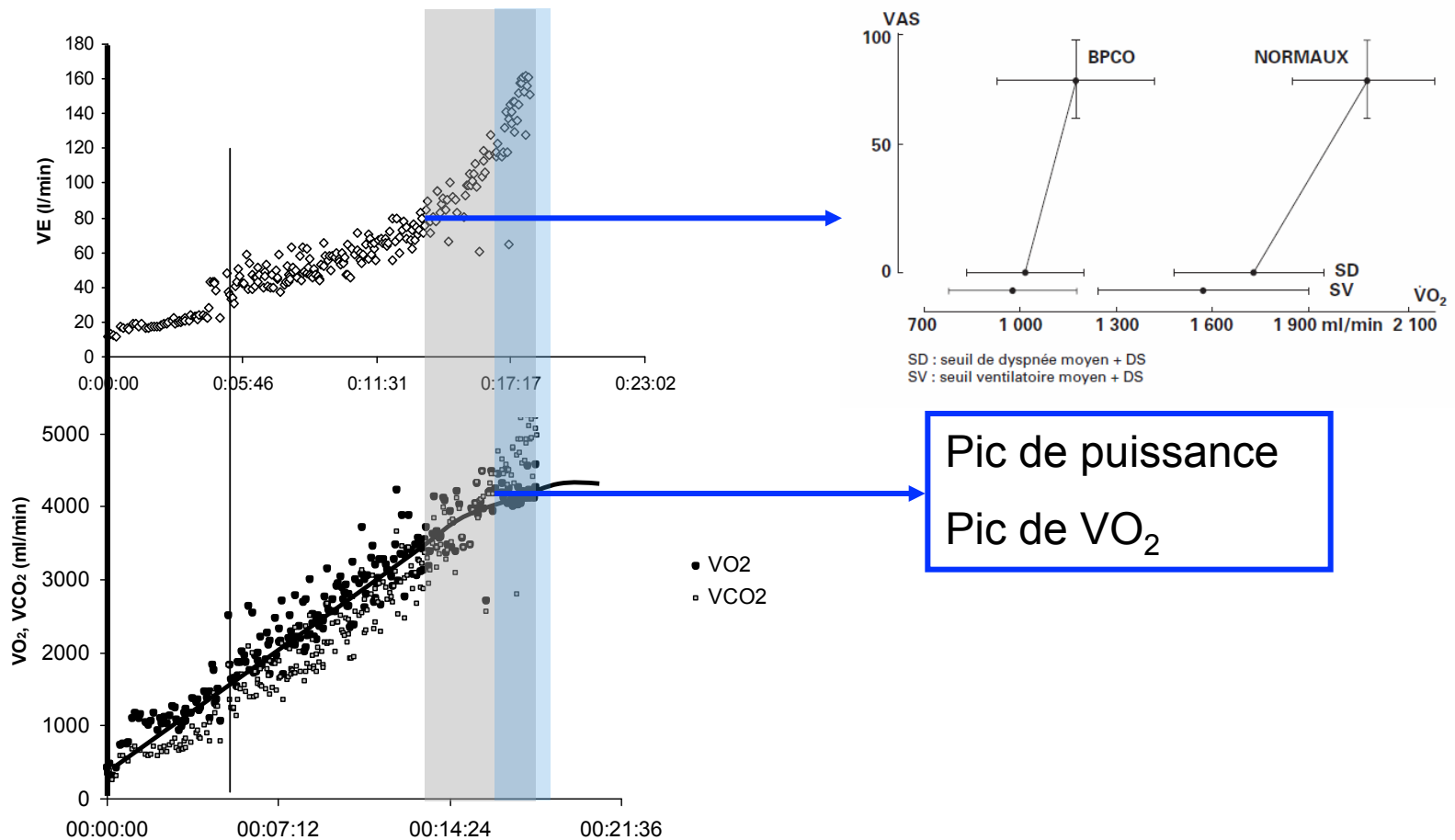


# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

- 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

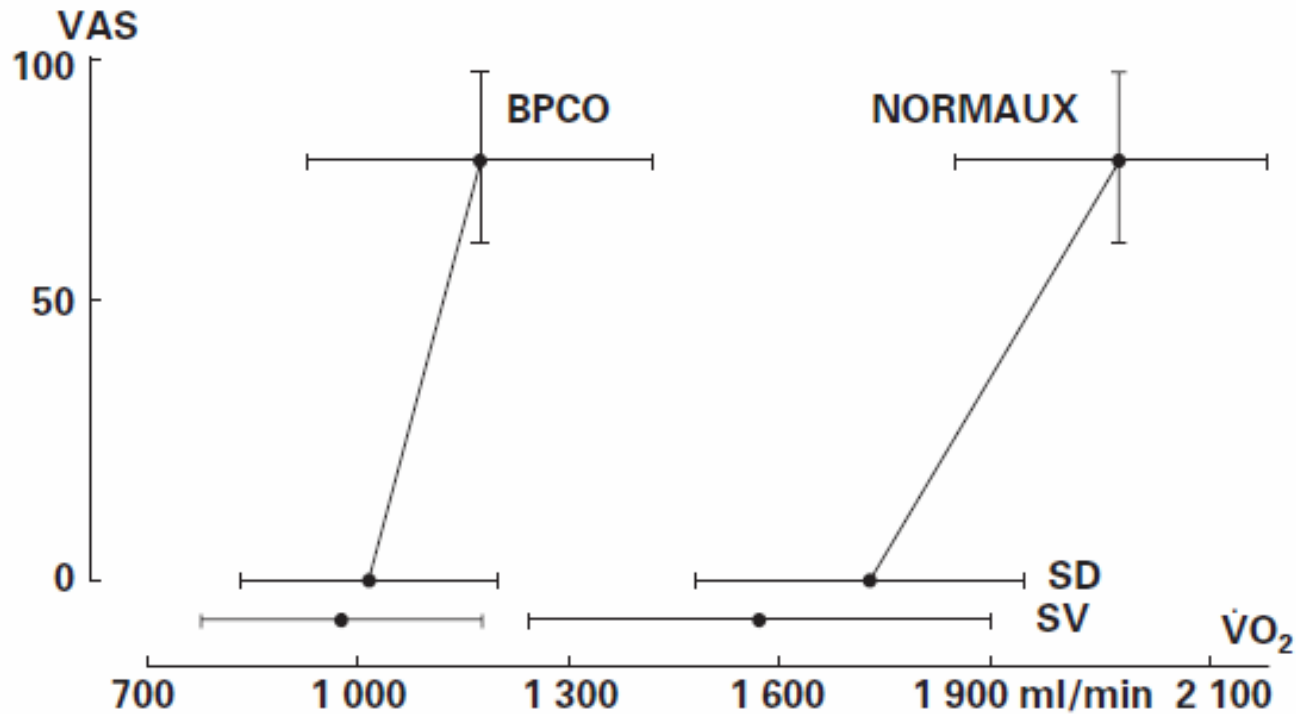
# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

## Méthode de détermination des seuils



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

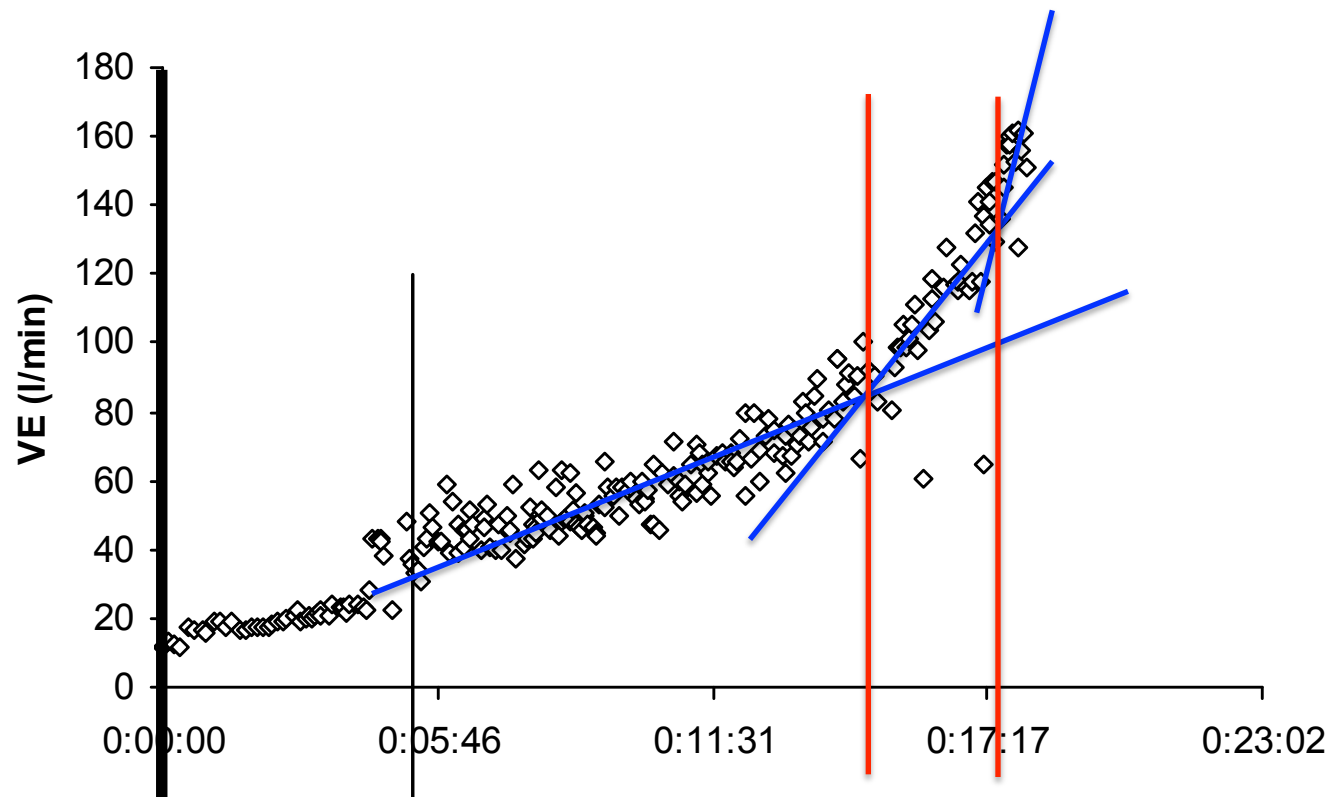
## Méthode de détermination des seuils



SD : seuil de dyspnée moyen + DS  
SV : seuil ventilatoire moyen + DS

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

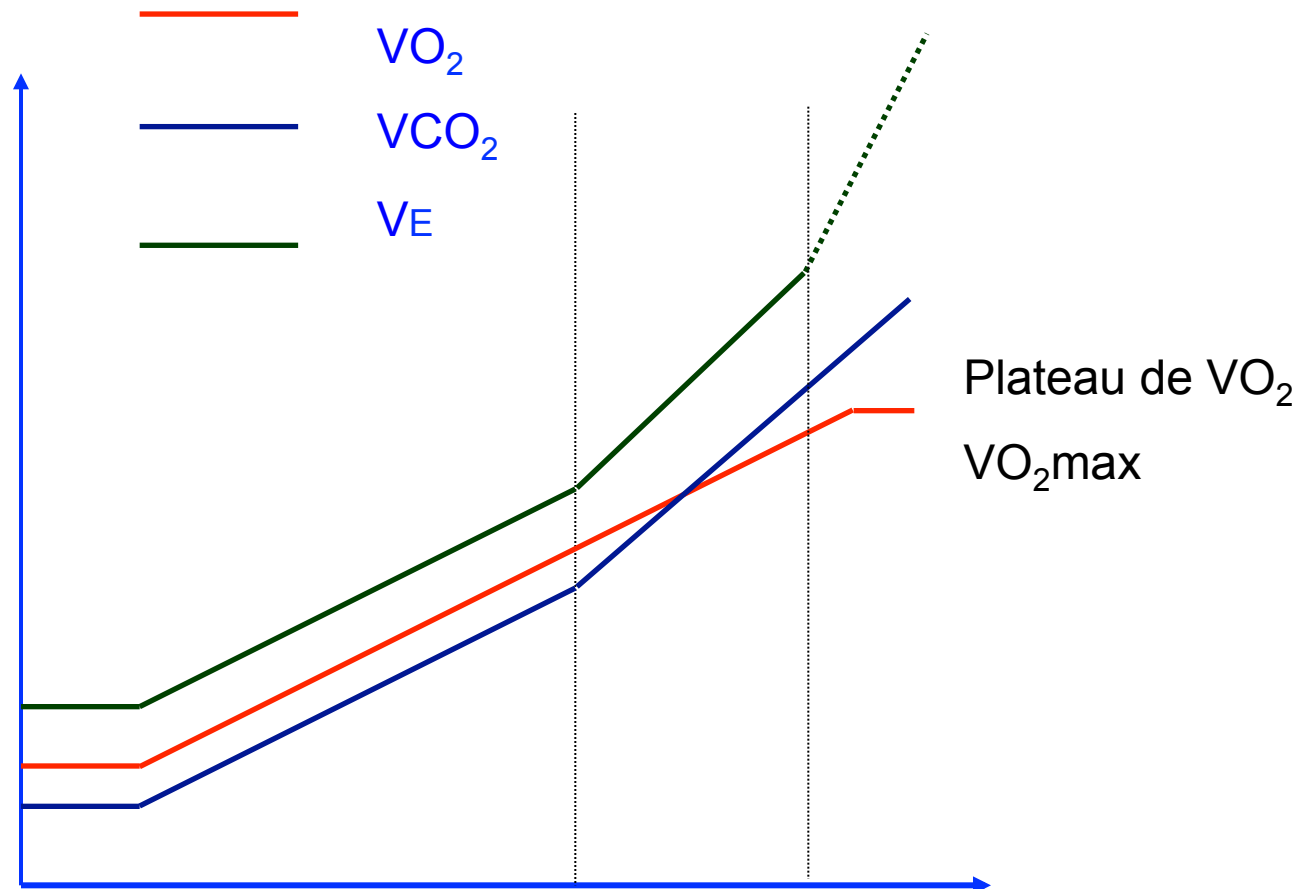
## Méthode de détermination des seuils



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

## Méthode de détermination des seuils

### A) Méthode ventilatoire

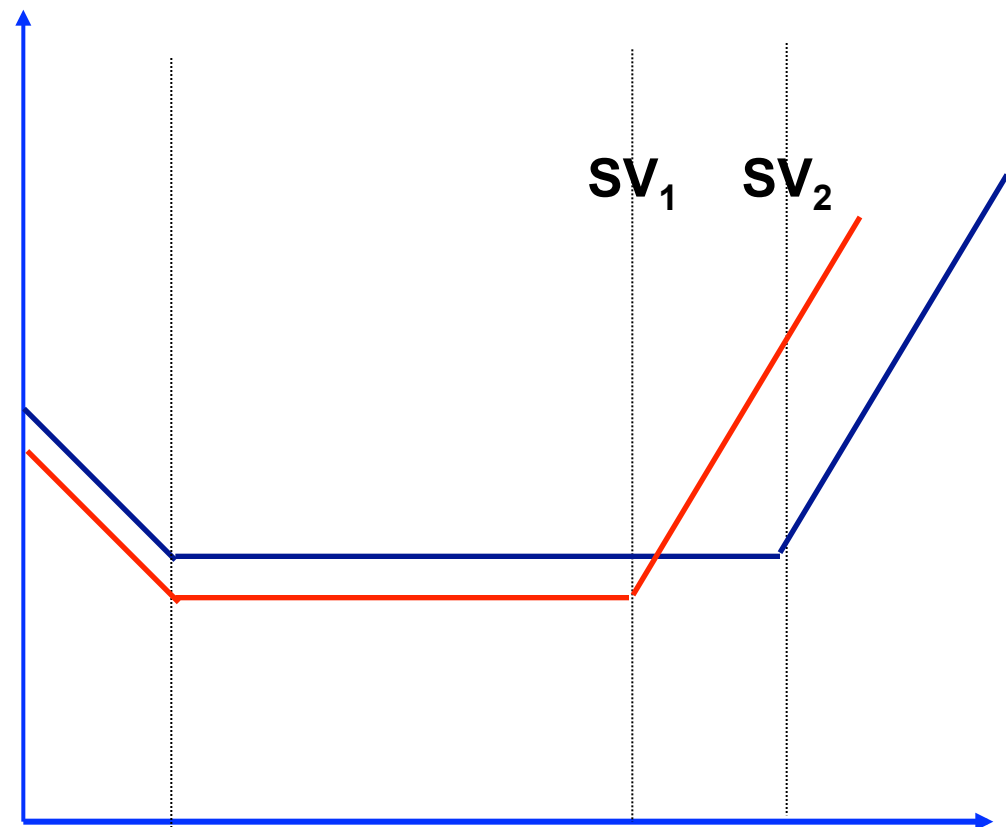
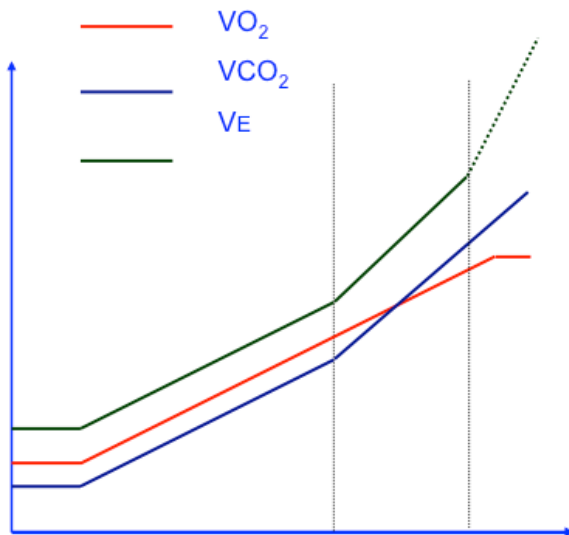


# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

## Méthode de détermination des seuils

### A) Méthode ventilatoire

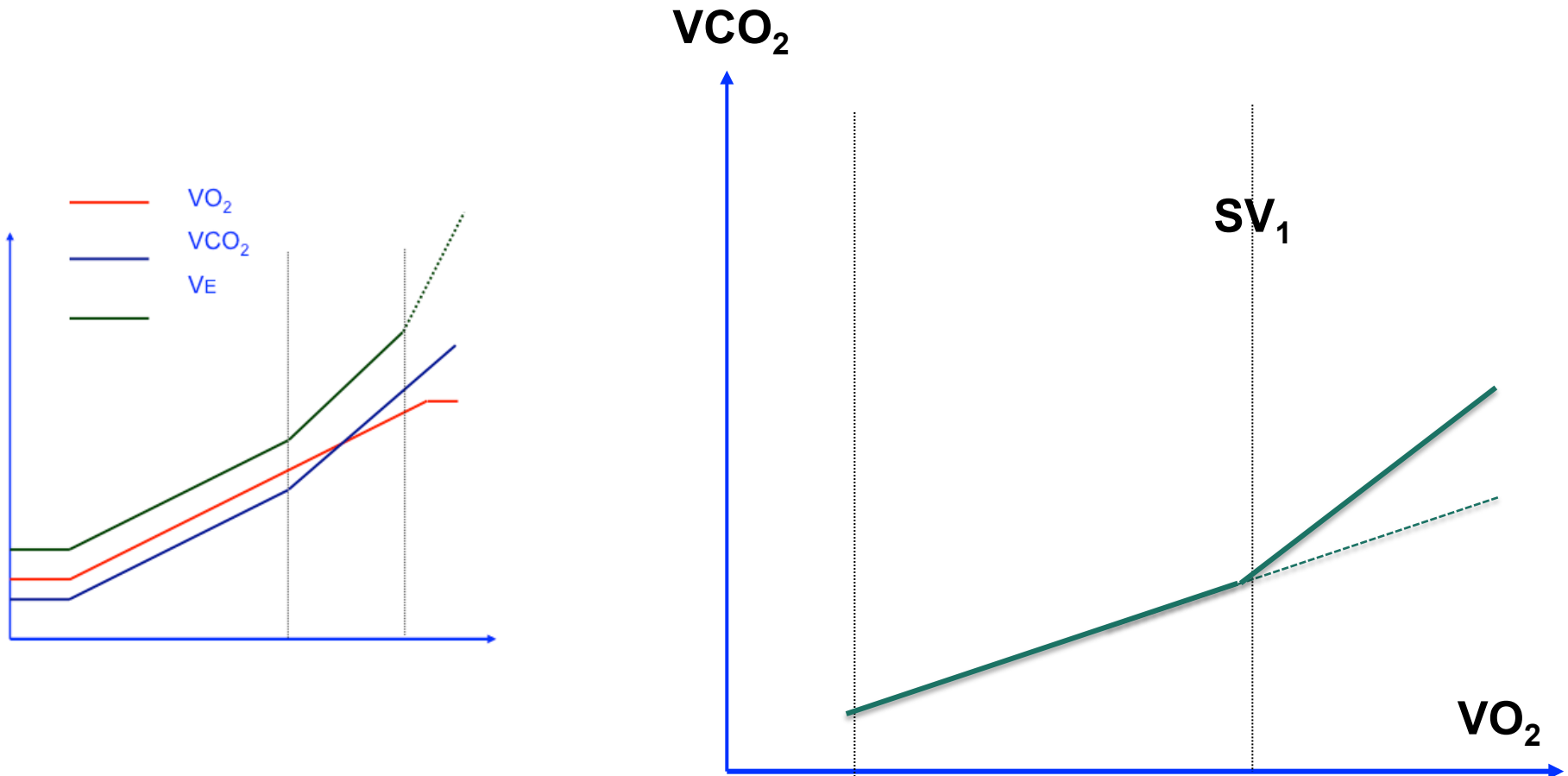
—  $VE/VCO_2$   
—  $VE/VO_2$



# 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	$\uparrow VE/VCO_2$	

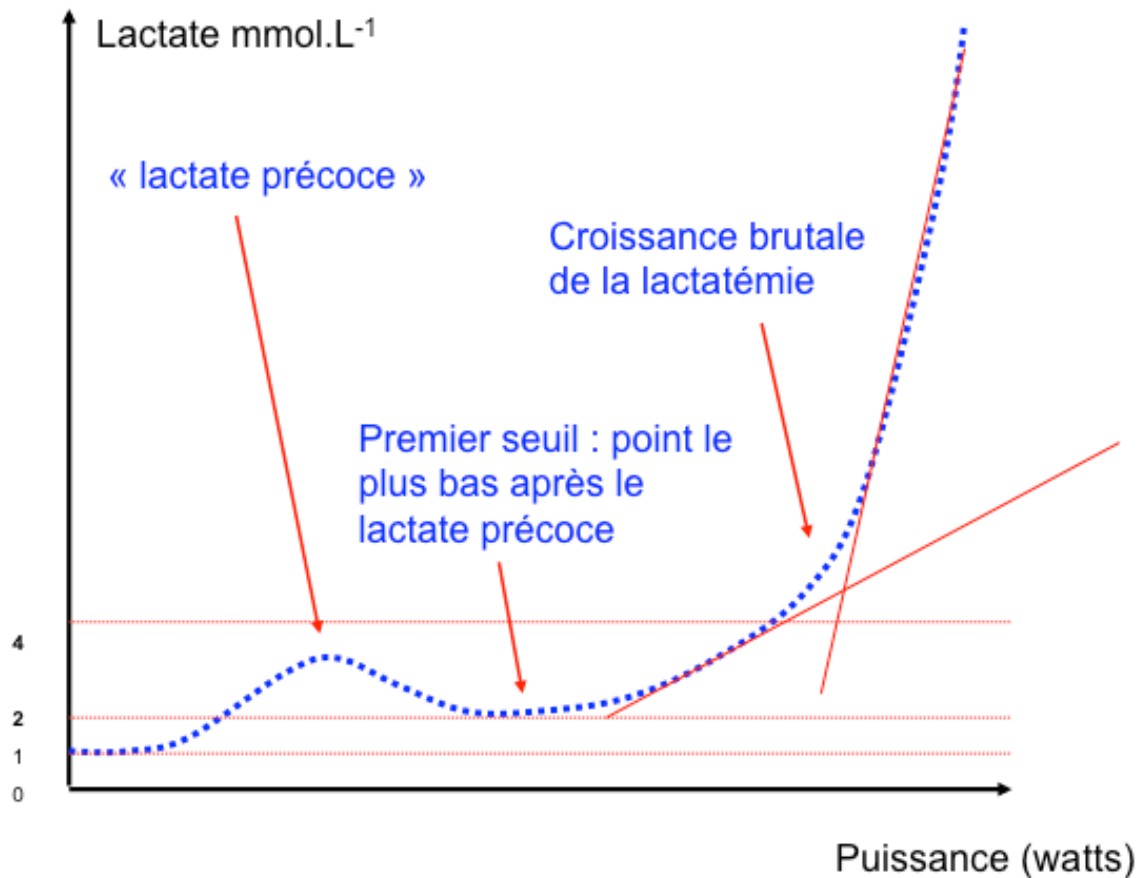
# Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

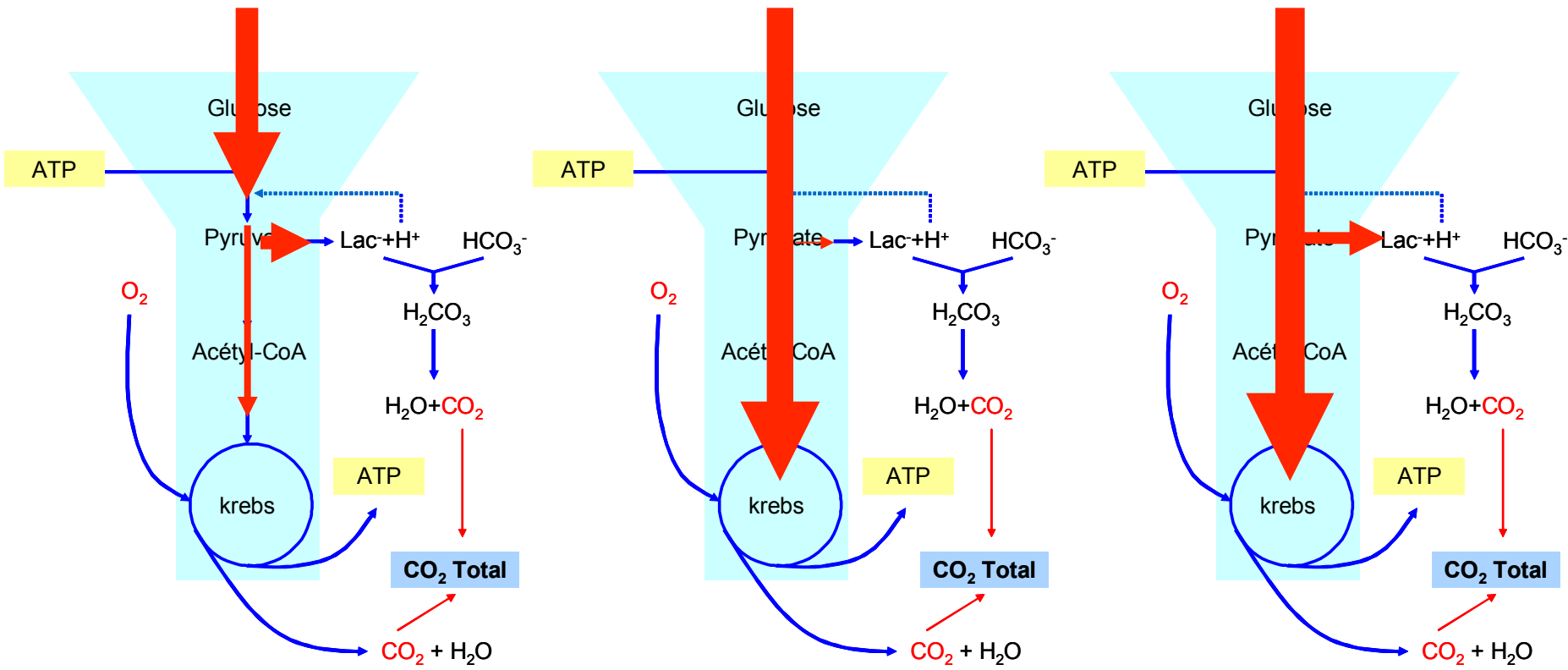
- Relation entre oxydation glucidique et cinétique des ajustements
- Intérêt de l'oxydation glucidique à haute intensité d'effort
- **Méthodes de détermination des seuils**
  - Méthodes ventilatoires
  - Méthodes lactiques
- Significations cliniques des seuils

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

## Méthode de détermination des seuils

### B) Méthode lactique



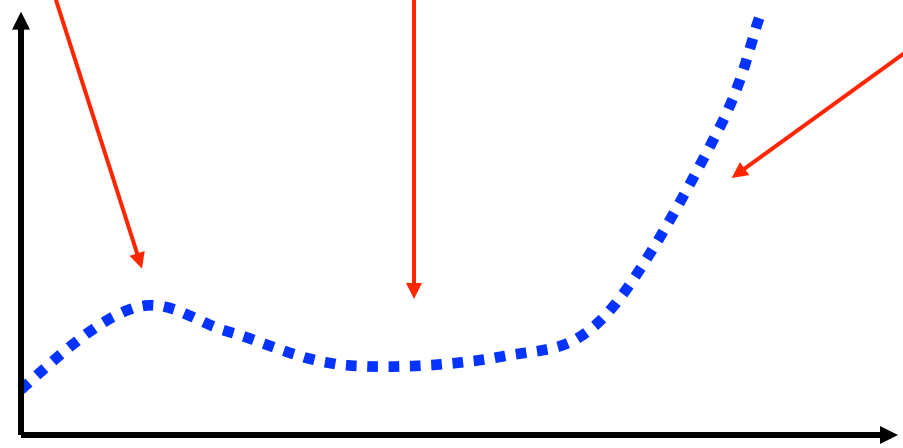


Début d'effort

Intensité intermédiaire

Forte intensité

Lactatémie



Puissance de l'exercice

# 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 physiologiste fausse, intensité au delà de laquelle le tamponnement de l'acidose n'est plus possible « zone rouge »

# 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

- $\text{VO}_2$  stable malgré l'augmentation de puissance  
(Pour + 15 W,  $\text{VO}_2 < 150 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ )
- $\text{Fc}_{\text{max}} > 90\%$   $\text{Fc}$  maximale théorique
- $[\text{Lac}]_{\text{max}} > 8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  et/ou (pH  $\downarrow$  0,04)
- $\text{QR} > 1,1$

##### Les paramètres respiratoires

- Réserve respiratoire  $\ll 30\%$
- $\text{VE}/\text{VO}_2 \gg 35$

**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

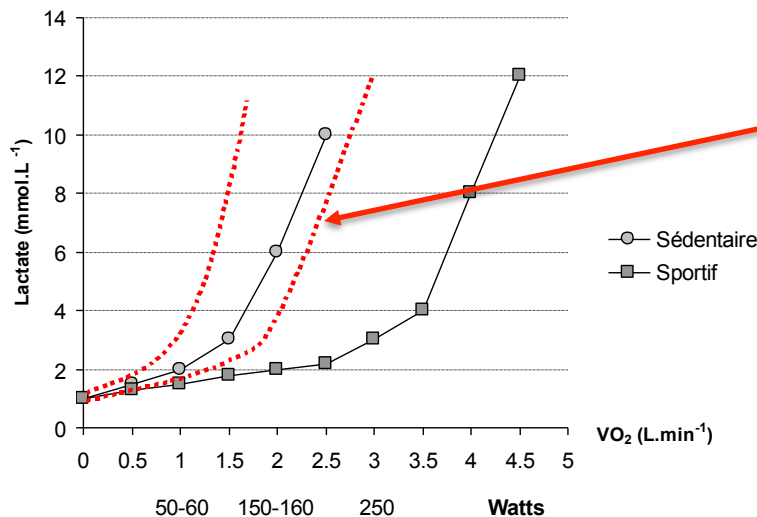
## Analyse chronologique

### 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 +  $(5,5 \times VO_2(l \cdot \text{min}^{-1}))$

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

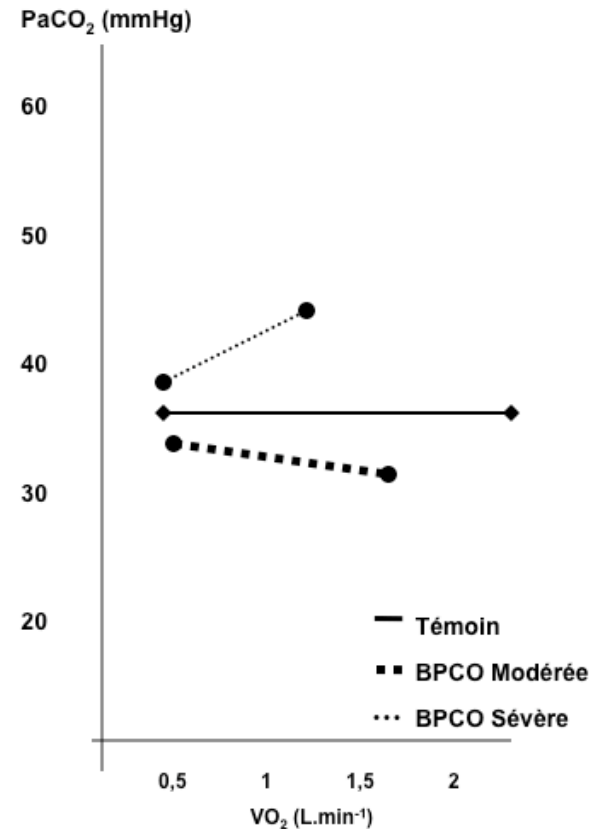
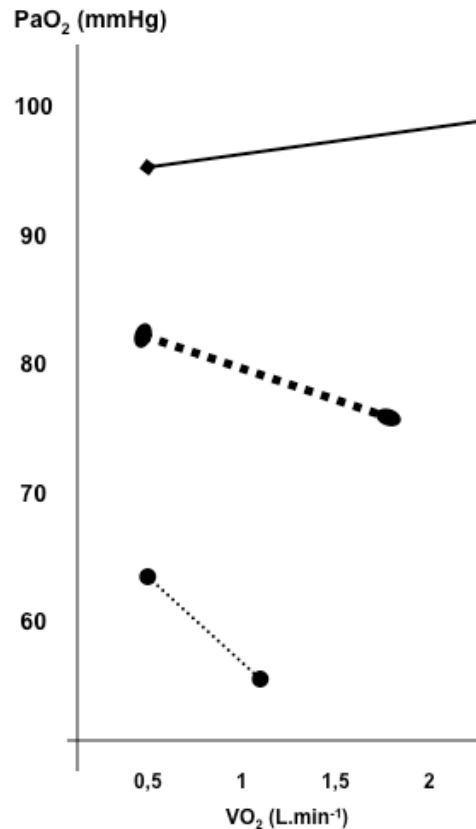
Au repos  $\approx 0,3 - 0,4$

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

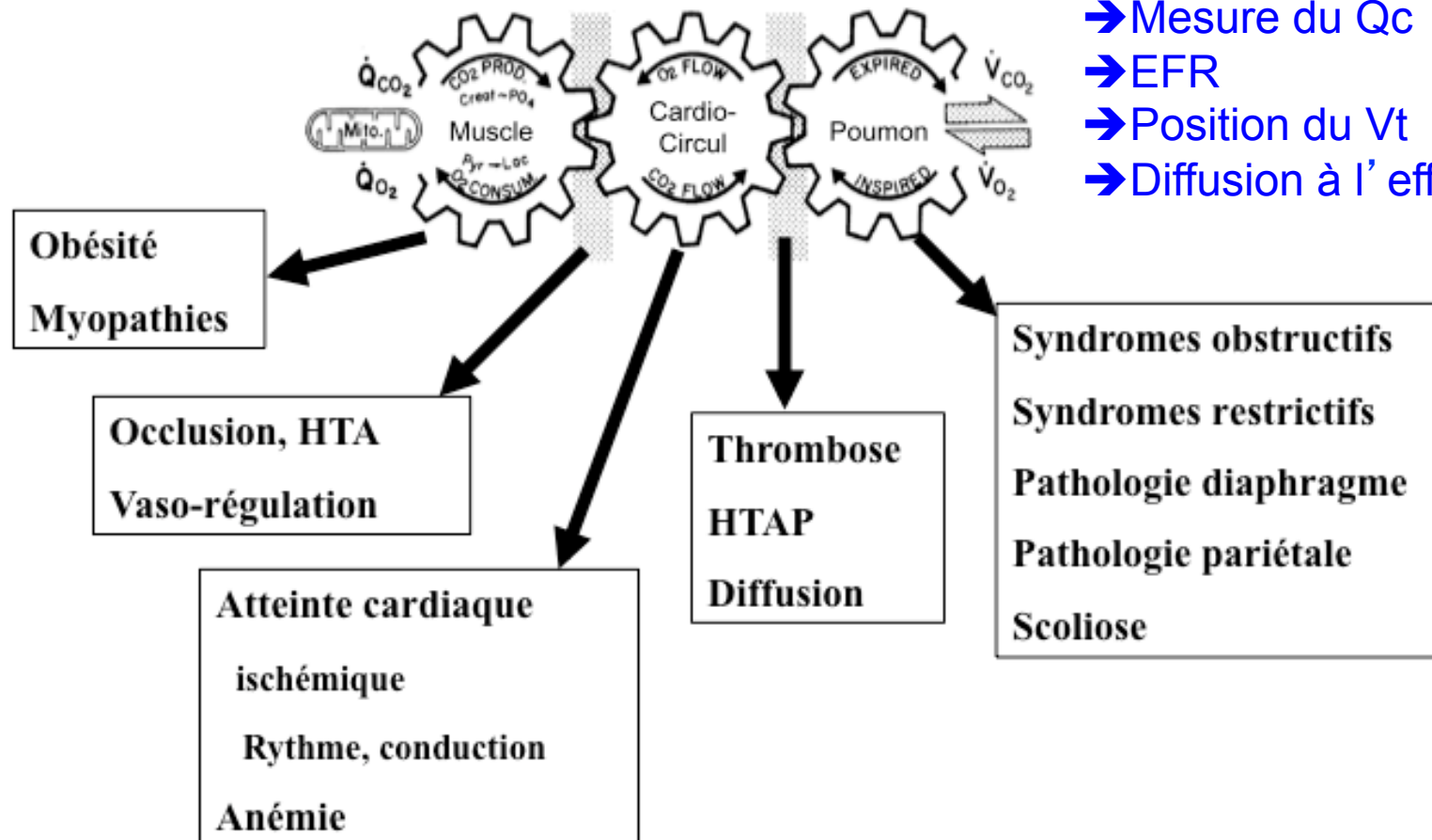
Critères de gravité

**Principales pathologies**

Cas cliniques

# Analyse intégrative des réponses à l'EFx

- Gaz du sang
- Mesure du Qc
- EFR
- Position du Vt
- Diffusion à l'effort



# 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

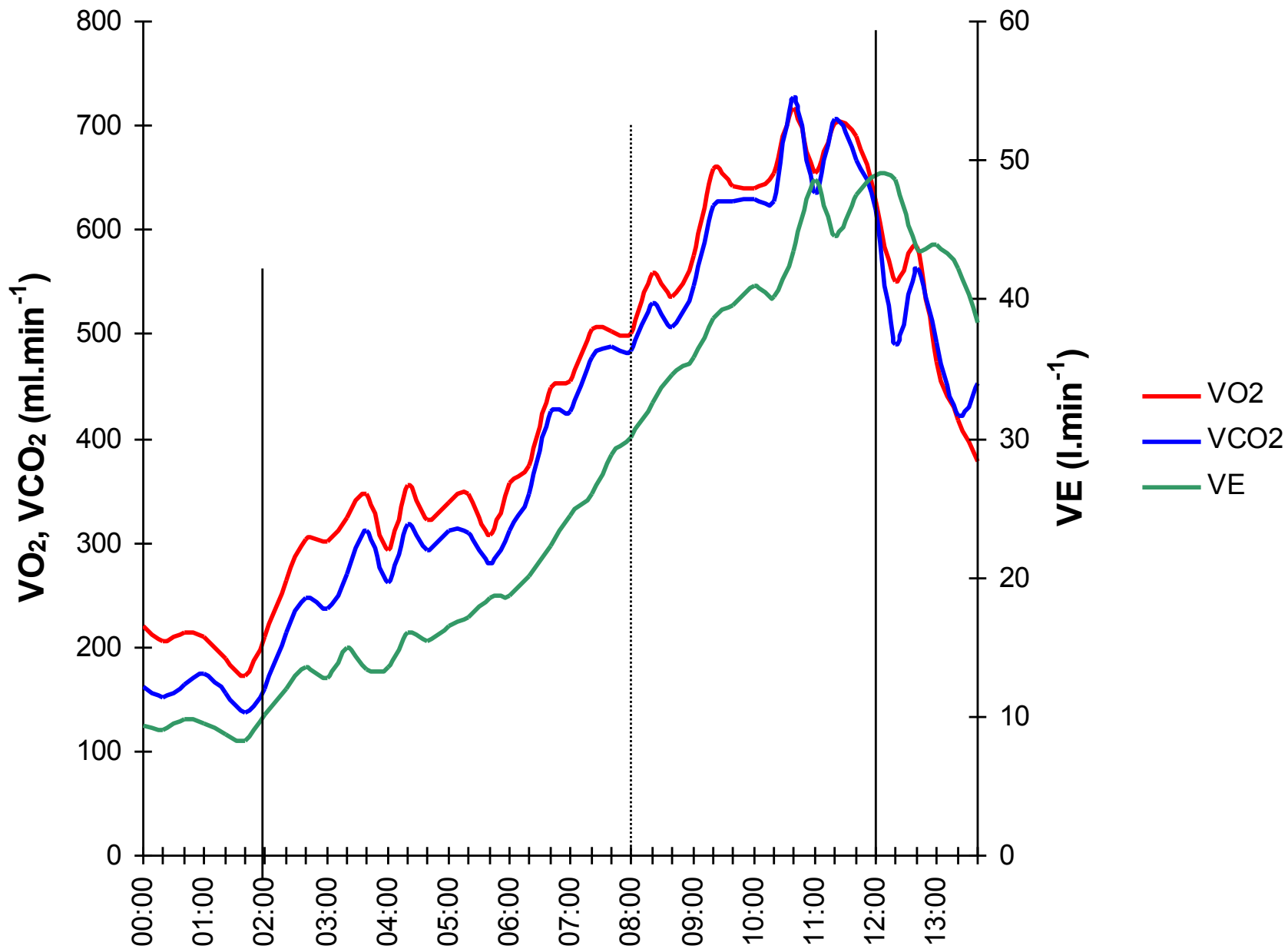
		Mesurée	Théorique
CV	ml	3180	1910
VEMS	ml	1370	2620
VEMS/CV	%	52%	
VMM	l.min <sup>-1</sup>	56	

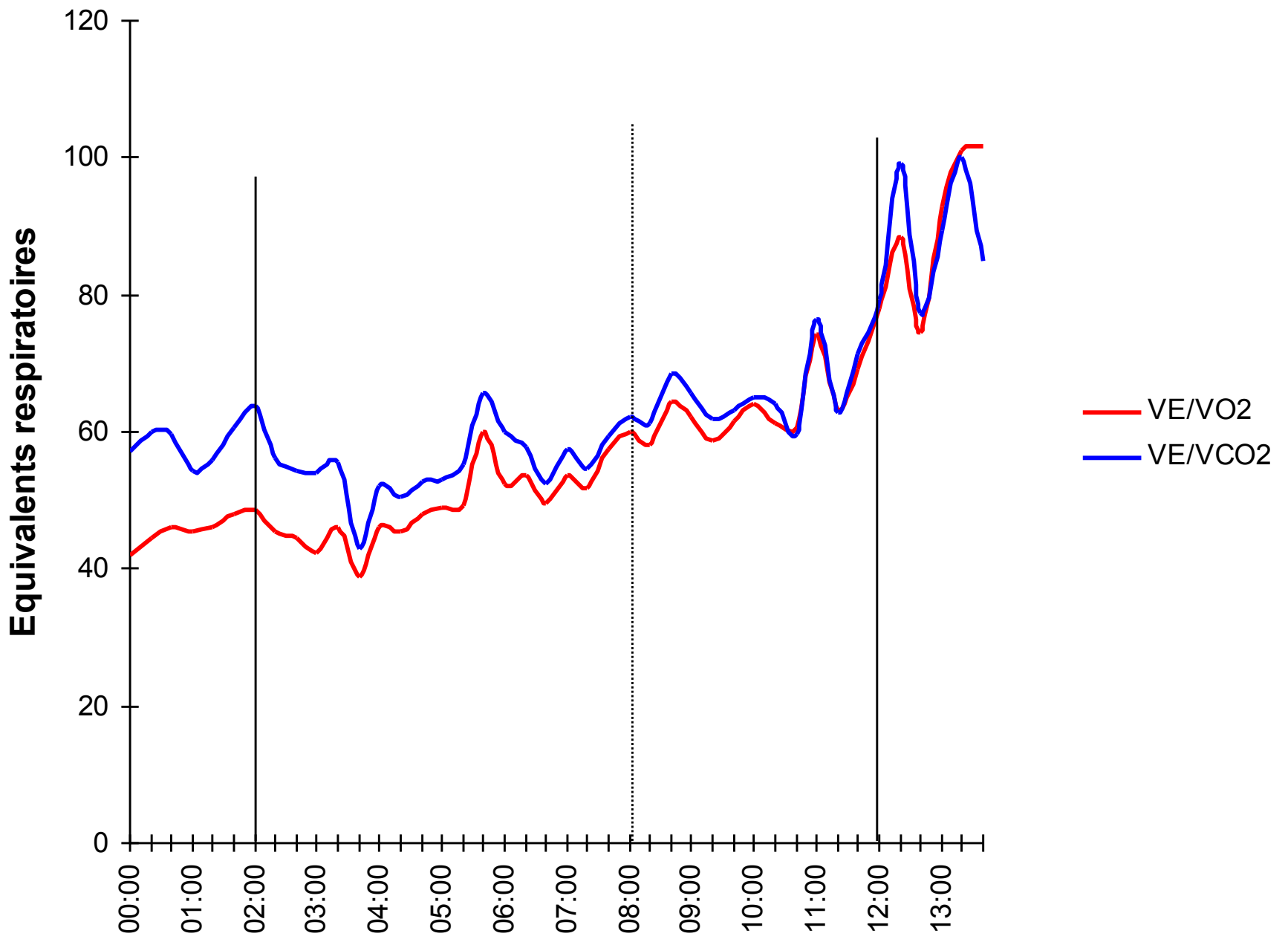
Hb	mg.dl <sup>-1</sup>	
----	---------------------	--

31/03/2005

Echauffement	15 w / 3 min
Incrément	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>	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
<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

$Vt \approx 60\% VC$

# 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>Lactatémie</i>	mmol.l <sup>-1</sup>	1,23			5,52	

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

50/61=0.8

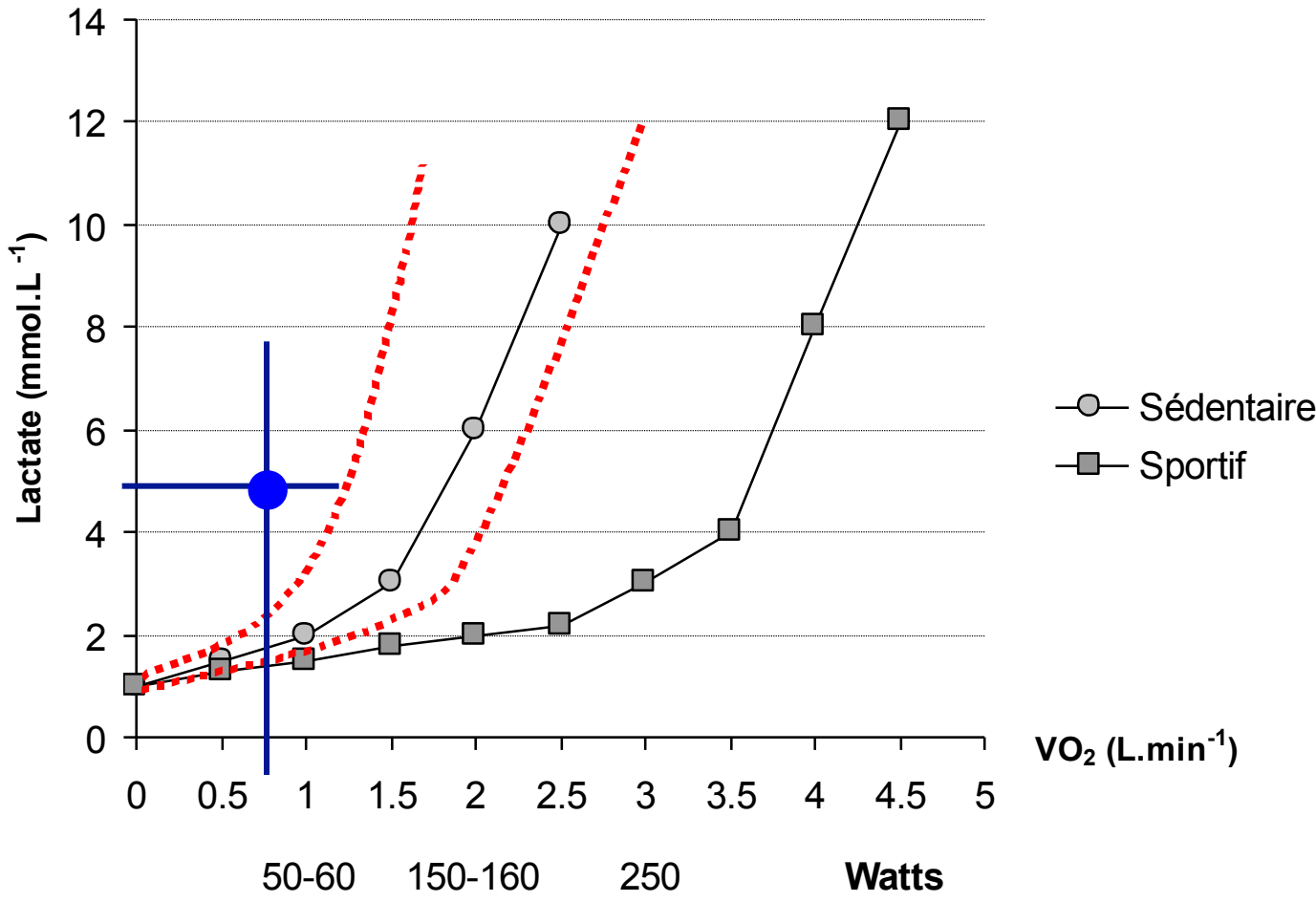
VO<sub>2</sub>(LT) < 40% of theoretical VO<sub>2</sub>max

478/1396=0.34 (34%)

Abnormal [Lac] / power relationship

YES

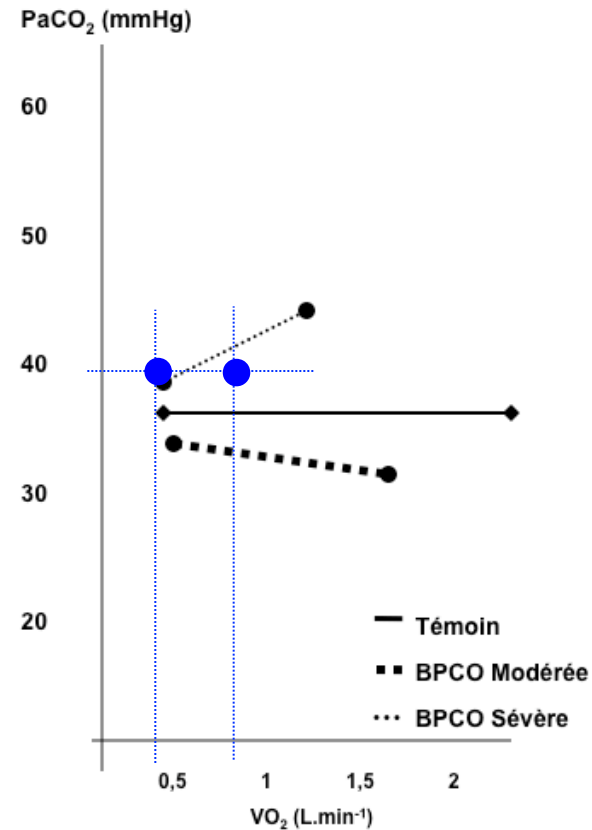
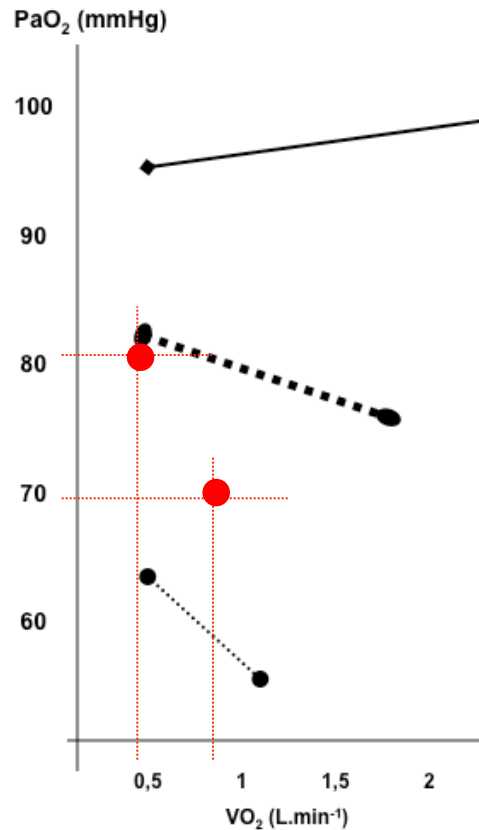
# Muscle adaptation to exercise



# Gaz exchanges

## Gaz du sang

$SaO_2$ Transcutanée	%	98			91	
$PaO_2$	mmHg	81,6			69,1	
$PaCO_2$	mmHg	39			39,5	
$SaO_2$ mesurée	%	95,1			90,4	
pH		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	

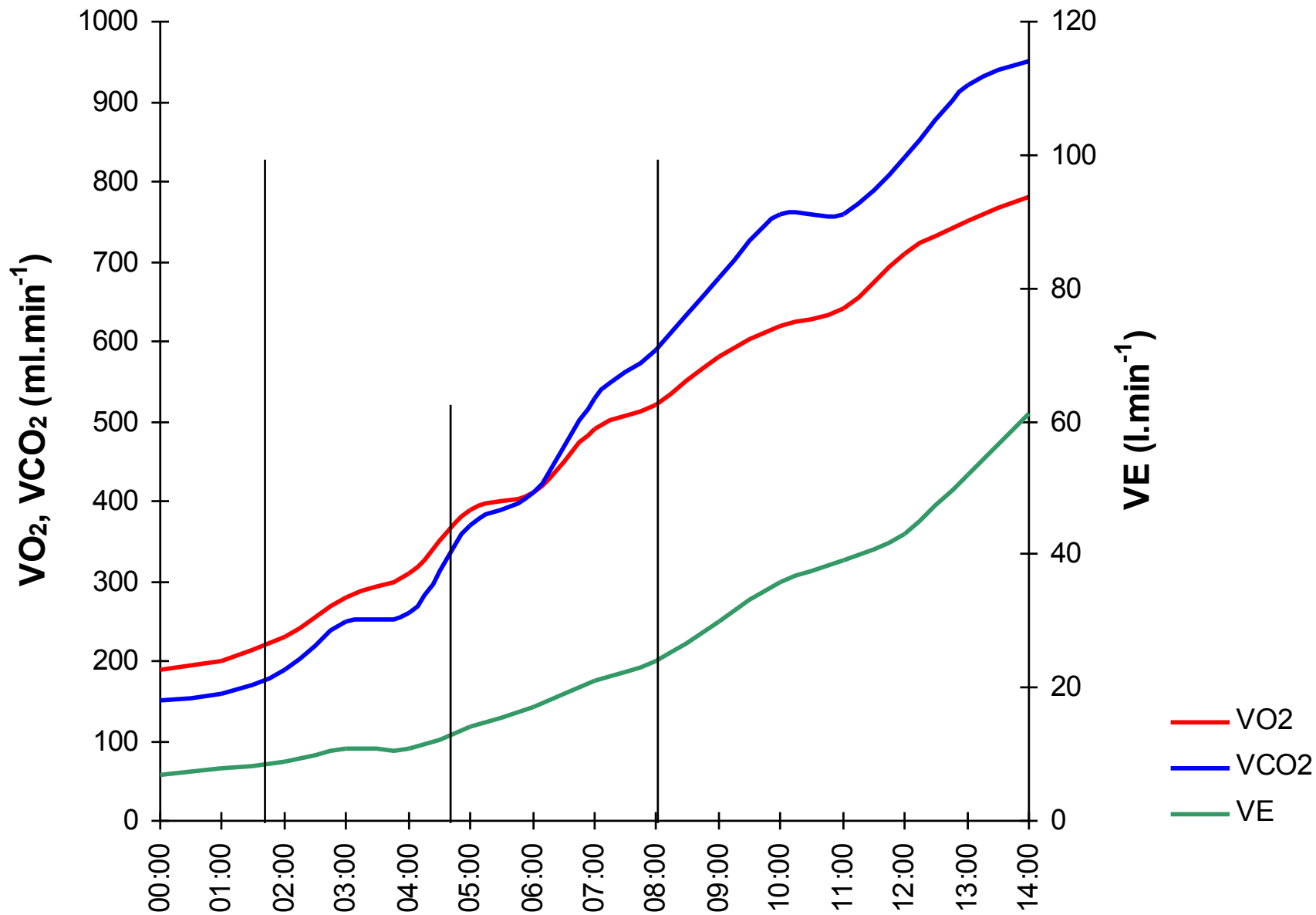
		<b>Mesurée</b>	<b>Théorique</b>
CV	ml	4210	3780
VE <sub>M</sub>	ml	3040	3240
VE <sub>M</sub> /CV	%	72	83
V <sub>M</sub>	l.min <sup>-1</sup>	114	

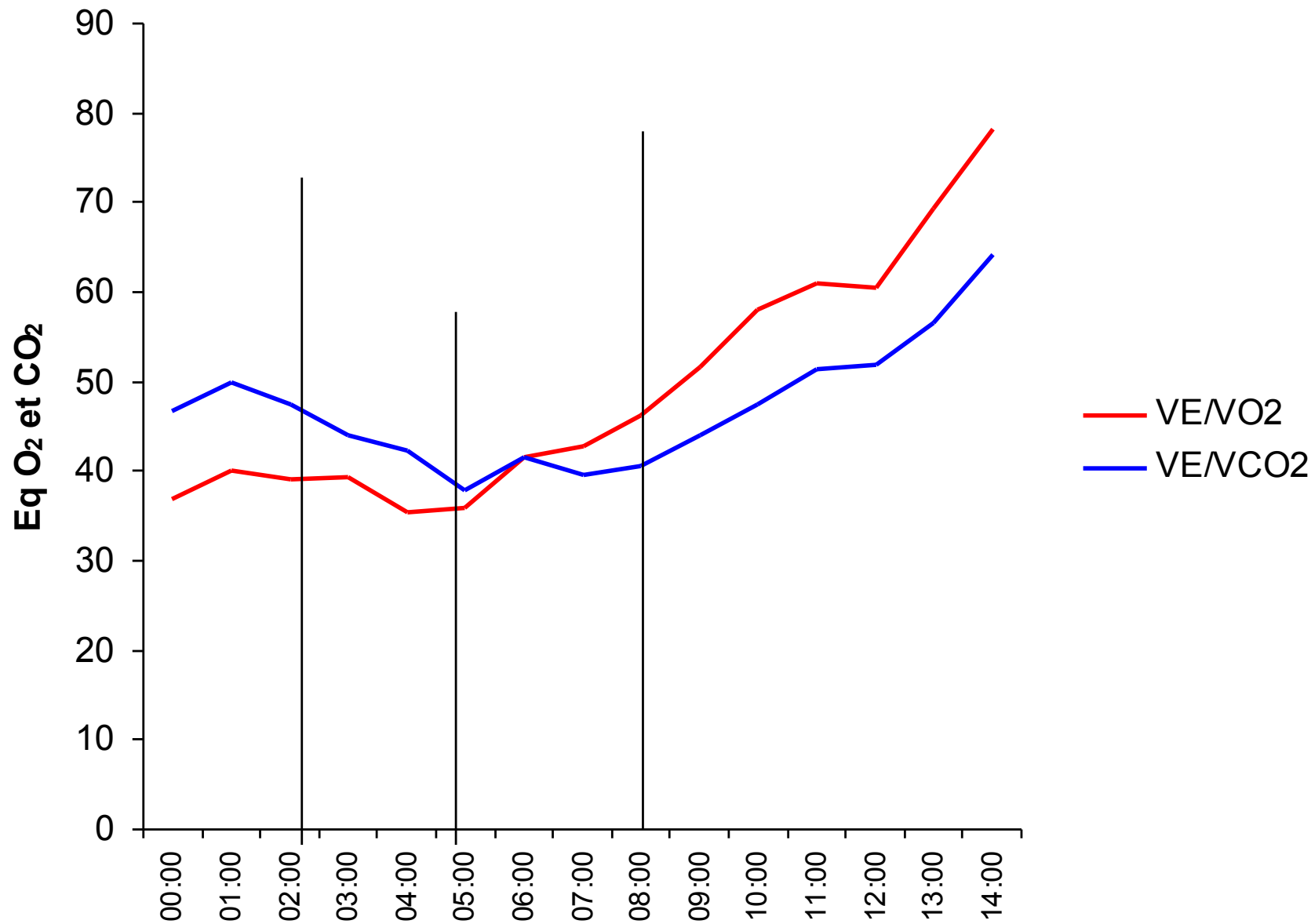
<b>Hb</b>	mg.dl <sup>-1</sup>	
-----------	---------------------	--

21/03/2005

<b>Echauffement</b>	10 W / 2 min
<b>Incément</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>						
Puissance	Watt	0	30		70	141
Puissance	Watt.kg <sup>-1</sup>	0,0	0,5		1,2	2,43
VO <sub>2</sub>	ml.min <sup>-1</sup>	190	490		810	1750
VO <sub>2</sub>	ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup>	3,28	8,45		13,97	30,17
VCO <sub>2</sub>	ml.min <sup>-1</sup>		480		980	
QR			0,98		1.21	> 1,1
Lactémie	mmol.l <sup>-1</sup>	2,69	4,9		11,7	
<b>Réponse Ventilatoire</b>						
VE	l.min <sup>-1</sup>	8	18		60	106
V <sub>t</sub>	ml	730	1380		2280	
FR	Cycle.min <sup>-1</sup>	11	14		18	
VE/VO <sub>2</sub>			36		74	
VE/VCO <sub>2</sub>			37		61	
V <sub>d</sub> /V <sub>t</sub>						
Réserve ventilatoire	V <sub>M</sub>	7%			46%	> 30
Réserve ventilatoire	35xVE <sub>M</sub>					> 30
<b>Réponse Hémodynamique</b>						
FC	batt.min <sup>-1</sup>	82	151		190	188
VES	ml					
Qc	Fick/Imp/N <sub>2</sub> O					
D(a-v)O <sub>2</sub>	ml.100ml <sup>-1</sup>					
VO <sub>2</sub> /FC	ml.batt <sup>-1</sup>	2	3		4	9,31
Pression systolique	mmHg	120	140		190	< 240
Pression diastolique	mmHg	80	90		110	< 120
<b>Rendement</b>						
VO <sub>2</sub> /Puissance	ml.W <sup>-1</sup>		10,00		8,86	10,3
<b>Pente</b>						
<b>Gaz du sang</b>						
SaO <sub>2</sub> Transcutanée	%					
PaO <sub>2</sub>	mmHg	94			98	
PaCO <sub>2</sub>	mmHg	39			31	
SaO <sub>2</sub> mesurée	%					
pH						





# 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>	$\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$	8	18		60	106
<i>Vt</i>	ml	730	1380		2280	
<i>FR</i>	$\text{Cycle}\cdot\text{min}^{-1}$	11	14		18	
<i>VE/VO<sub>2</sub></i>			36		74	
<i>VE/VCO<sub>2</sub></i>			37		61	
<i>Réserve ventilatoire</i>	VMM	70%			16%	> 30

$$VE/VO_2 = 27 \pm 4 \quad 36$$

$$VE/VCO_2 = 29 \pm 5 \quad 37$$

$$VE = 21.8 \times VO_2 (\text{l}\cdot\text{min}^{-1}) + 5 = 22 \quad 60$$

$$\text{Ventilatory reserve} > 15\% \quad 46\%$$

$$\text{Ventilatory reserve} > 11 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1} \quad 54$$

$$fR < 45 / \text{min} \quad 18$$

$$Vt \approx 60\% \text{ VC}$$

# 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>	mmHa	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

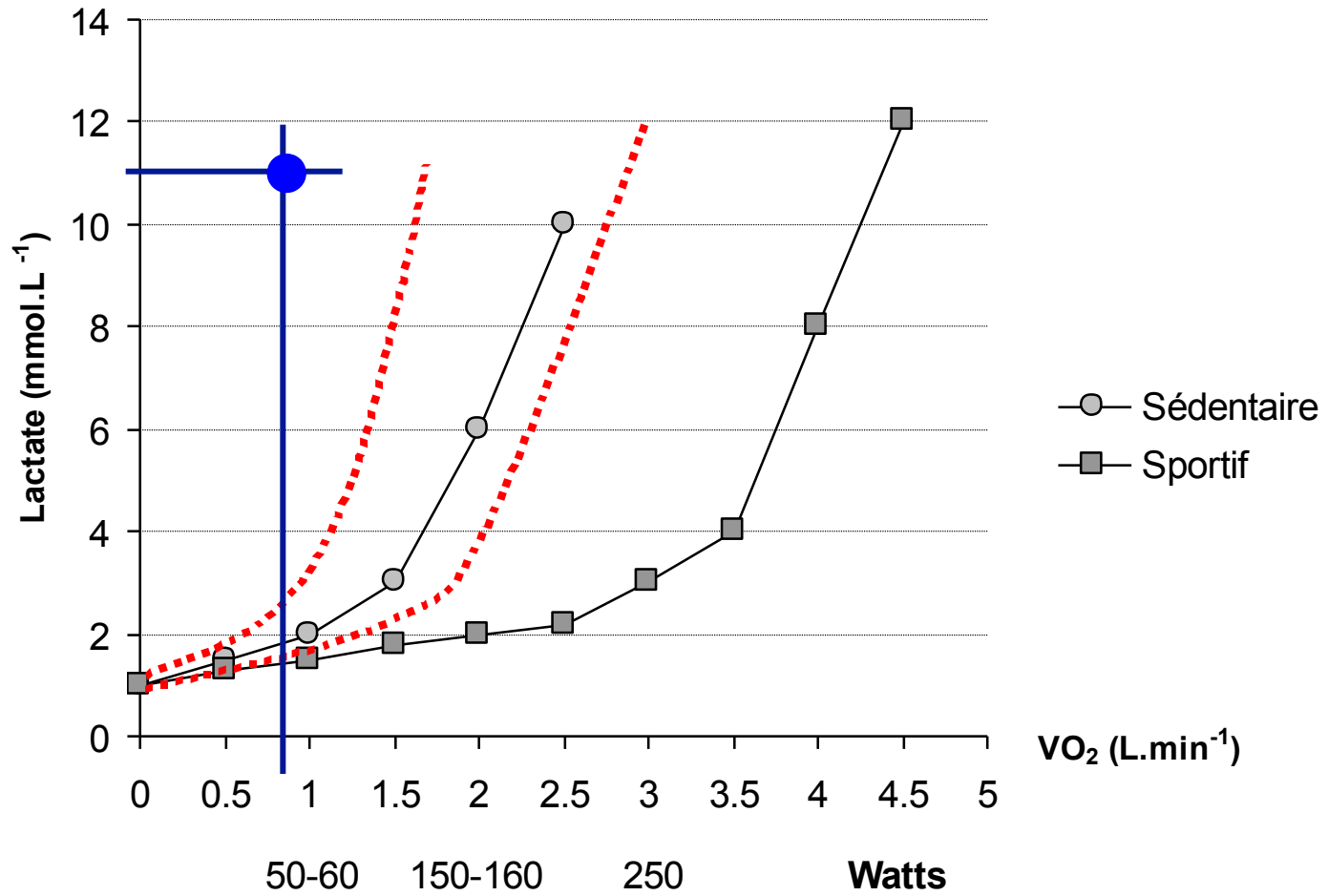
VO<sub>2</sub>(LT) < 40% of theoretical VO<sub>2</sub>max

490/1750=0.28 (28%)

Abnormal [Lac] / power relationship

YES

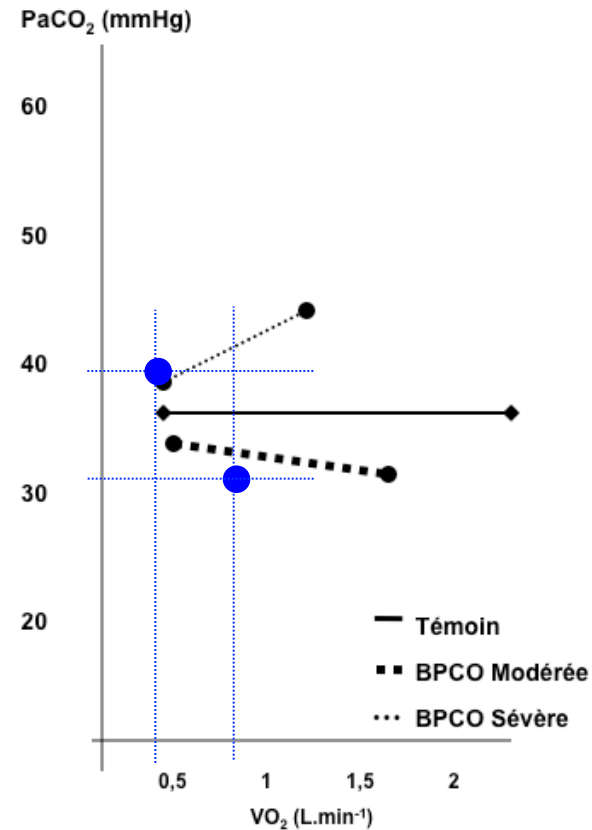
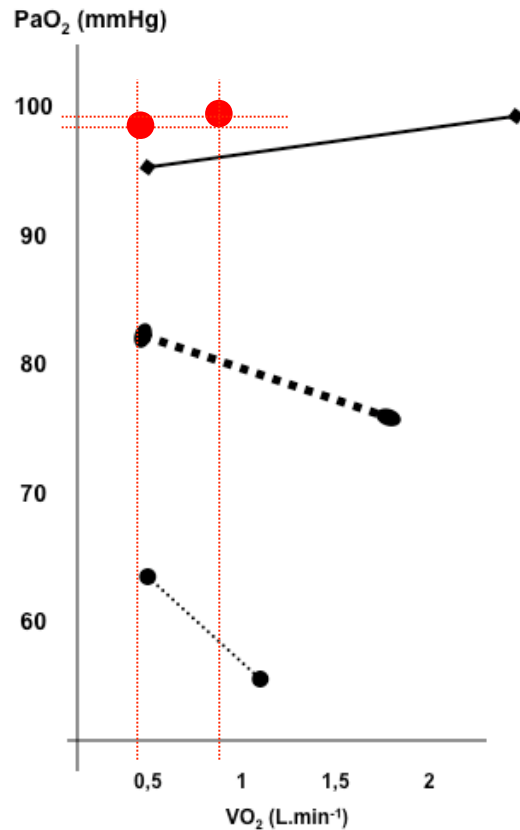
# Muscle adaptation to exercise



# 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>	
18/06/1949	
Masculin	
55 ans	
167 cm	
97 kg	
34,8 IMC	

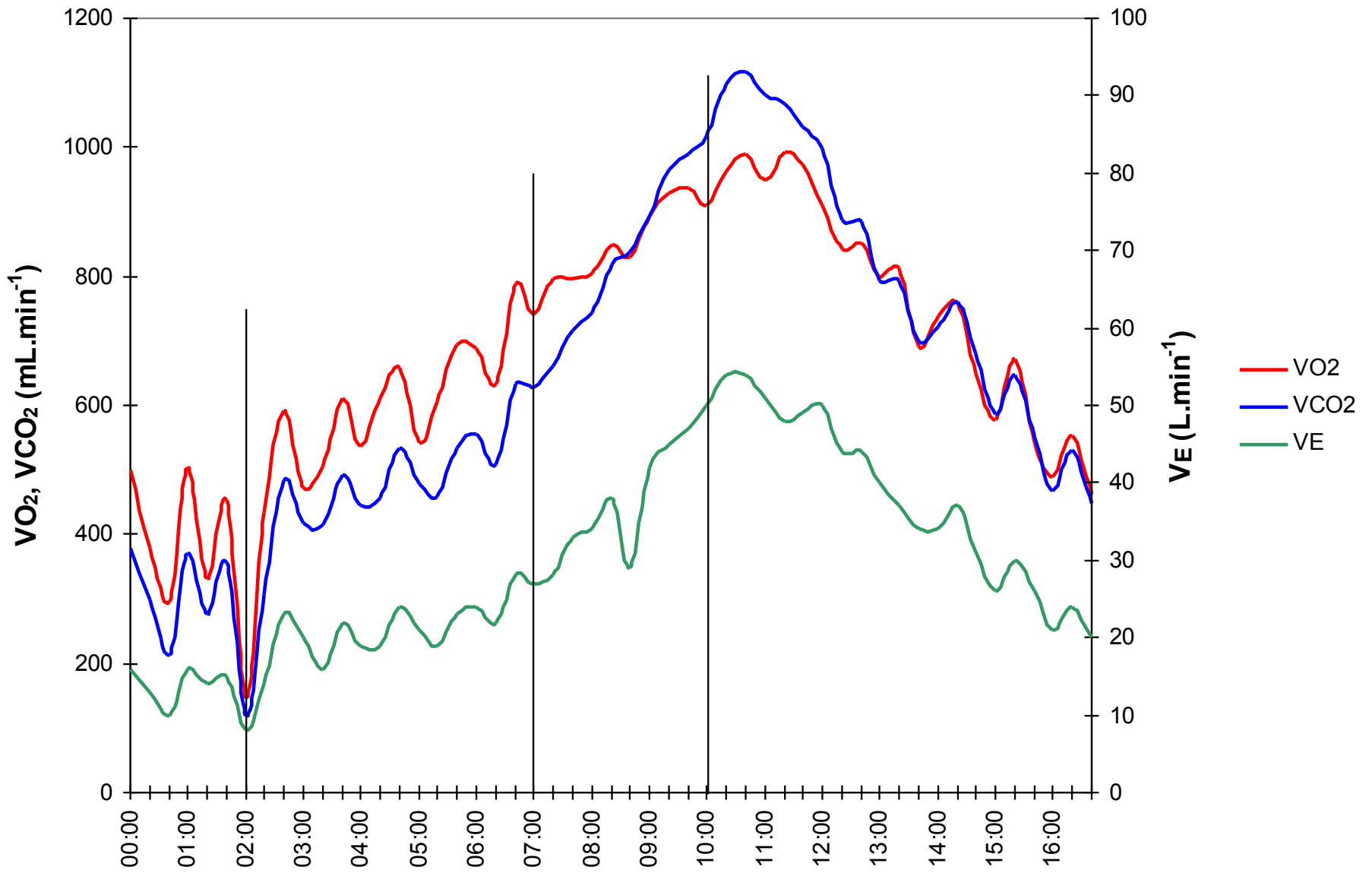
		Mesurée	Théorique
CV	ml	1440	3850
VEMS	ml	1360	3100
VEMS/ CV	%	77	87
VMM	l.min <sup>-1</sup>	116	

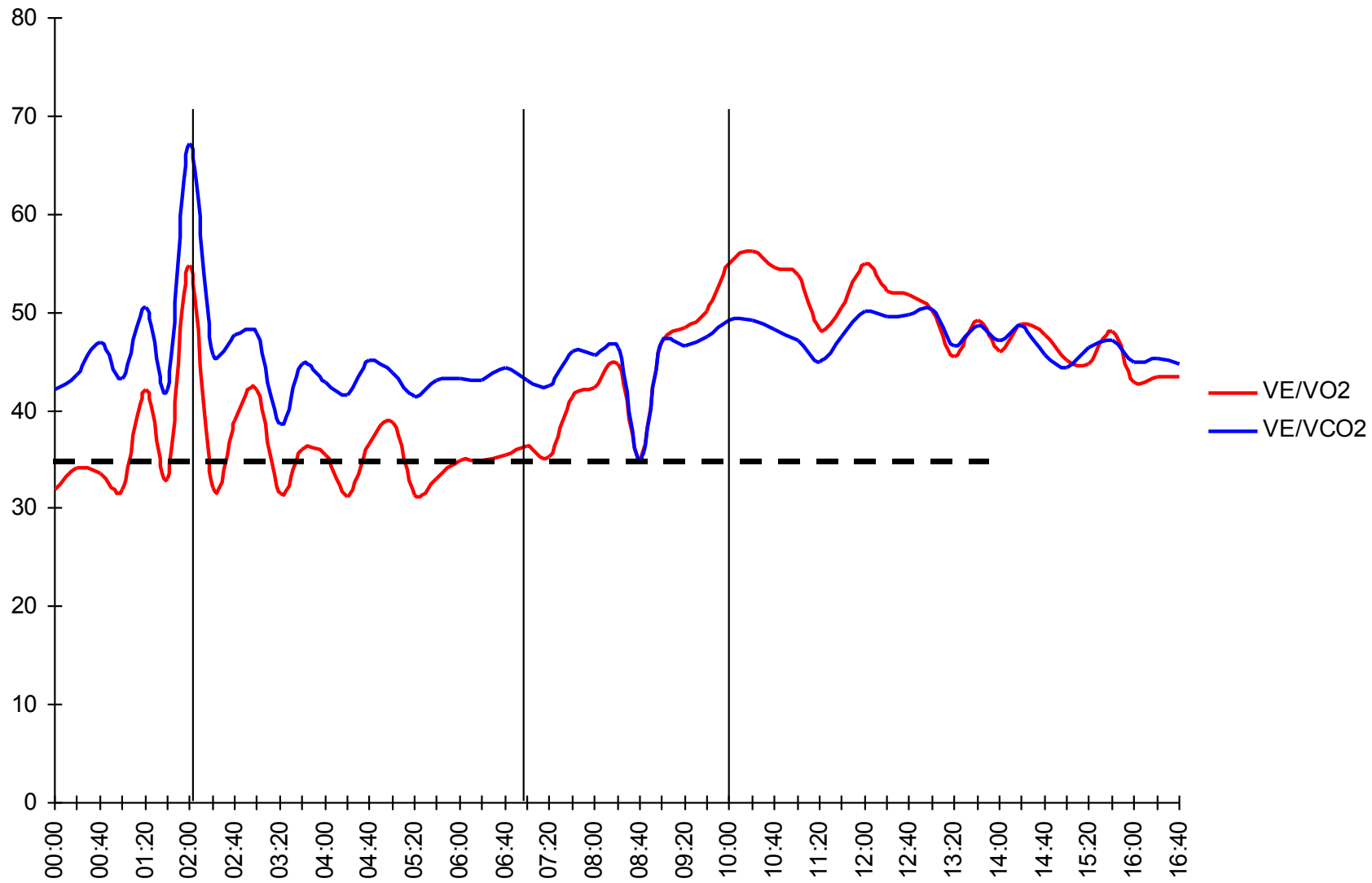
Hb	mg.dl <sup>-1</sup>	
----	---------------------	--

21/03/2005

Echauffement	10 W / 3 min
Incrément	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

- $VO_2$  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**
- $VE/VO_2 > 35$   **$VE/VO_2 = 33 - 51$**

# Functional capacity level

## 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

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

## Réponse Ventilatoire

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

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

**33 - 51**

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

**41 - 47**

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

**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>

$$60/97=0.61$$

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

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

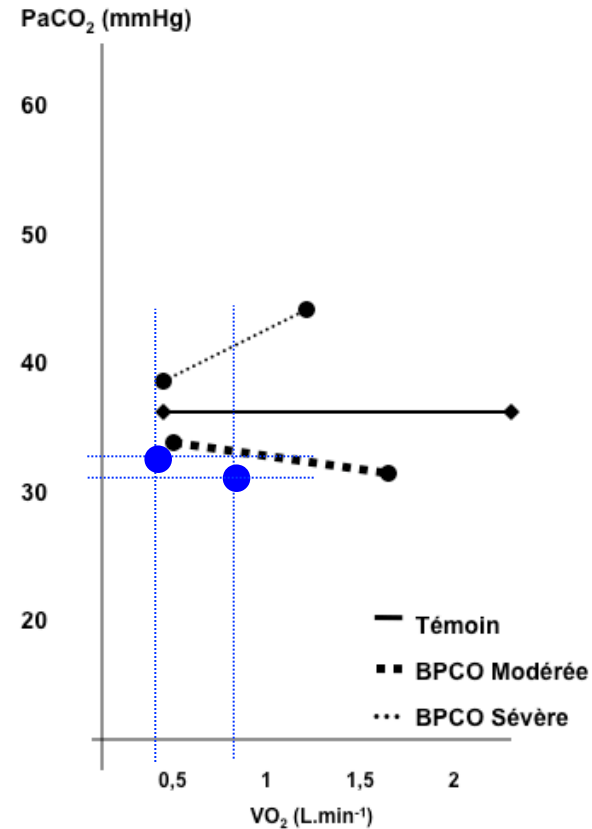
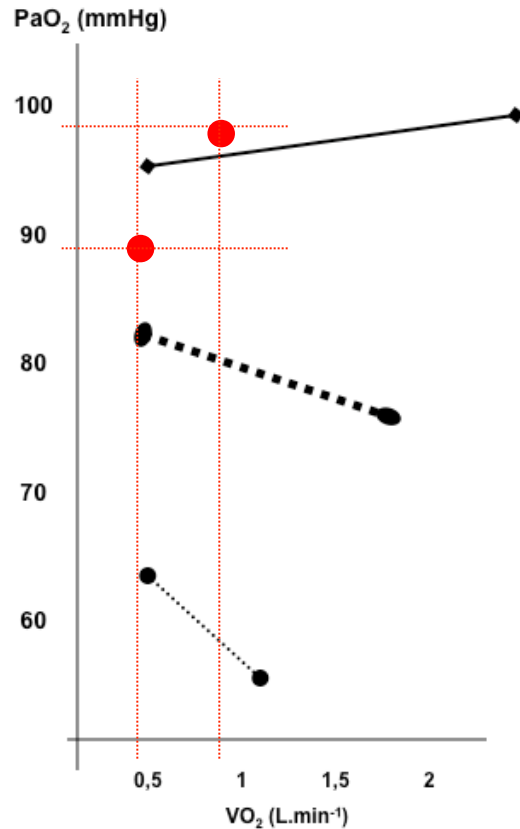
Abnormal [Lac] / power relationship

?

# 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

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