

Efx de la Mesure à L'Interprétation

Ruddy RICHARD ^{1, 2}

ruddy.richard@udamail.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 ²

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

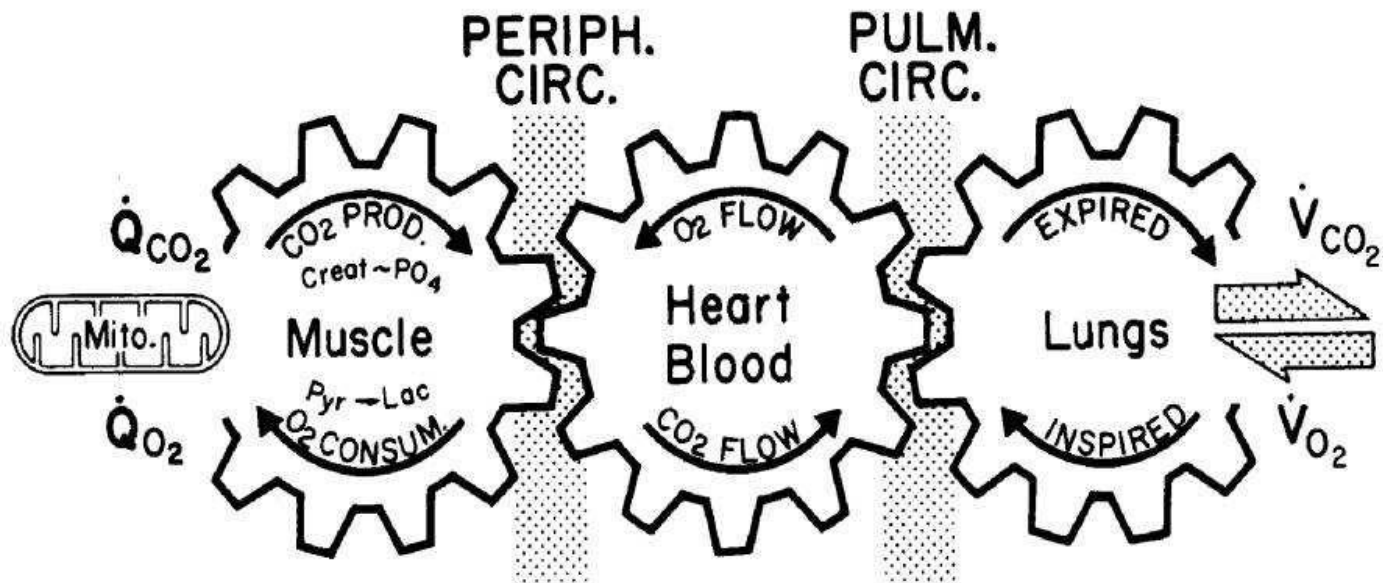
Ruddy RICHARD

Frédéric COSTES

Où cela se passe-t-il ?



Interaction cardiorespiratoire

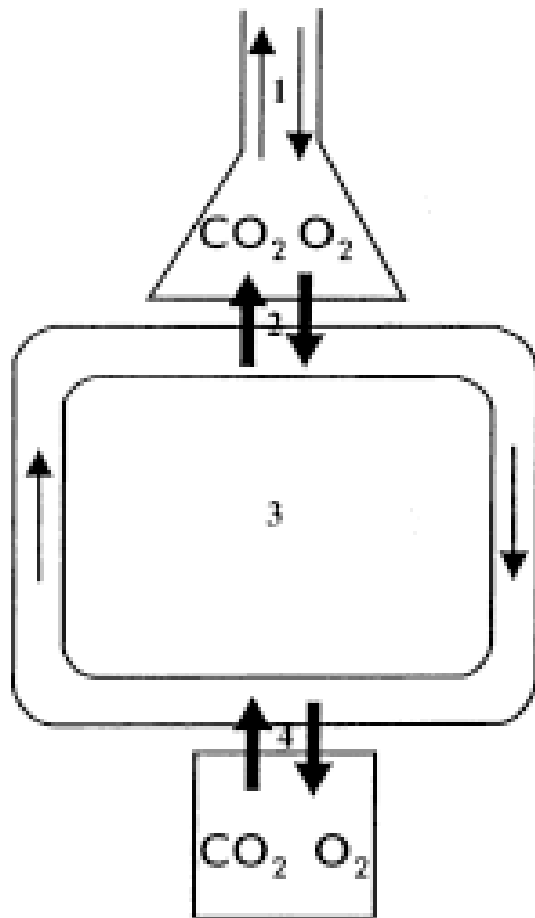


$$\dot{V}O_2 = \dot{Q} \times (CaO_2 - C\bar{v}O_2)$$

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

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

Où cela se passe-t-il ?



1 : Convection Ventilatoire

$$\dot{V}O_2 = \dot{V}_I \times F_I O_2 - \dot{V}_E \times F_E O_2$$

2 : Diffusion alvéolo-capillaire

$$\dot{V}O_2 = D_{L}O_2 \times (P_A O_2 - P_c O_2)$$

3 : Convection circulatoire

$$\dot{V}O_2 = Q_c \times (C_a O_2 - C_v O_2)$$

4 : Diffusion capillaro-tissulaire

$$\dot{V}O_2 = D_T O_2 \times (P_c O_2 - P_T O_2)$$

Respiration cellulaire

$$\dot{M}O_2$$

Qu'est-ce que l'EFX?

- Exercice progressivement croissant et maximal sur tapis ou vélo
- Enregistrement
 - VE, VO₂ VCO₂ (embout buccal ou masque facial)
 - ECG continu, PA
 - SpO₂ +/- 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'O₂ nécessaire
 - Bilan pré opératoire (chir. générale, carcinologique, ou réduction de volume)
 - **prescription du réentraînement** et suivi
- Suivi des performances (sportifs, ...)

PLAN

1^{ère} Partie : Le fonctionnement des ergospiromètres

Principes de fonctionnement des appareils

Principaux paramètres mesurés

2^{ème} Partie : Méthodologie de l'épreuve (Efx)

Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice

3^{ème} Partie : Analyse physiologique des réponses

Remarques préliminaires (Glucides, Energie Aérobie, PaCO₂)

Physiologie des ajustements

4^{ème} Partie : L'interprétation

Analyse en 7 points

Cas cliniques

PLAN

1^{ère} Partie : Le fonctionnement des ergospiromètres

Principes de fonctionnement des appareils

Principaux paramètres mesurés

2^{ème} Partie : Méthodologie de l'épreuve (Efx)

Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice

3^{ème} Partie : Analyse physiologique des réponses

Remarques préliminaires (Glucides, Energie Aérobie, PaCO₂)

Physiologie des ajustements

4^{ème} Partie : L'interprétation

Analyse en 7 points

Cas cliniques

Le fonctionnement des ergospiromètres

Double mesure simultanée

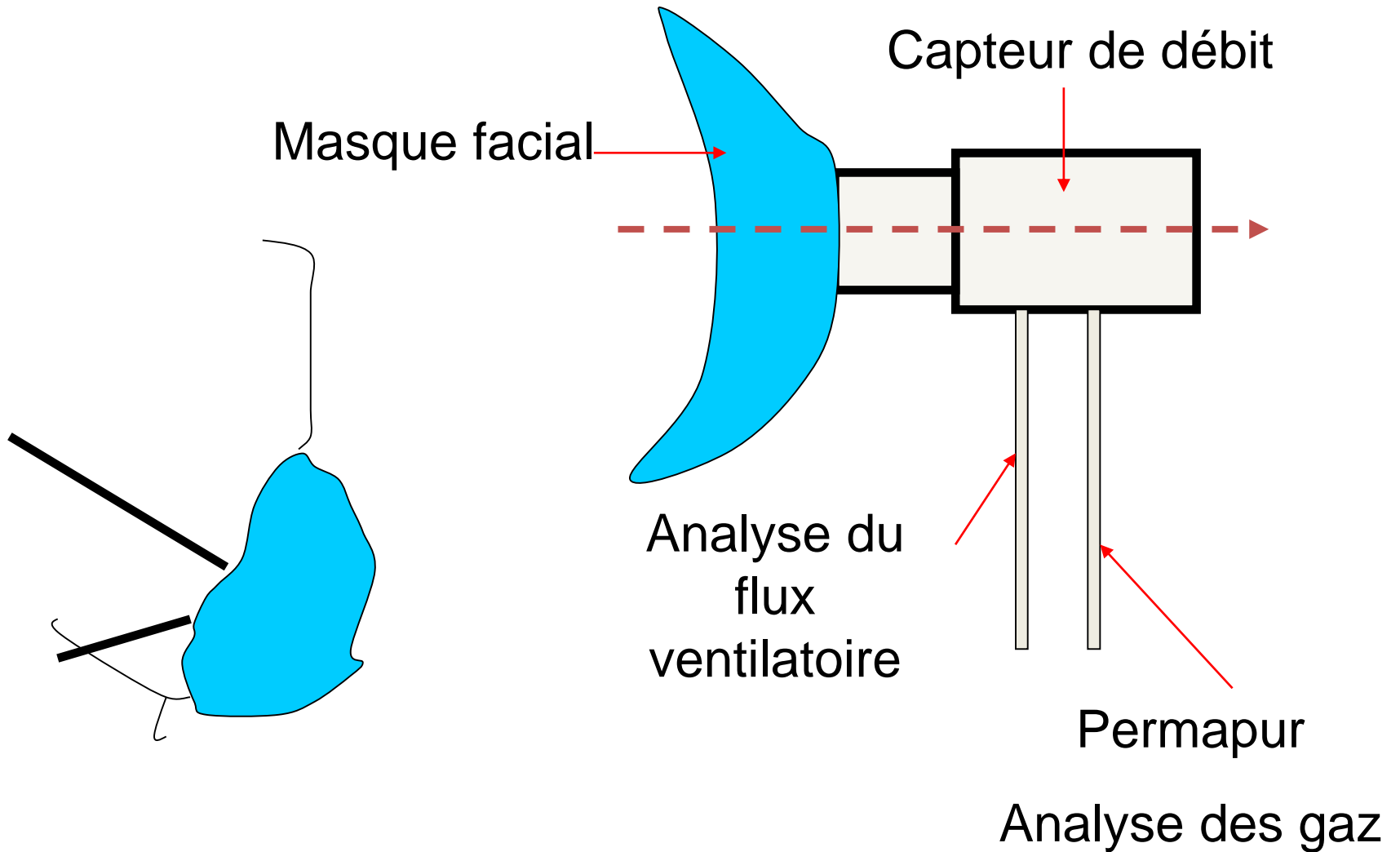
Mesure des débits ventilatoires

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

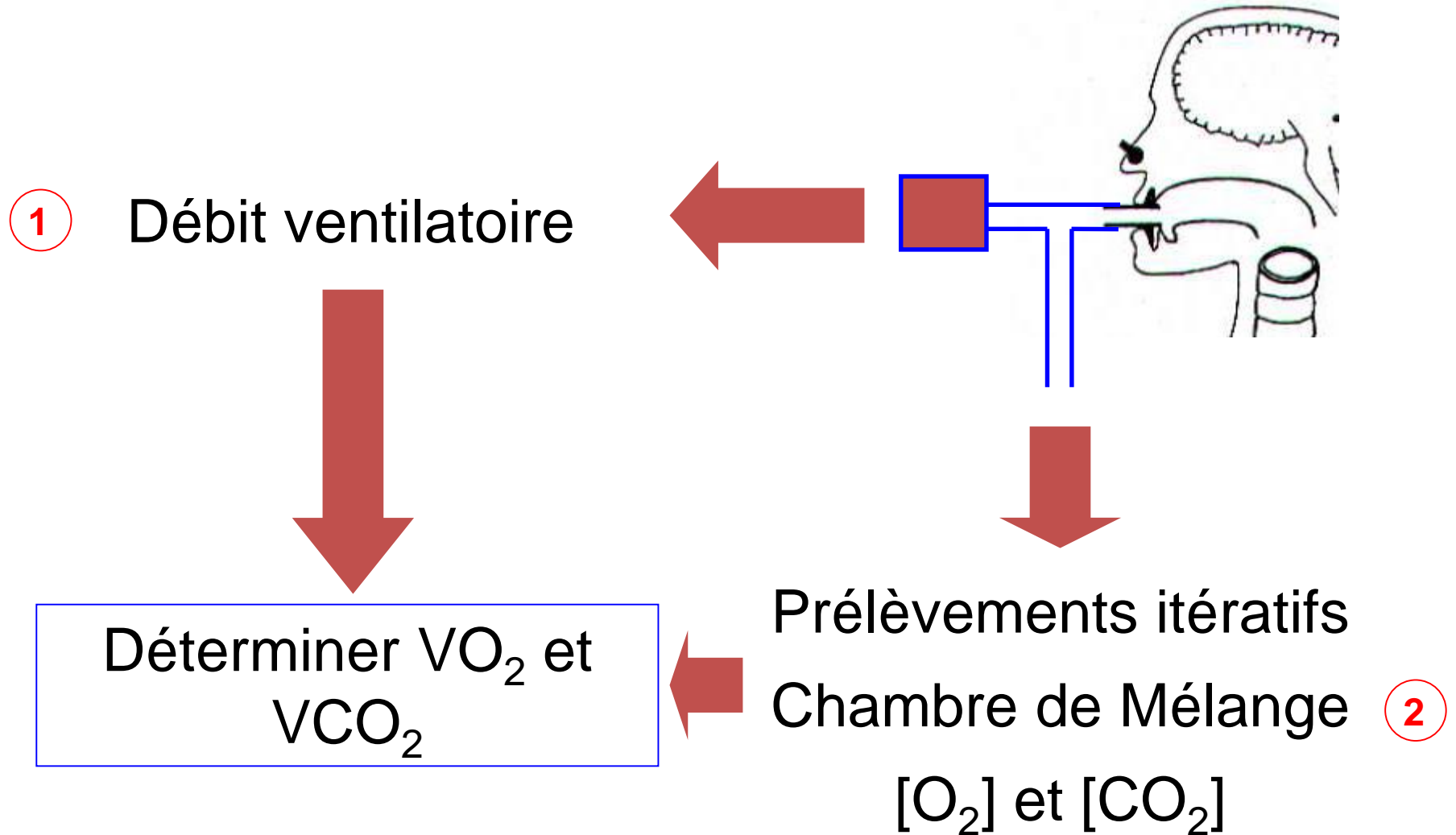
Mesure de la concentration des gaz (expirés et parfois inspirés)

- 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

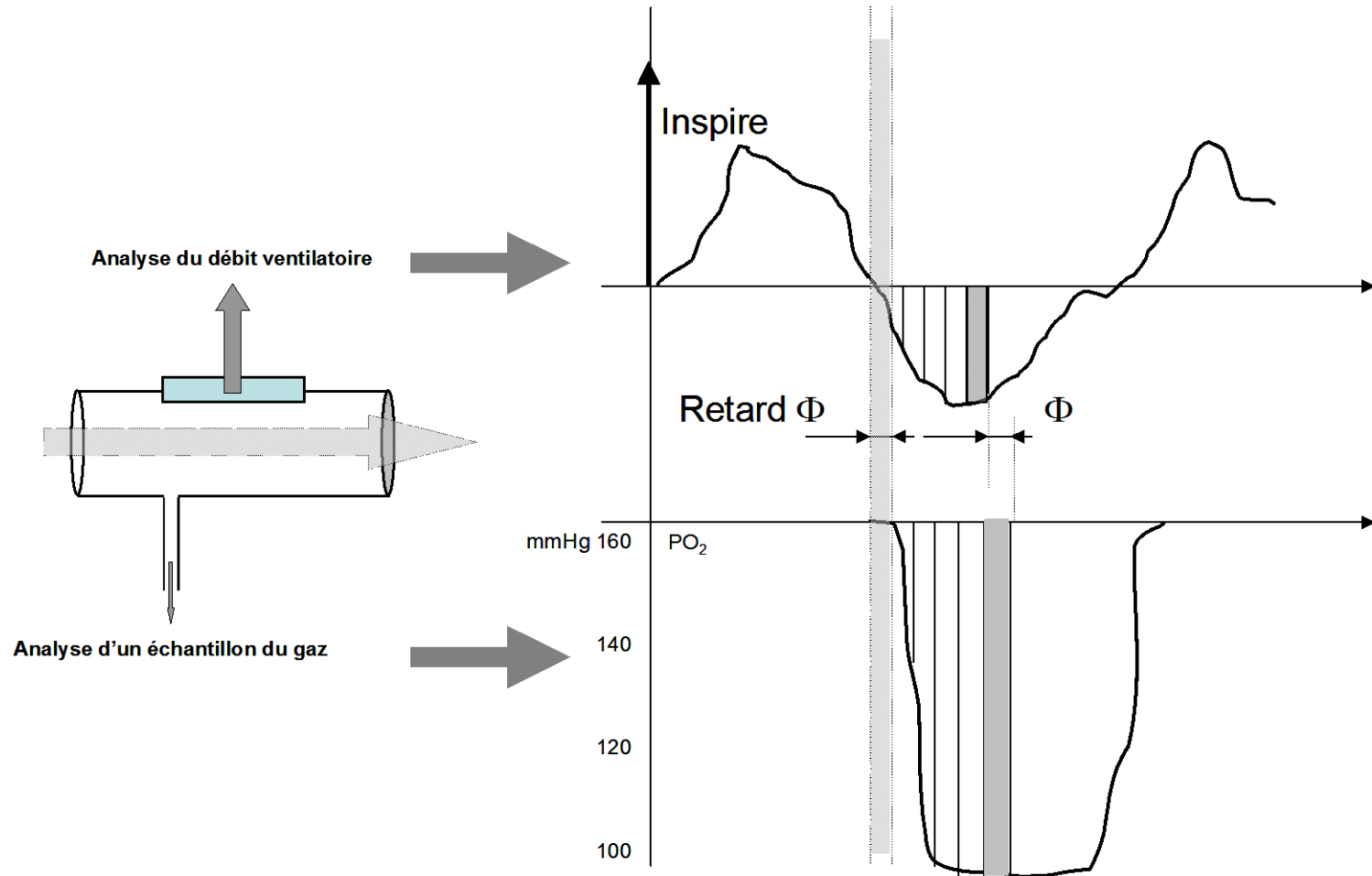
① La mesure des débits : Pneumotachographe

- 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

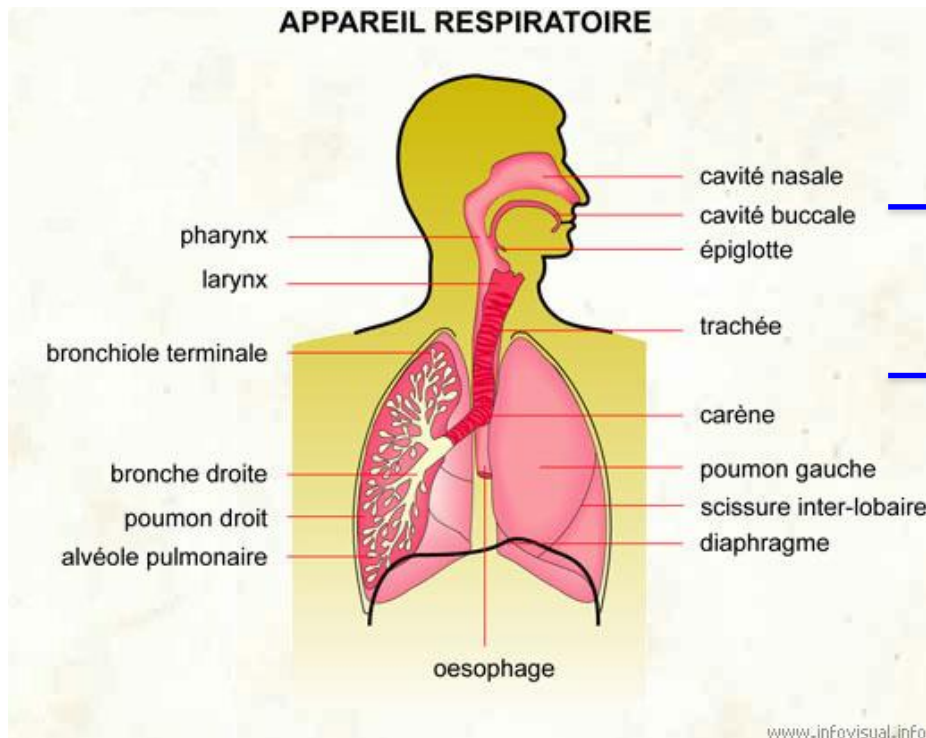
- Analyse en continue (mesure cycle-à-cycle)
- Analyse discontinue (à partir d'une chambre de mélange)

Le fonctionnement des ergospiromètres

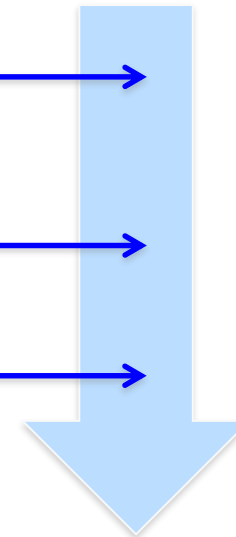


Le fonctionnement des ergospiromètres

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

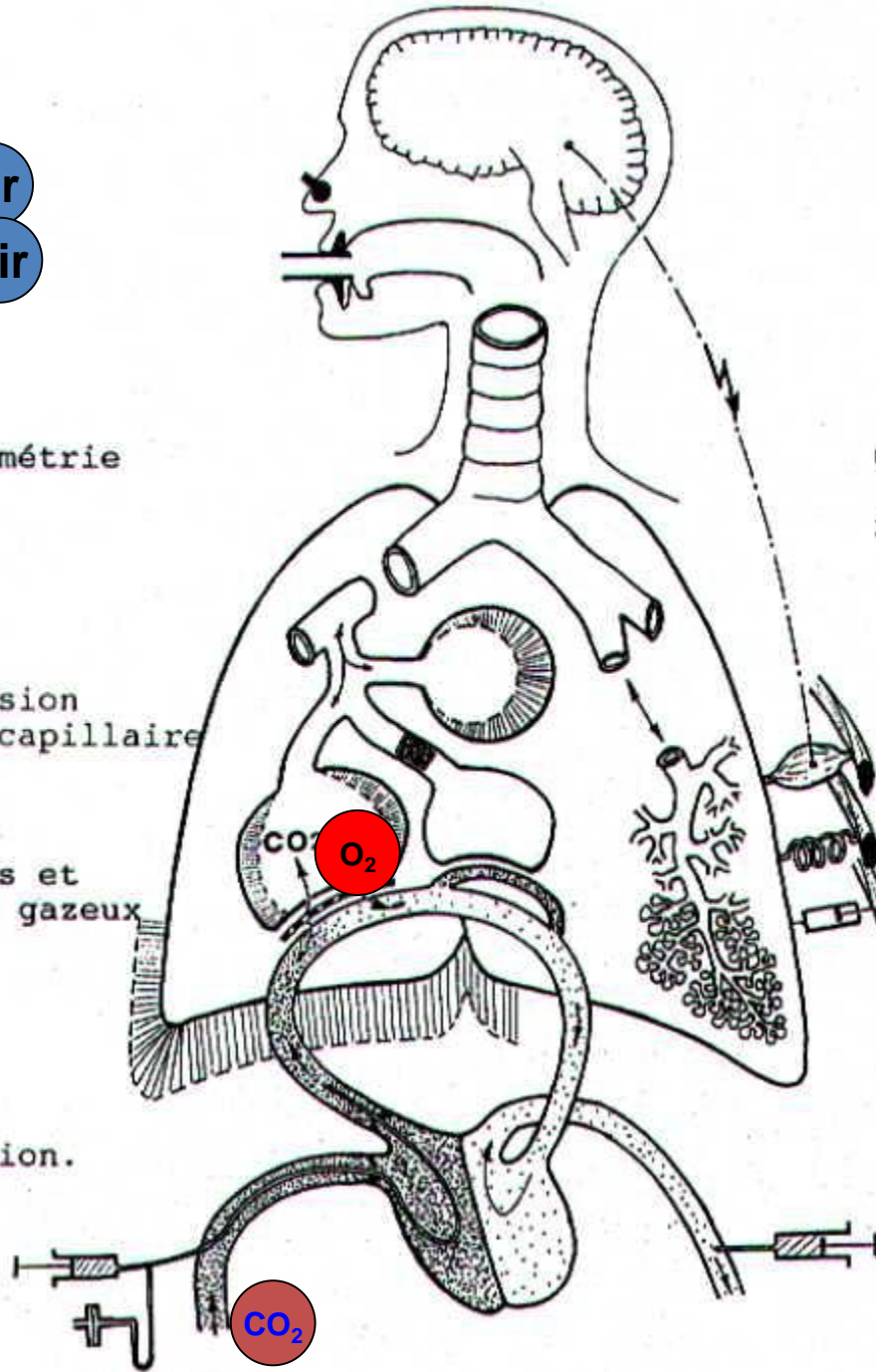
Contrôle
de la
respiration.

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)

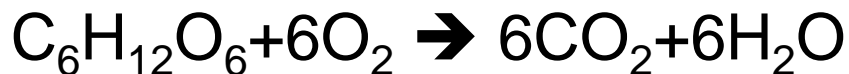
Exprimé en mL/min

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

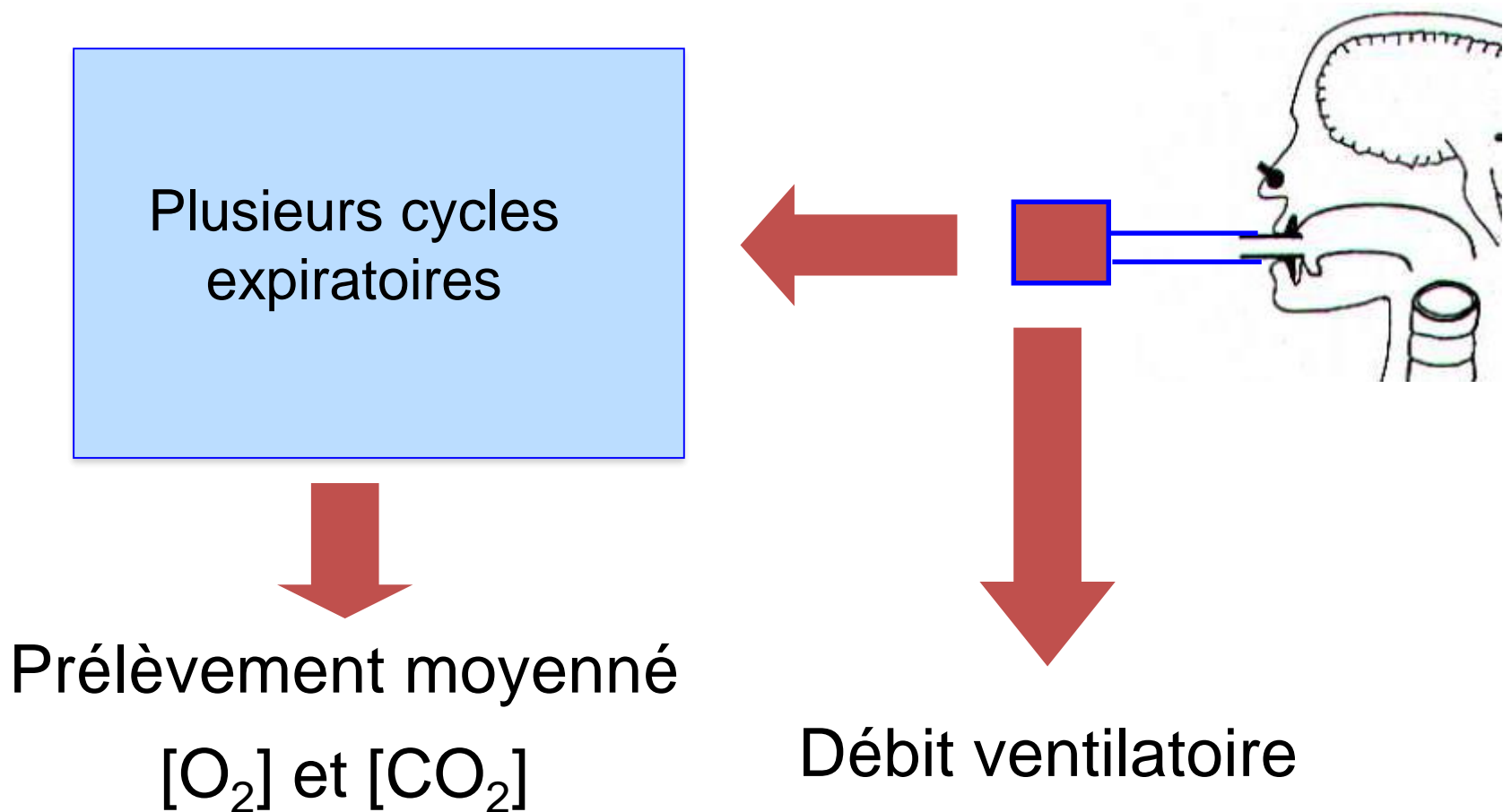
- Mesure d' un débit au travers d'un pneumotachographe
- Mesure d' une fréquence ventilatoire

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
Réglages	« Sensibles »	Simple
Risque d'erreur	Important	Négligeable
Données mesurées	VE, VO ₂ , VCO ₂ , PETO ₂ , PETCO ₂ , Calcul des gradients, Calcul de l'espace mort, Détermination précise du/des seuils	VE, VO ₂ , VCO ₂

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 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

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 ?

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

Les contrôles lors de l'épreuve d'effort

Le QR

Glucides



Lipides



Si mon alimentation est mixte et équilibrée

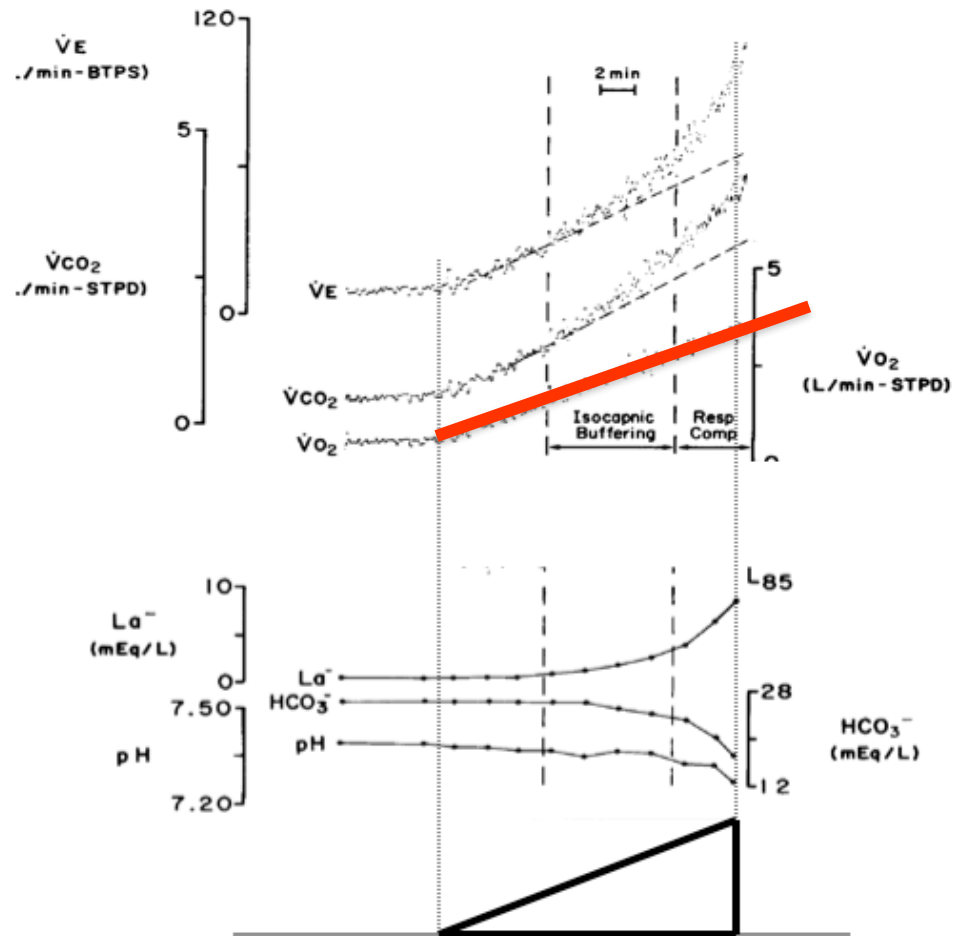
50% Glucide + 50% Lipides

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

Les contrôles lors de l'épreuve d'effort

Pendant le test

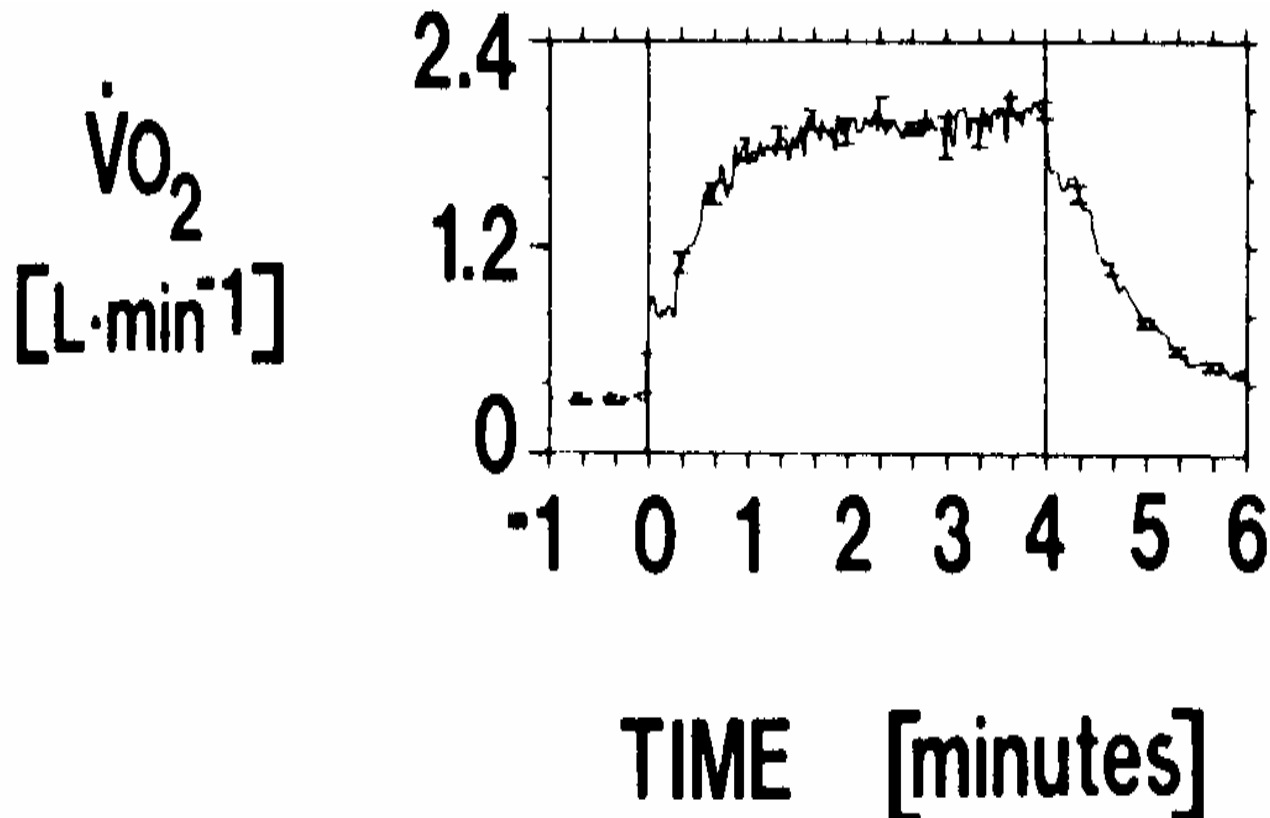
Le $\dot{V}O_2$ mesuré est-il juste



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 ≈ 0.75 à 0.95 L/min

100 W ≈ 1.2 à 1.55 L/min

150 W ≈ 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 perméapure
- 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^{ère} Partie : Le fonctionnement des ergospiromètres

Principes de fonctionnement des appareils

Principaux paramètres mesurés

2^{ème} Partie : Méthodologie de l'épreuve (Efx)

Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice

3^{ème} Partie : Analyse physiologique des réponses

Remarques préliminaires (Glucides, Energie Aérobie, PaCO₂)

Physiologie des ajustements

4^{ème} Partie : L'interprétation

Analyse en 7 points

Cas cliniques

Méthodologie de l'Epreuve (EFx)

Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice

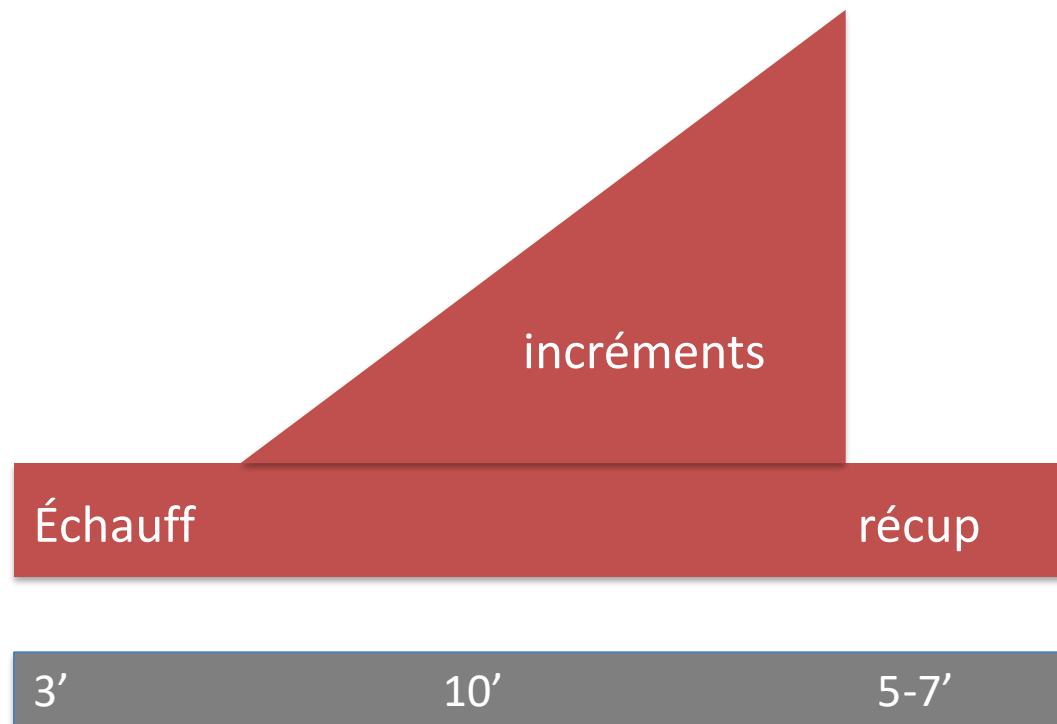
Différents protocoles sont possibles, les choix vont dépendre des objectifs de l'épreuve d'effort.

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° 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

VO₂max 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 :

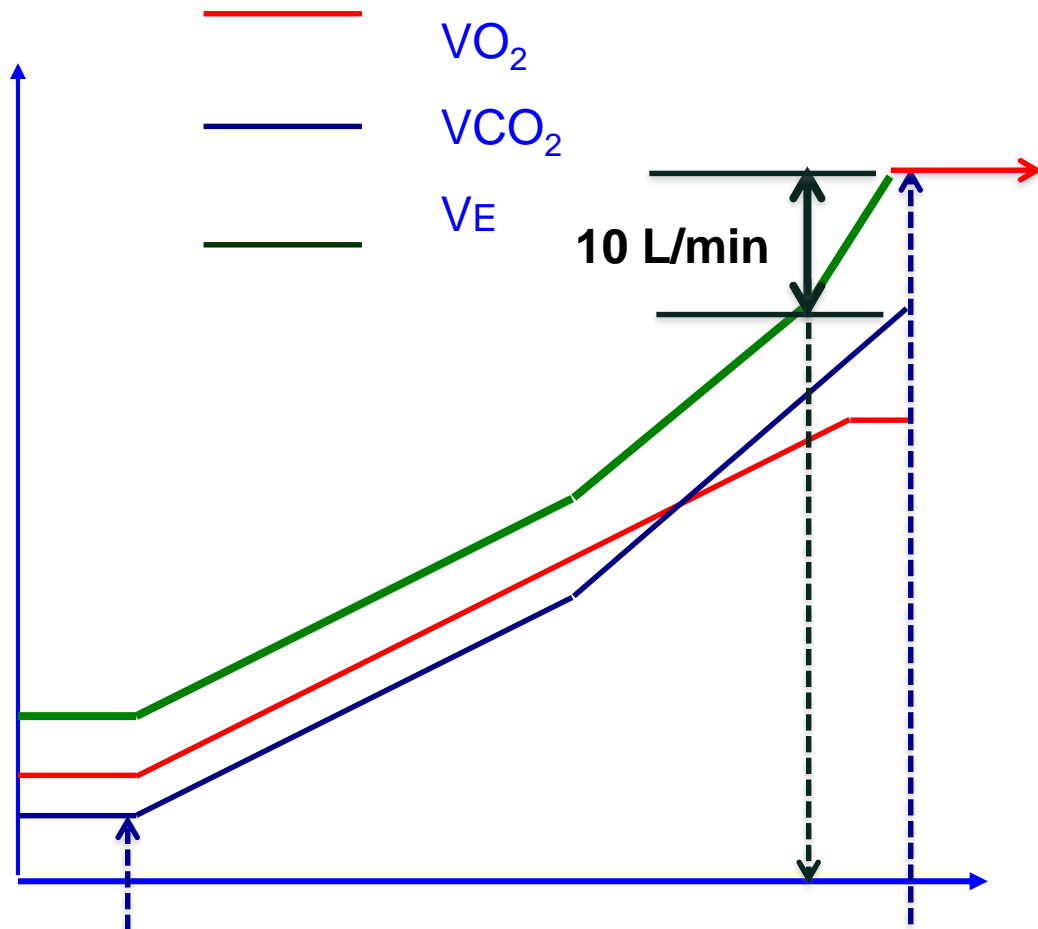
Sujet masculin, âgé de 60 ans, poids 90 kg, Taille 170 cm

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^{ère} Partie : Le fonctionnement des ergospiromètres

Principes de fonctionnement des appareils

Principaux paramètres mesurés

2^{ème} Partie : Méthodologie de l'épreuve (Efx)

Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice

3^{ème} Partie : Analyse physiologique des réponses

Remarques préliminaires (Glucides, Energie Aérobie, PaCO₂)

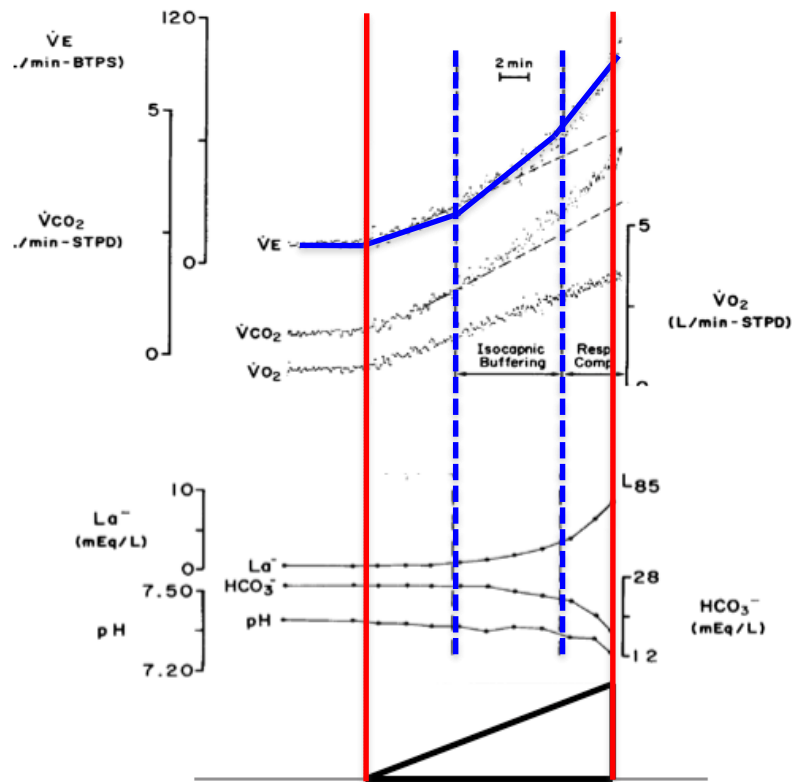
Physiologie des ajustements

4^{ème} 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^{er} seuil 150 W (53% du max)
- 4) 2^{ème} seuil 240 W (84% du max)

Les constatations :

Entre les deux inflexions de la ventilation

- 1) \dot{V}_E /Puissance est parallèle à \dot{V}_{CO_2} /Puissance
- 2) $\dot{V}_E/\dot{V}_{\text{CO}_2}$ est stable
- 3) Le lactate augmente
- 4) Le pH est stable
- 5) les HCO_3^- 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_2**
Multiples facteurs impliqués

Le drive ventilatoire ne peut pas être réduit aux variations (stimulations) de la PaCO₂

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^{ère} Partie : Le fonctionnement des ergospiromètres

Principes de fonctionnement des appareils

Principaux paramètres mesurés

2^{ème} Partie : Méthodologie de l'épreuve (Efx)

Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice

3^{ème} Partie : Analyse physiologique des réponses

Remarques préliminaires (Glucides, Energie Aérobie, PaCO₂)

Physiologie des ajustements

4^{ème} Partie : L'interprétation

Analyse en 7 points

Cas cliniques

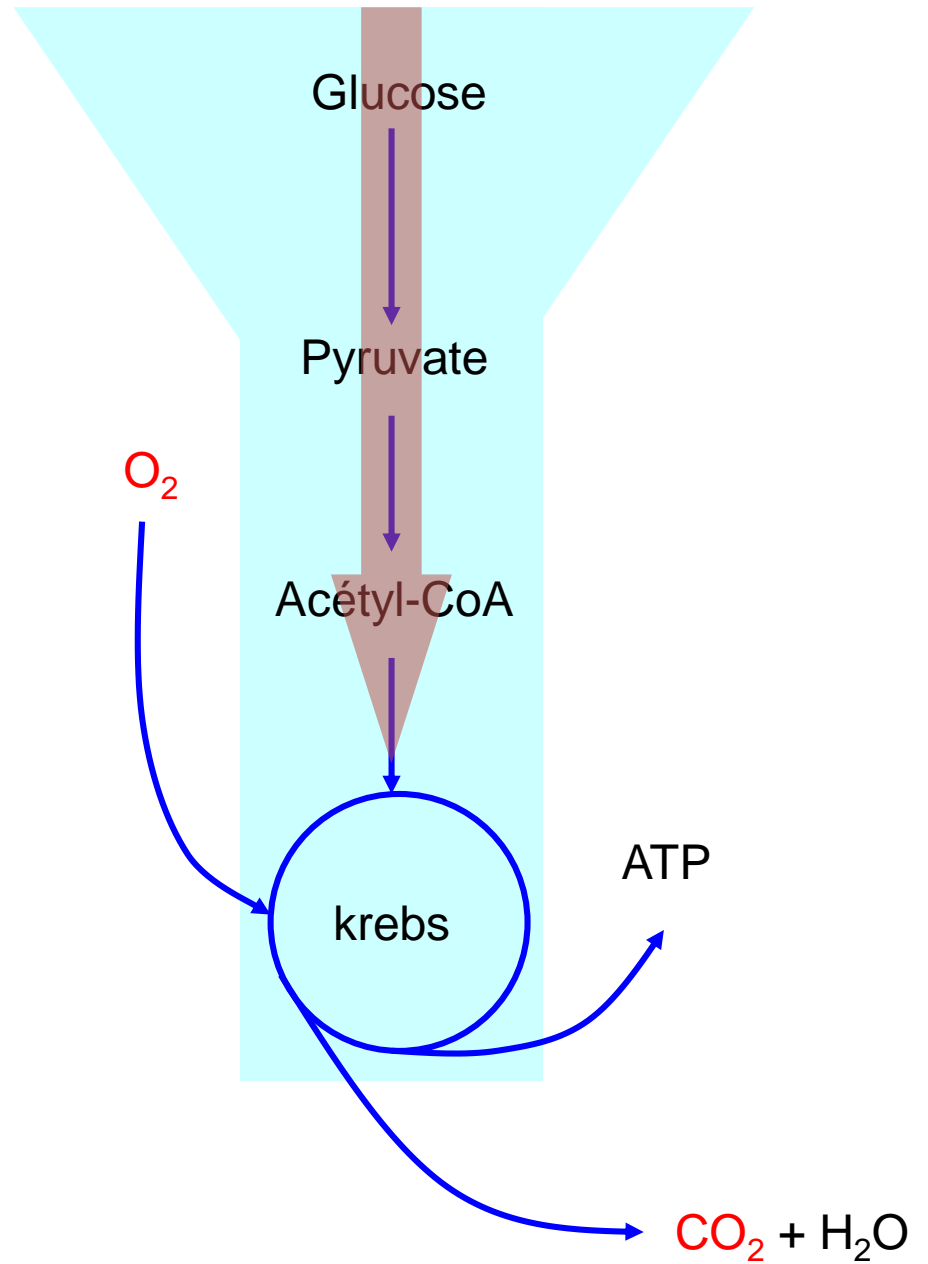
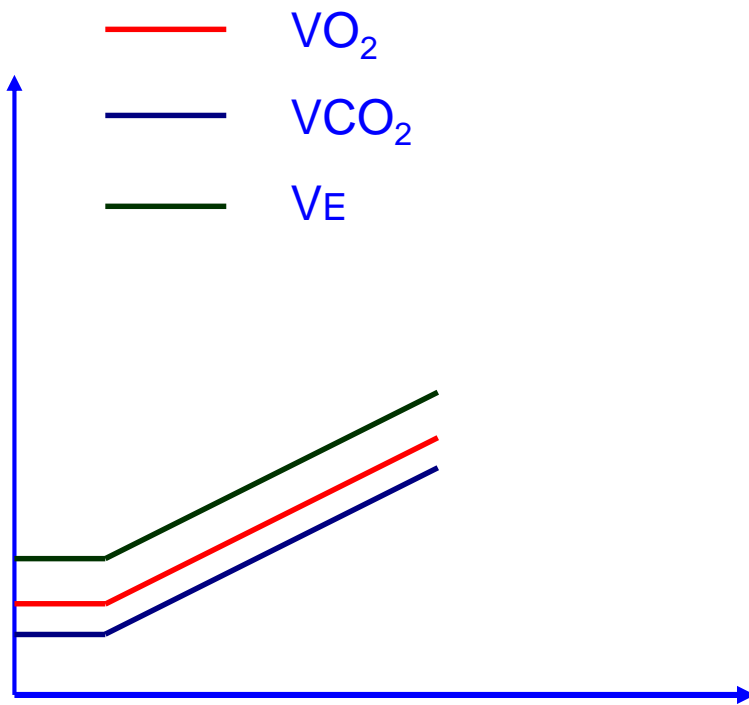
Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

- 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

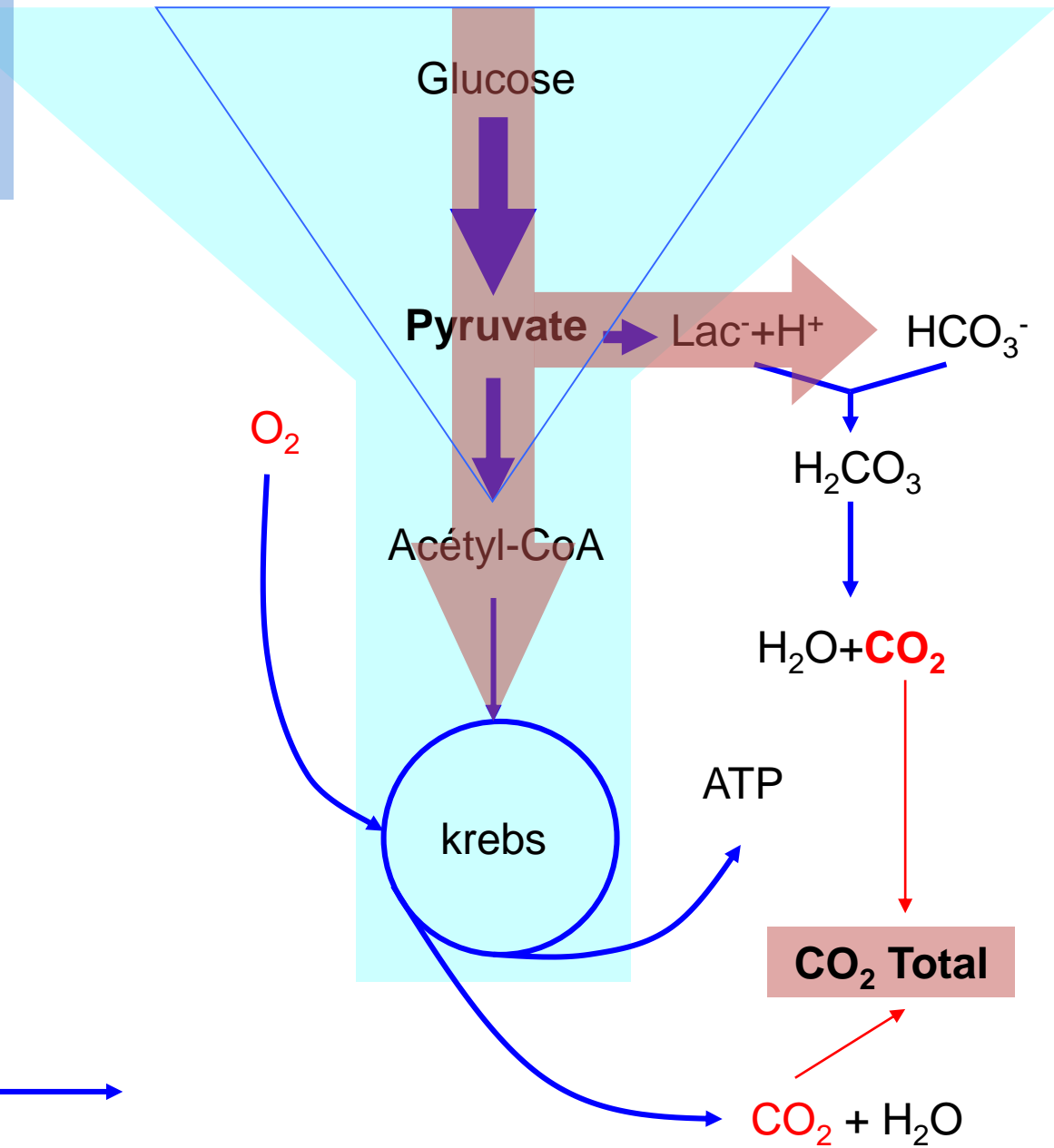
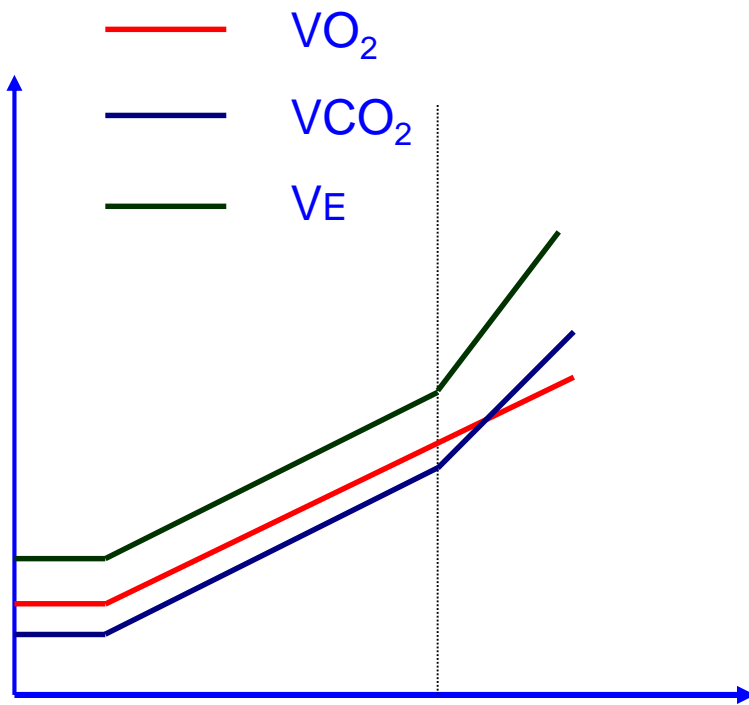
Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

- 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

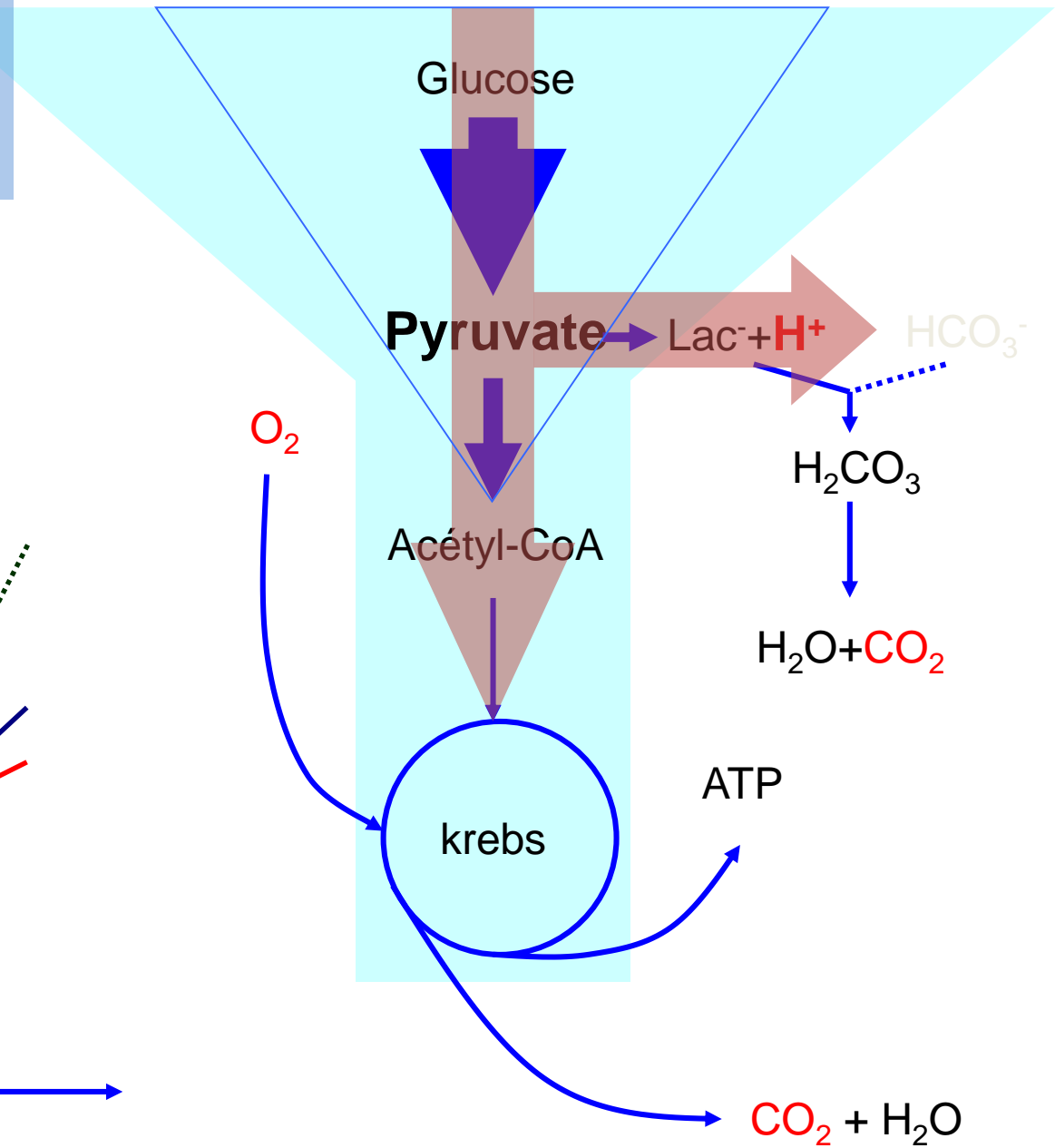
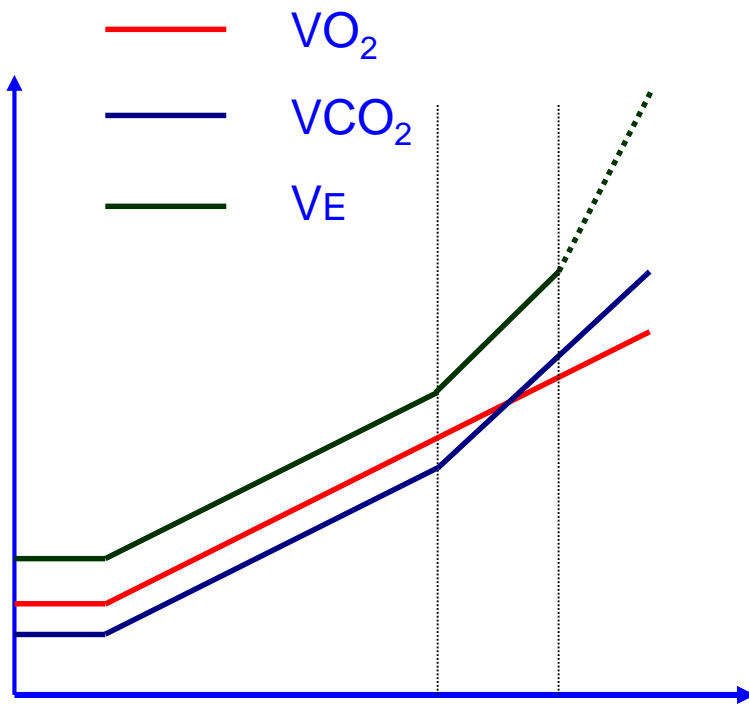
Oxydation glucidique et cinétique des ajustements



Oxydation glucidique et cinétique des ajustements



Oxydation glucidique et cinétique des ajustements

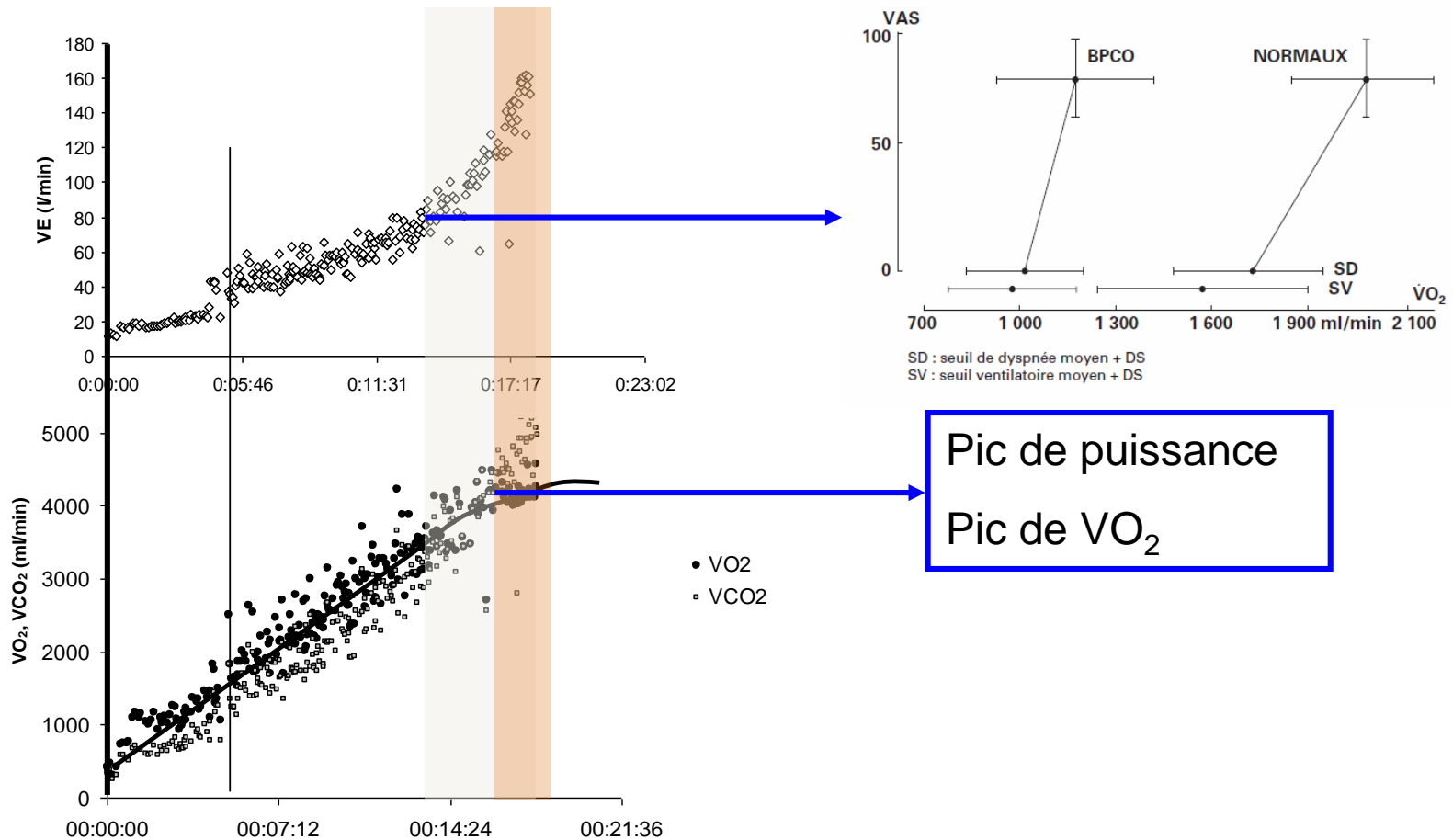


Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

- 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

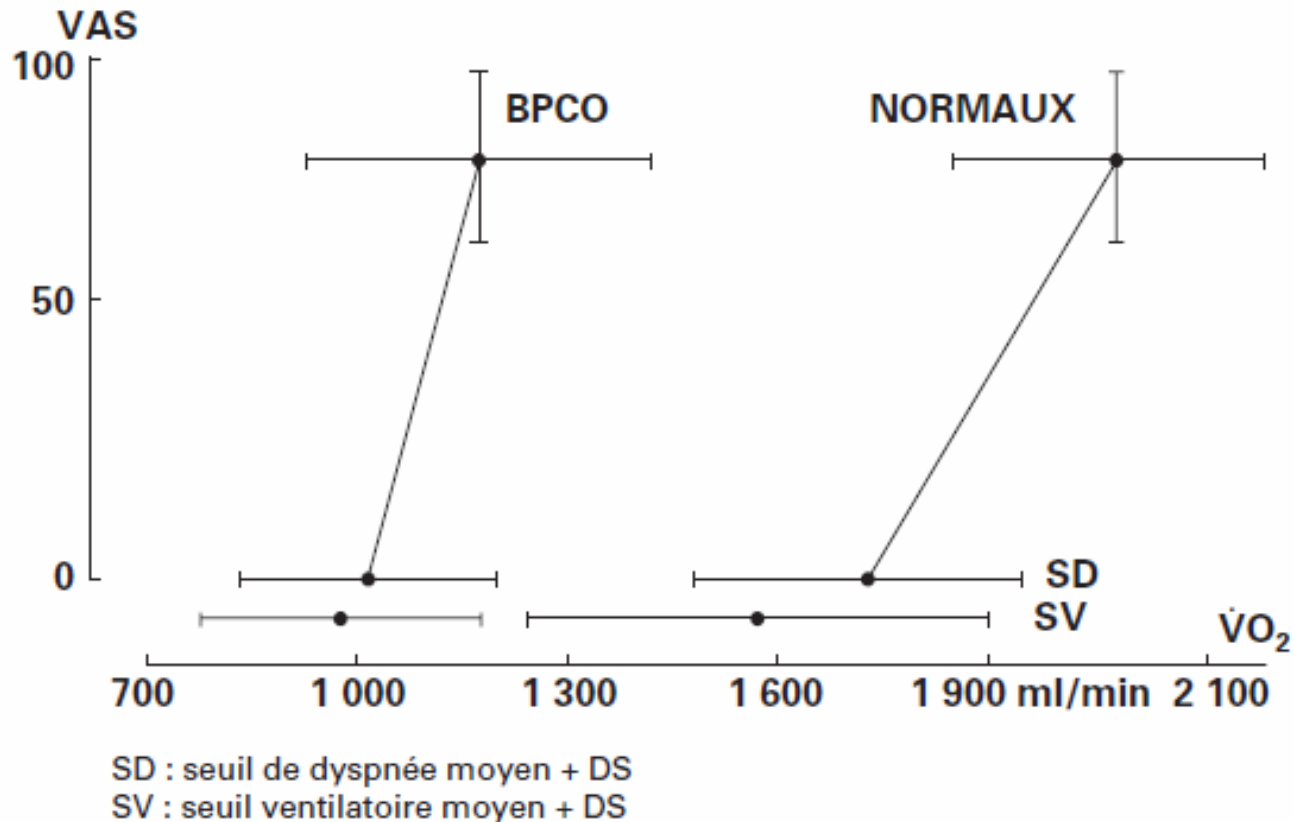
Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

Méthode de détermination des seuils



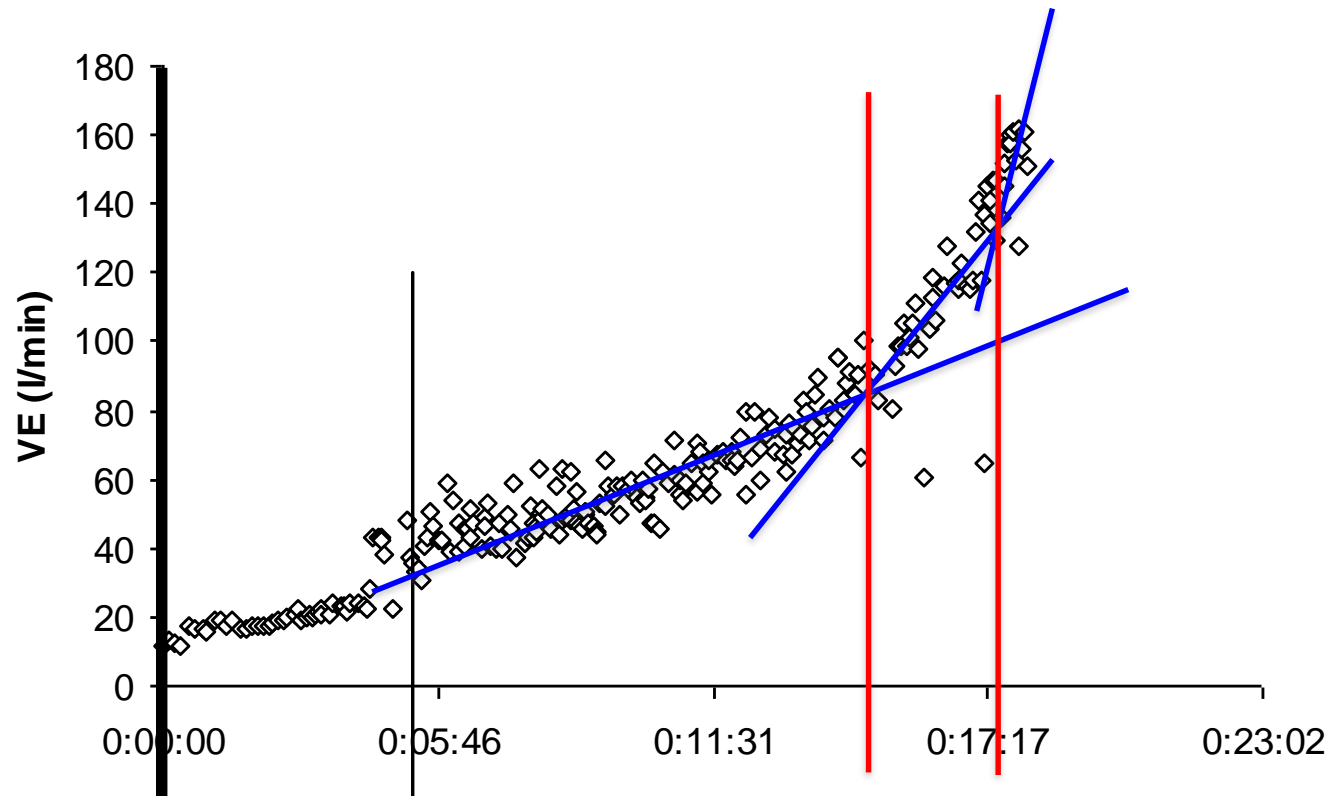
Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

Méthode de détermination des seuils



Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

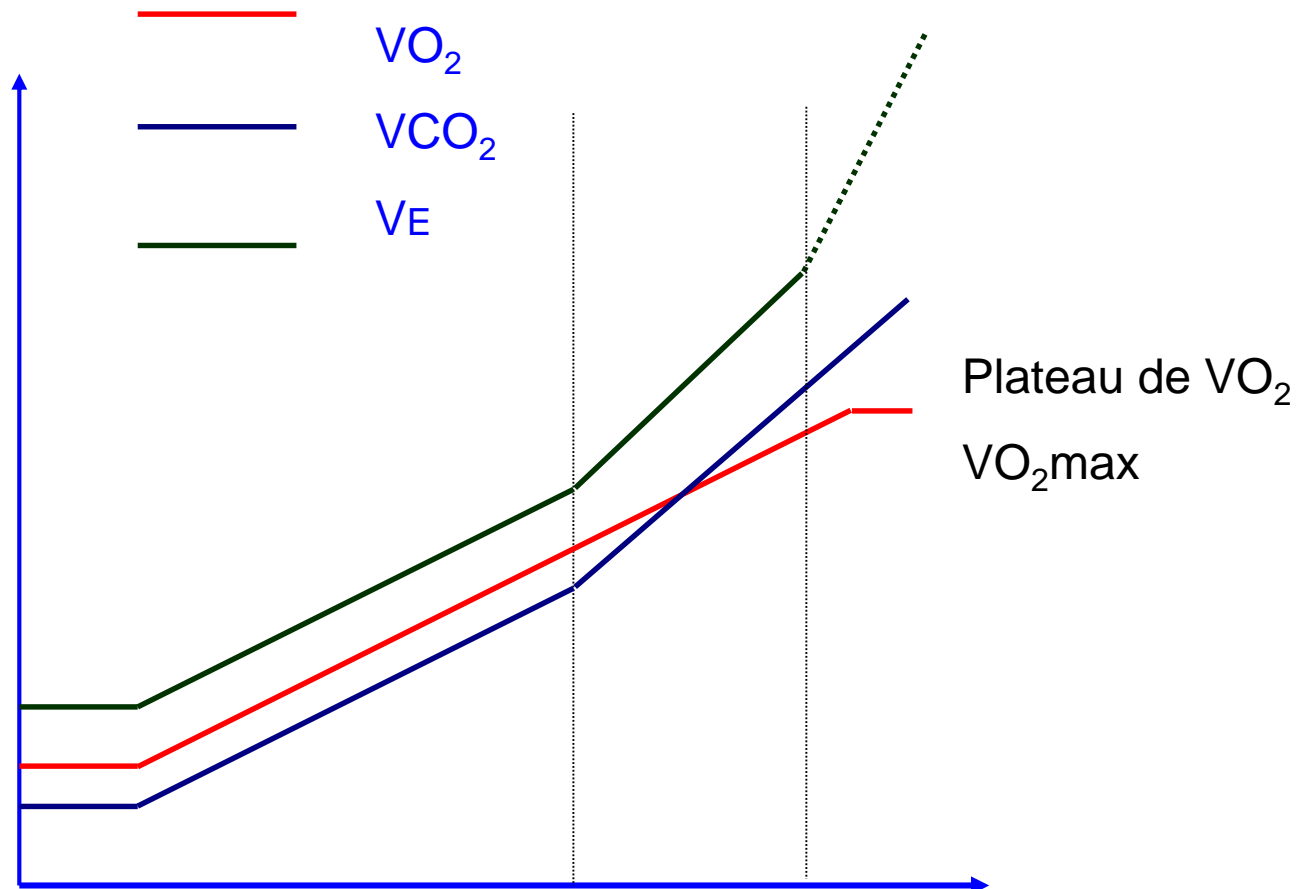
Méthode de détermination des seuils



Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

Méthode de détermination des seuils

A) Méthode ventilatoire

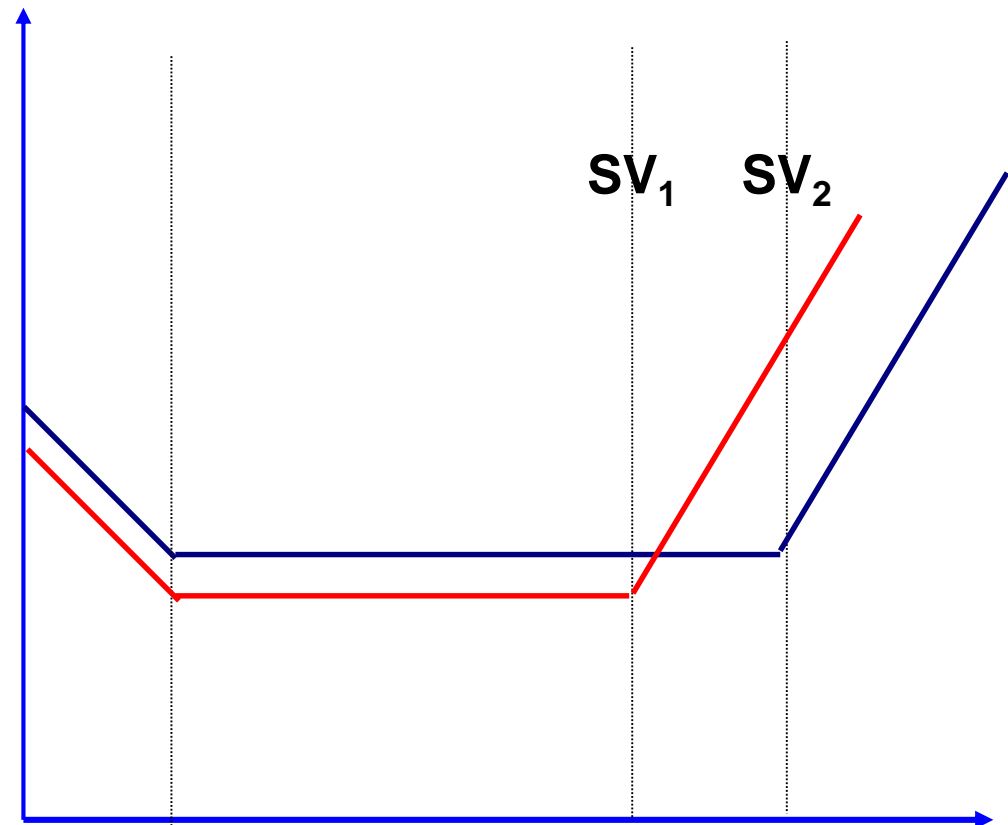
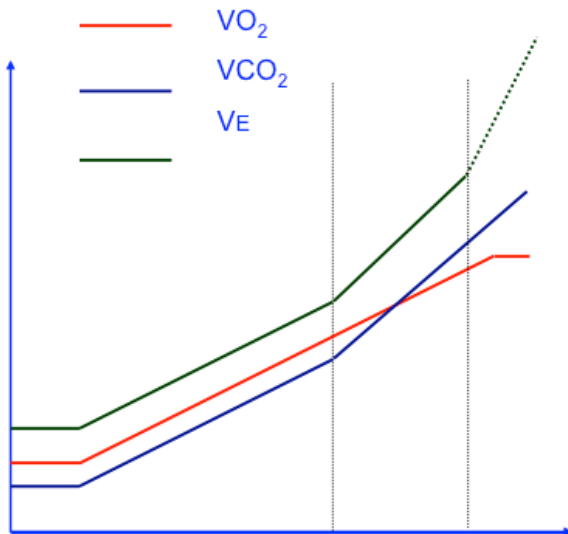


Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

Méthode de détermination des seuils

A) Méthode ventilatoire

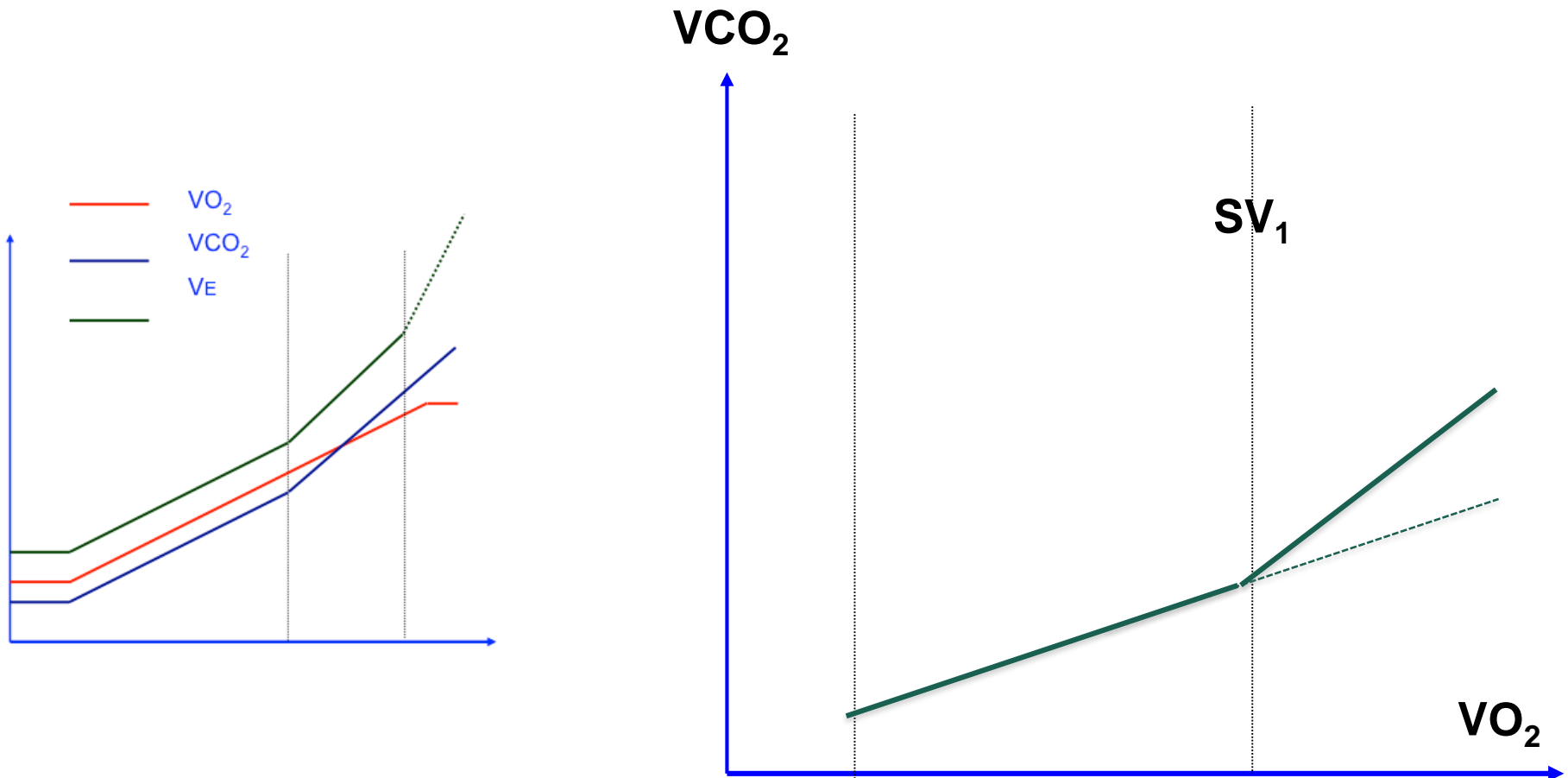
— VE/VCO_2
— VE/VO_2



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 ^{ère} cassure de VE	$\uparrow VE/VO_2$ $\rightarrow VE/VCO_2$	Augmentation de VCO_2 / VO_2
SV_2	2 ^{ème} cassure de VE	$\uparrow VE/VCO_2$	

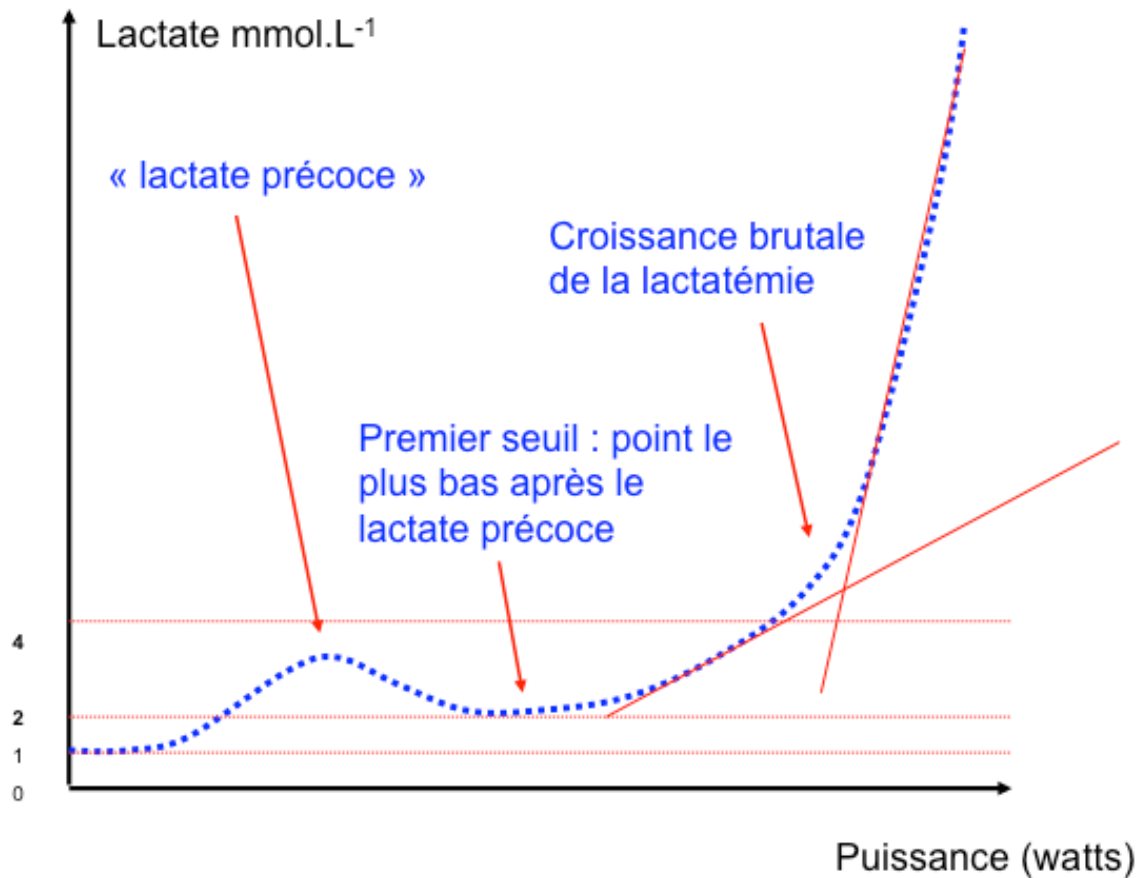
Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

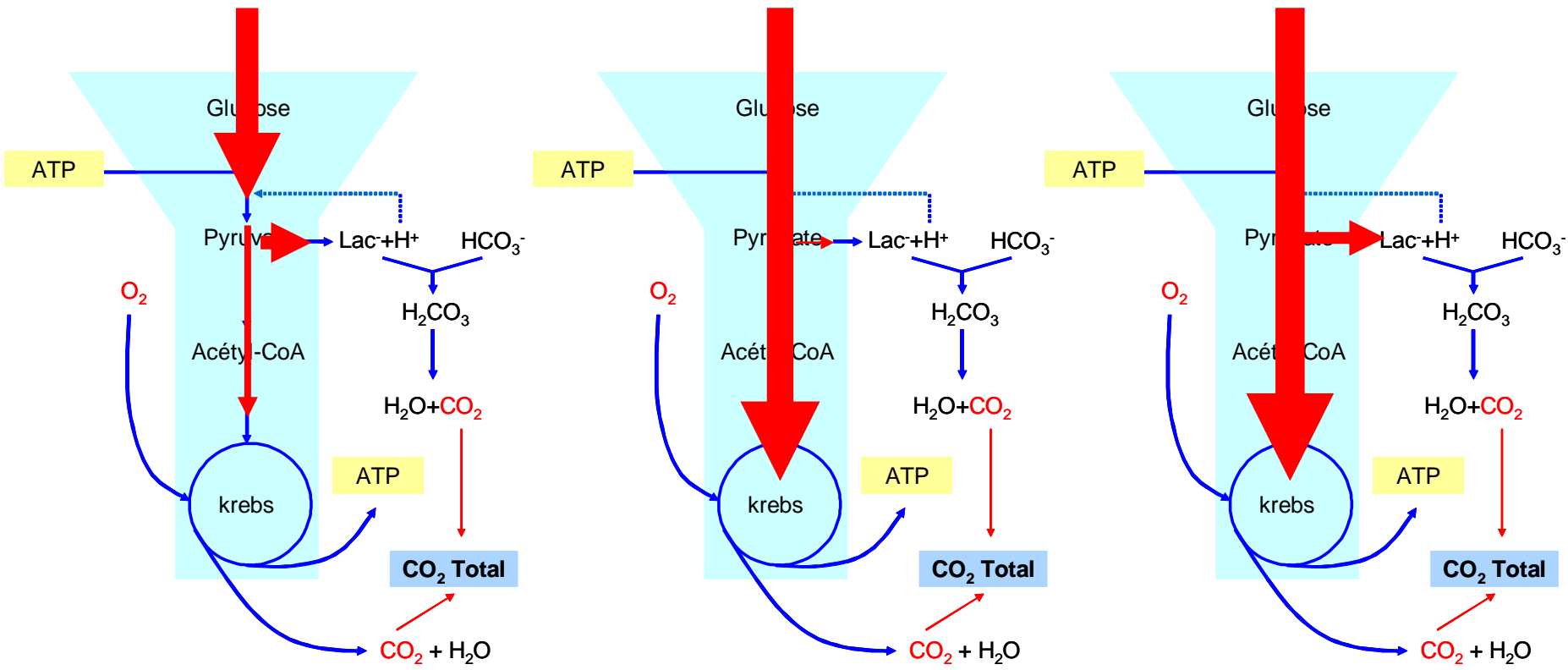
- Relation entre oxydation glucidique et cinétique des ajustements
- Intérêt de l'oxydation glucidique à haute intensité d'effort
- **Méthodes de détermination des seuils**
 - Méthodes ventilatoires
 - Méthodes lactiques
- Significations cliniques des seuils

Analyse Physiologique des Réponses Adaptatives à l'Exercice en Rampe

Méthode de détermination des seuils

B) Méthode lactique



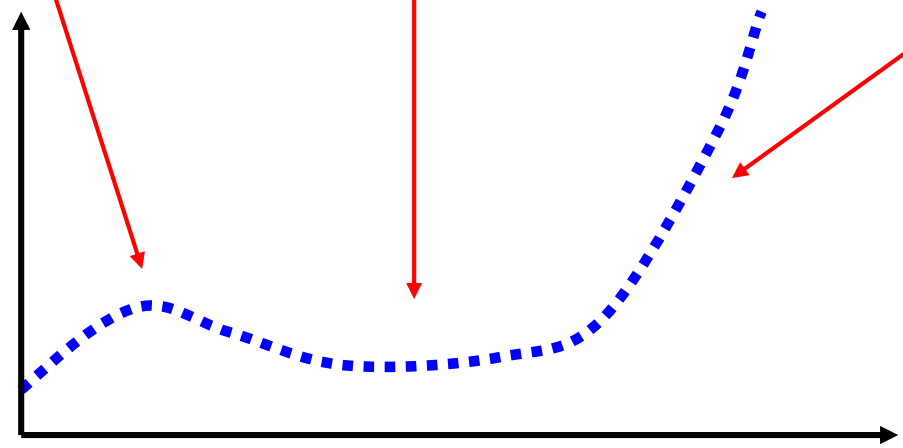


Début d'effort

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 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)

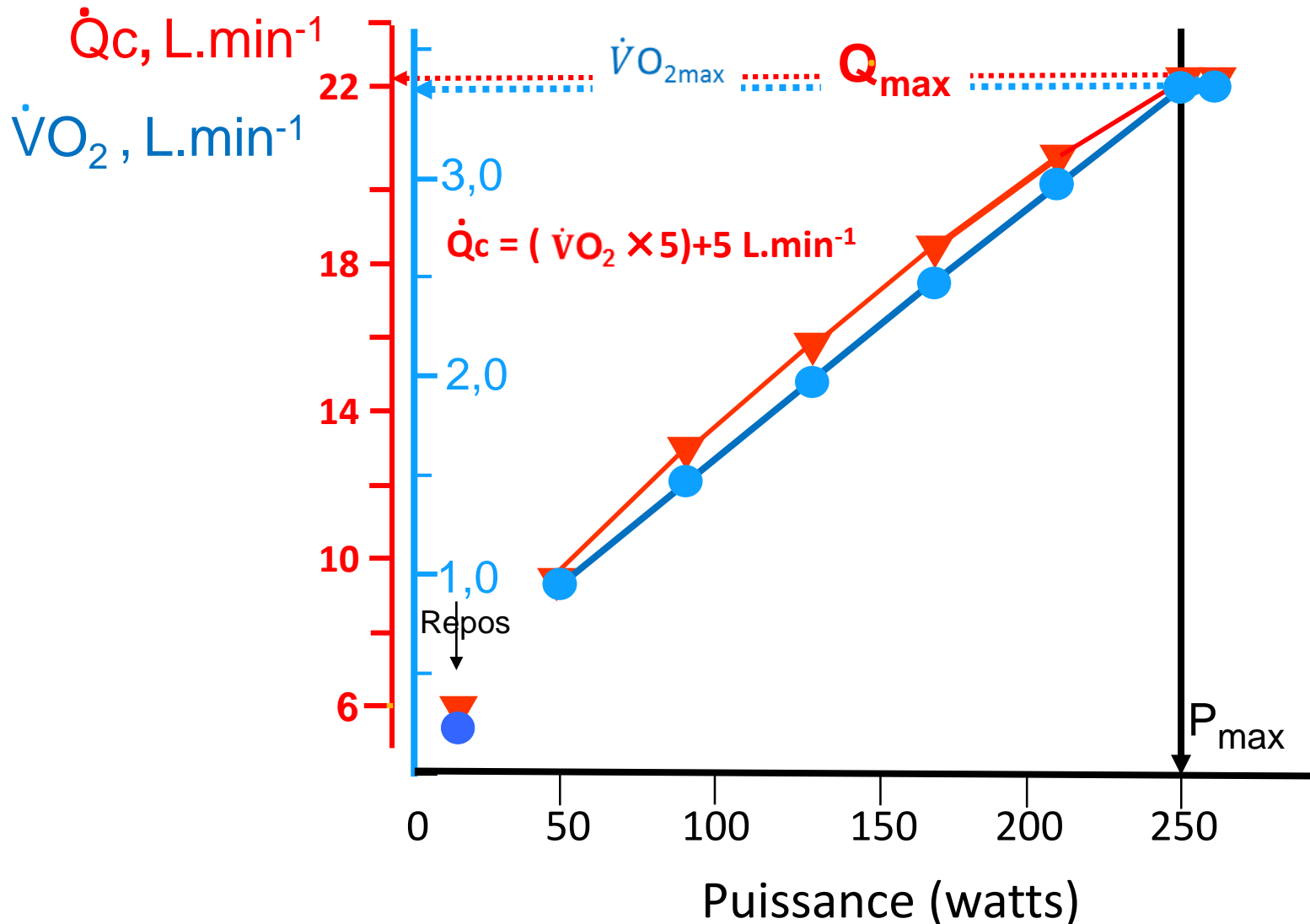
Variation entre le
repos et le max

x 12

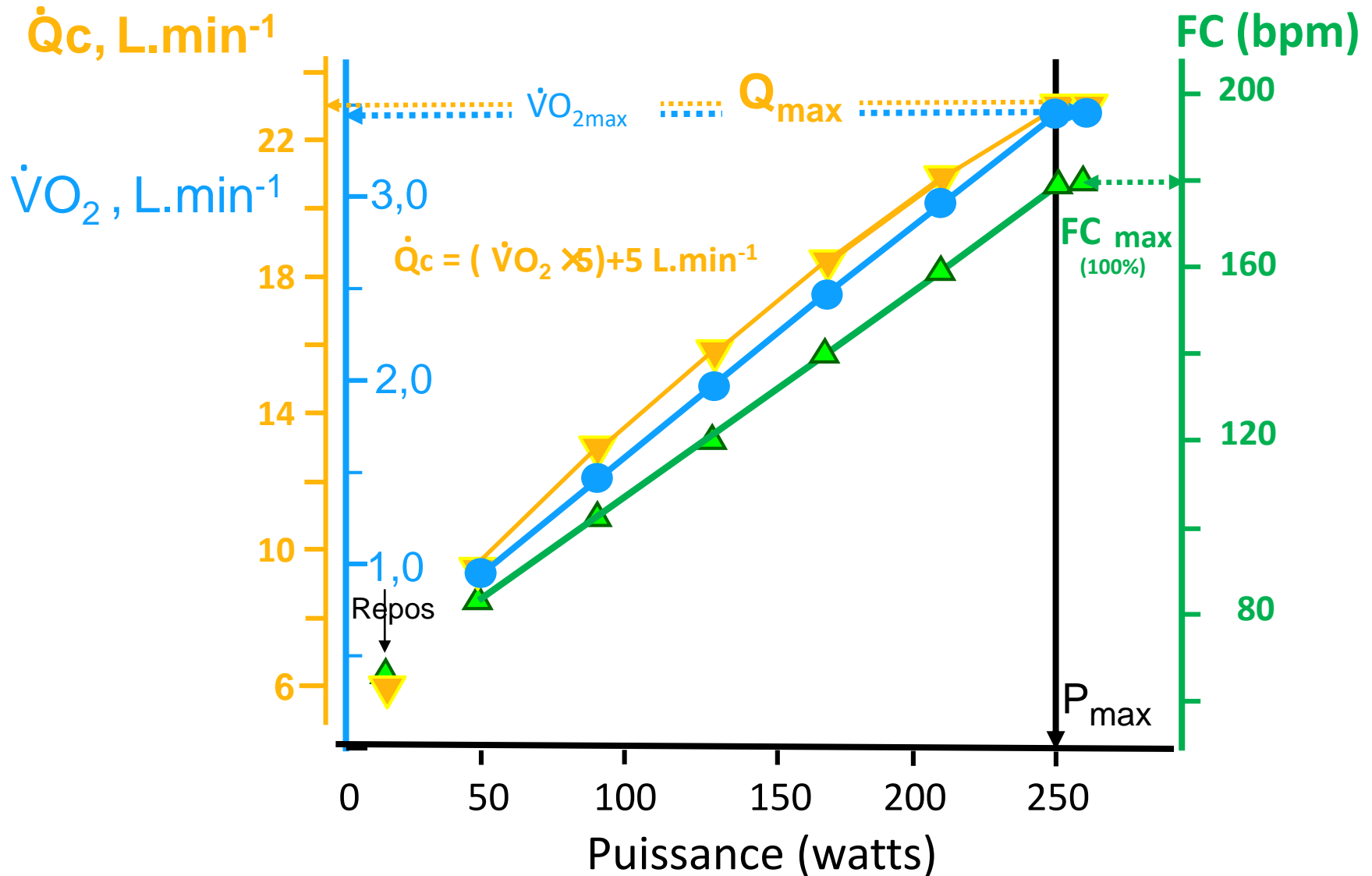
x 4

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:

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

- index chronotrope:

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

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 :

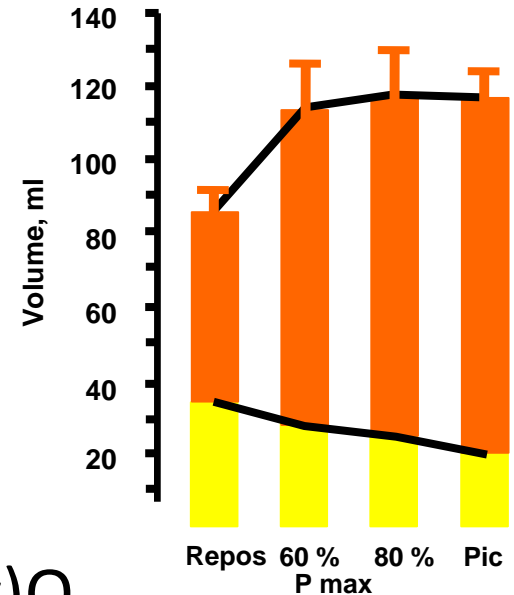
$$VO_2 / FC = VES * D(a-v)O_2$$

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

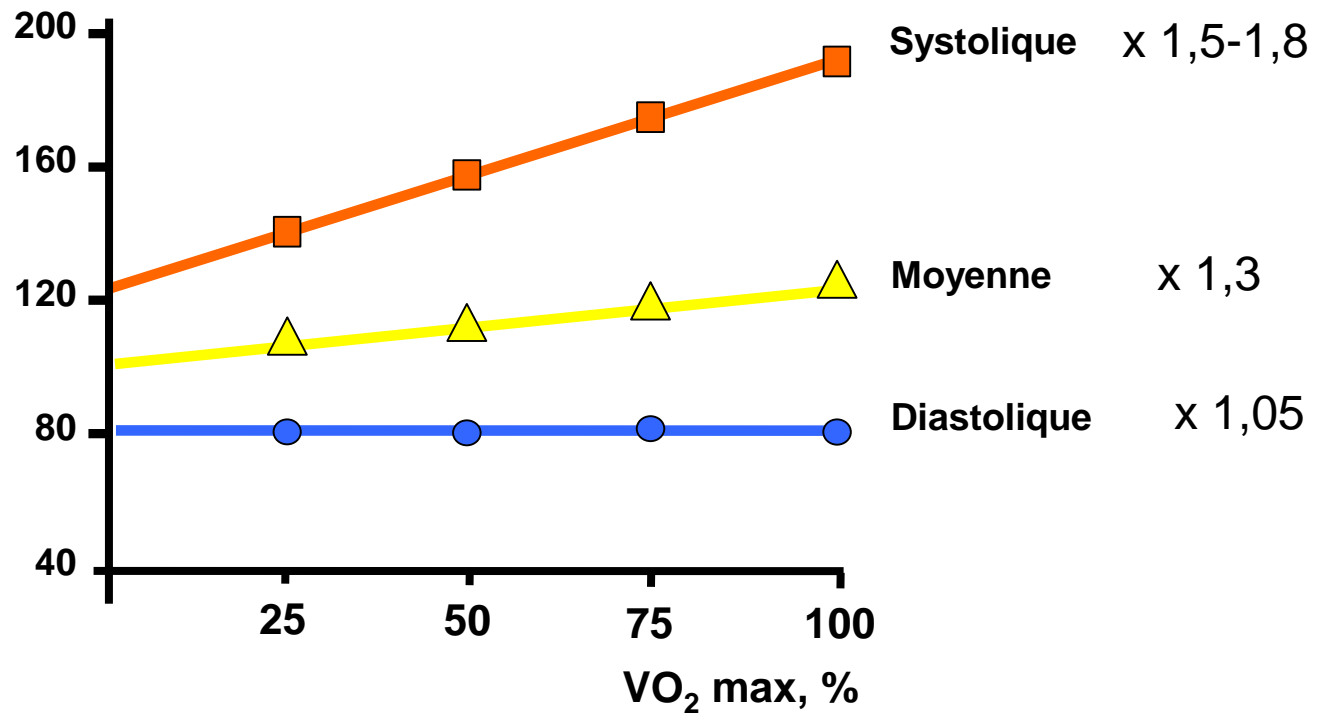
Non vérifié si défaut utilisation musculaire O_2 (« myopathie »)

N au max = 14 ± 2 ml O_2 /batt

Cinétique d'évolution +++

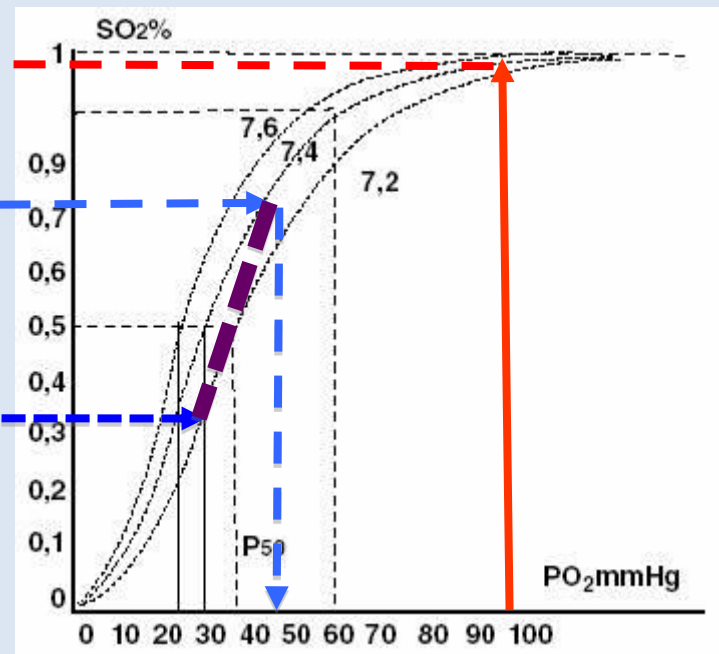
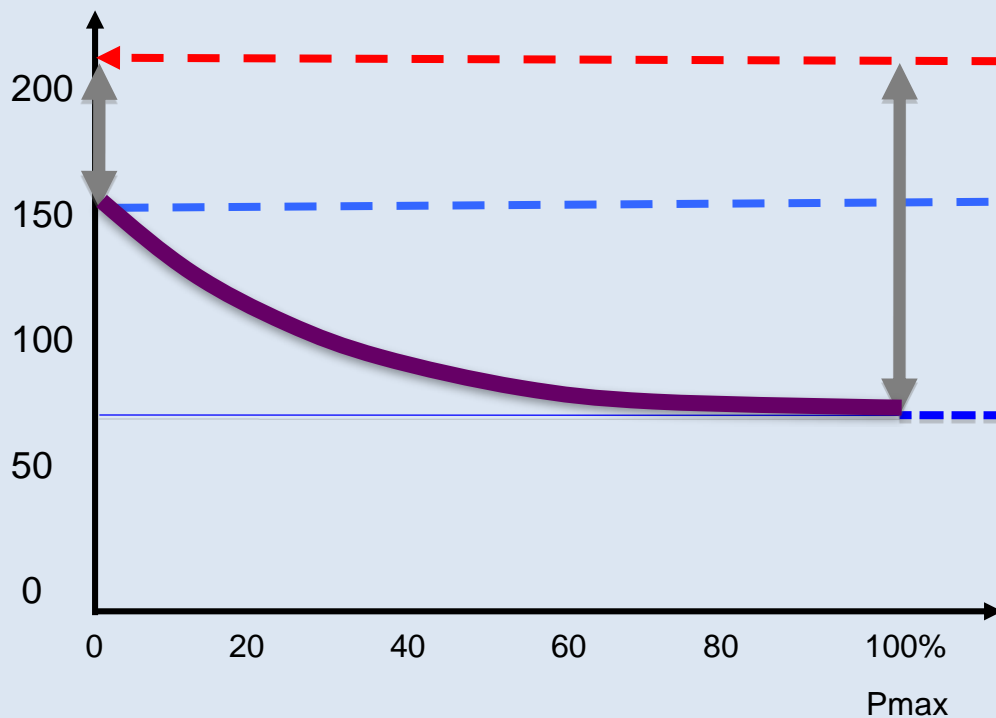


Evolution de la Pression Artérielle lors de l'exercice incrémental



Différence artérioveineuse en O_2 au cours de l'exercice

Contenu du sang en O_2 (ml.l⁻¹)



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

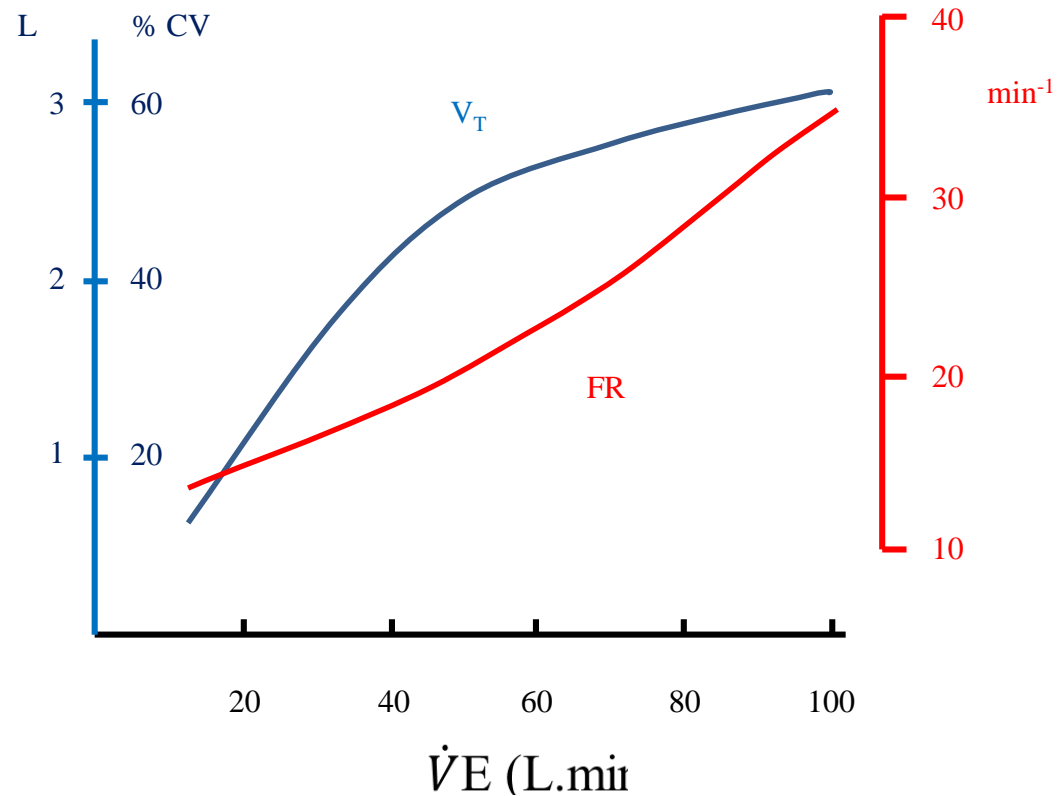
Adaptations ventilatoires lors de l'exercice incrémental

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

x5-6

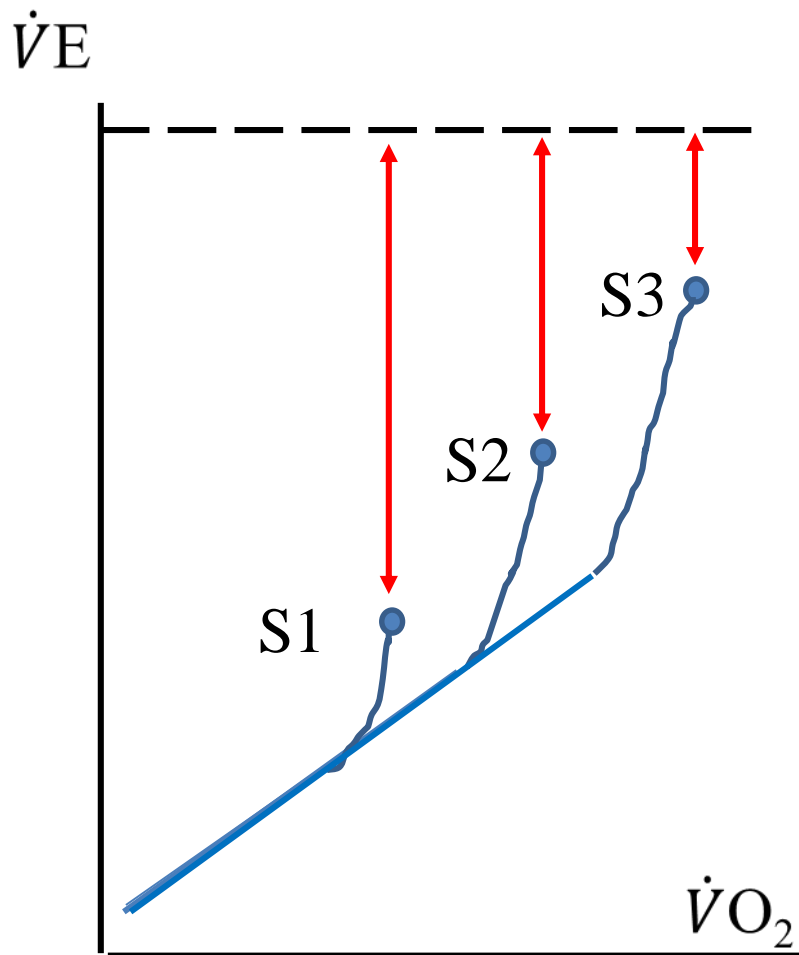
x2-3

x10-18



Adaptations ventilatoires lors de l'exercice incrémental

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



← Capacité maximale à ventiler =
VMM

Réserve ventilatoire =
 $VMM - \dot{V}E_{max}$

Adaptations ventilatoires lors de l'exercice incrémental

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

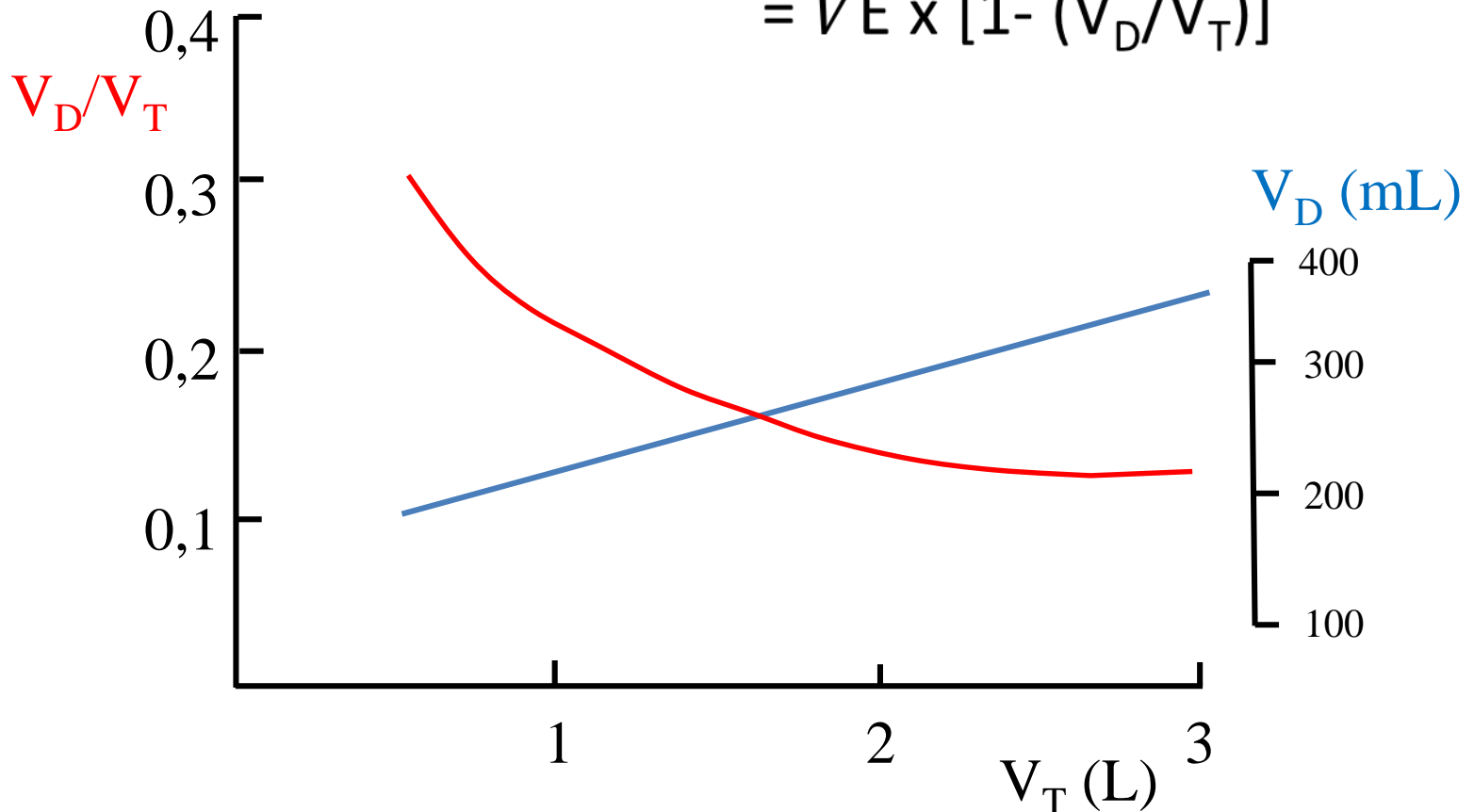
$$RV \text{ (\%)} = VE_{\text{max}} - (35 \times VEMS) / (35 \times VEMS)$$

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

Adaptations ventilatoires lors de l'exercice incrémental

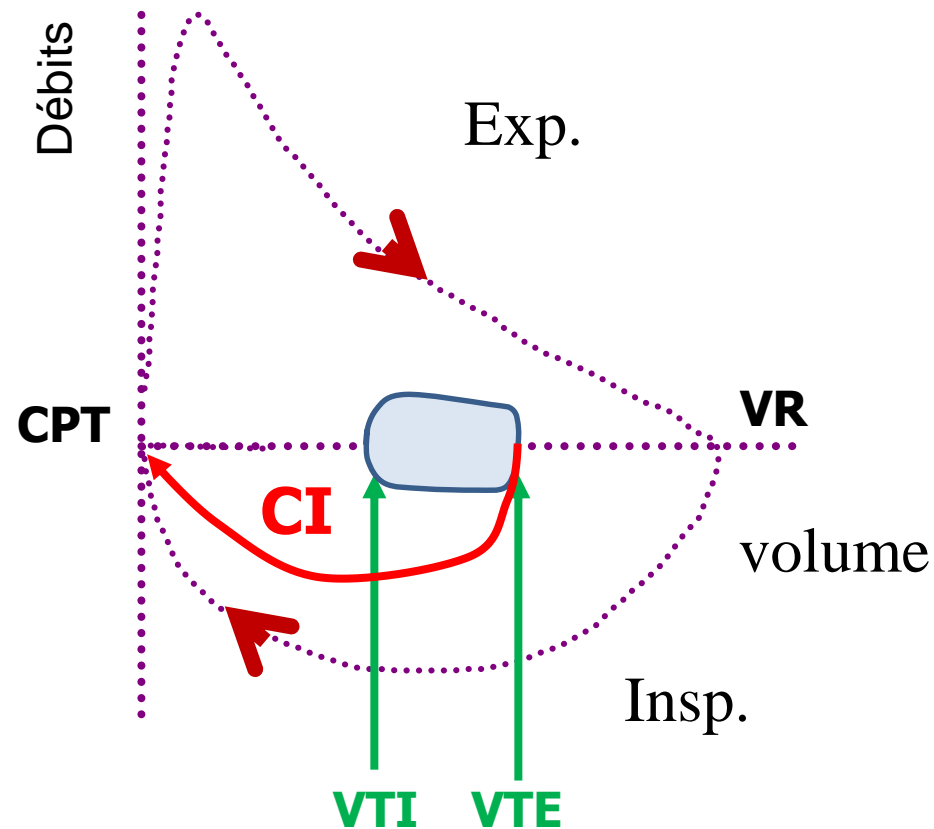
Augmentation de la ventilation alvéolaire par une diminution de la ventilation de l'espace mort

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



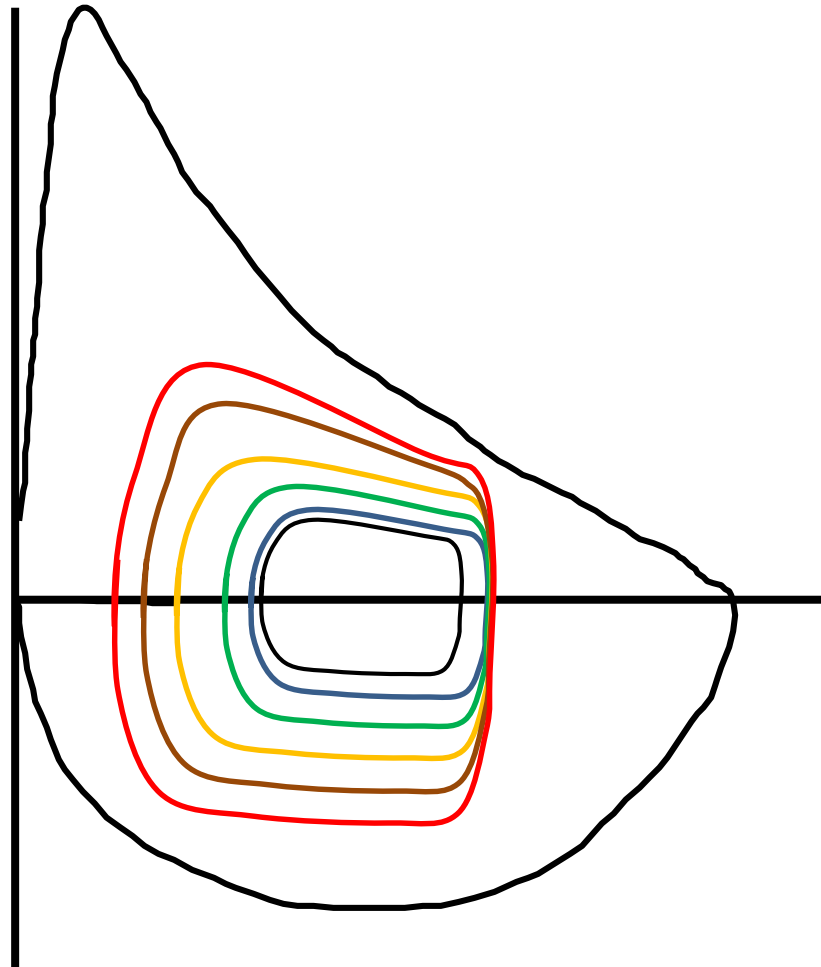
Adaptations ventilatoires lors de l'exercice incrémental

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

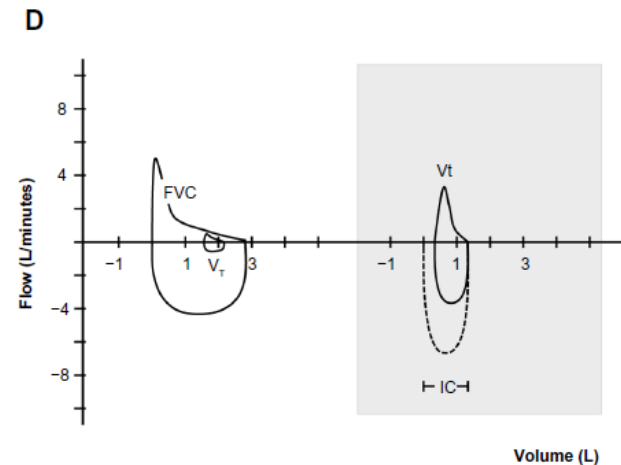
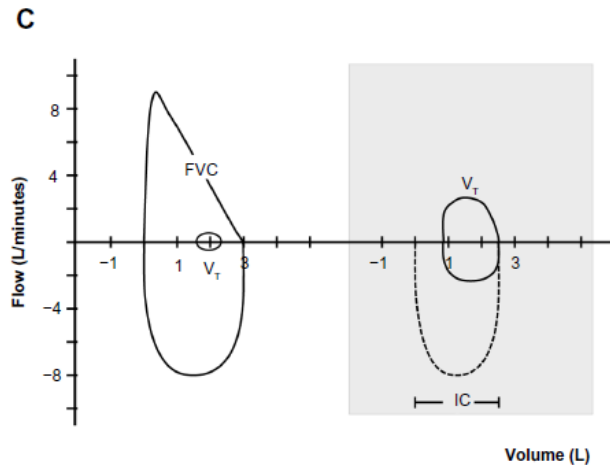
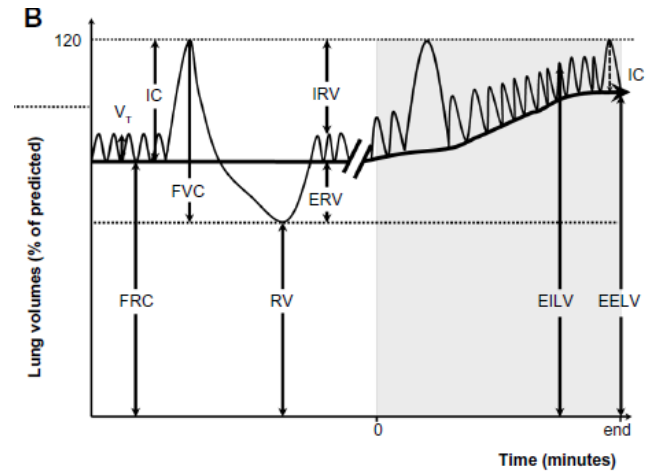
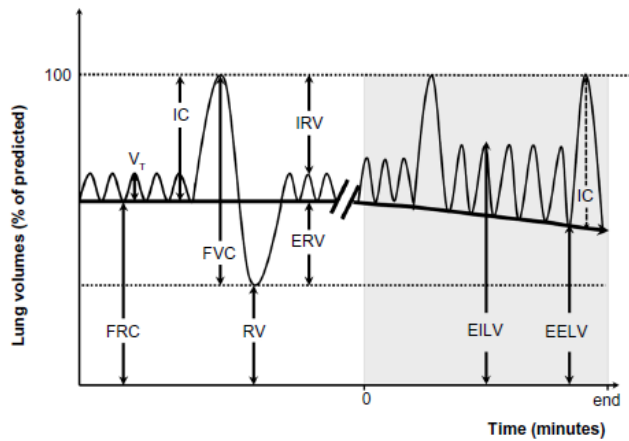


Adaptations ventilatoires lors de l'exercice incrémental

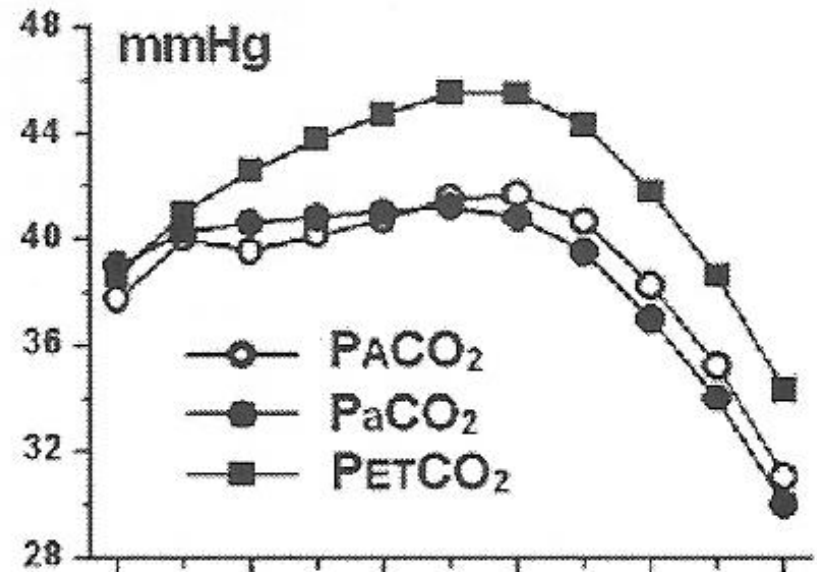
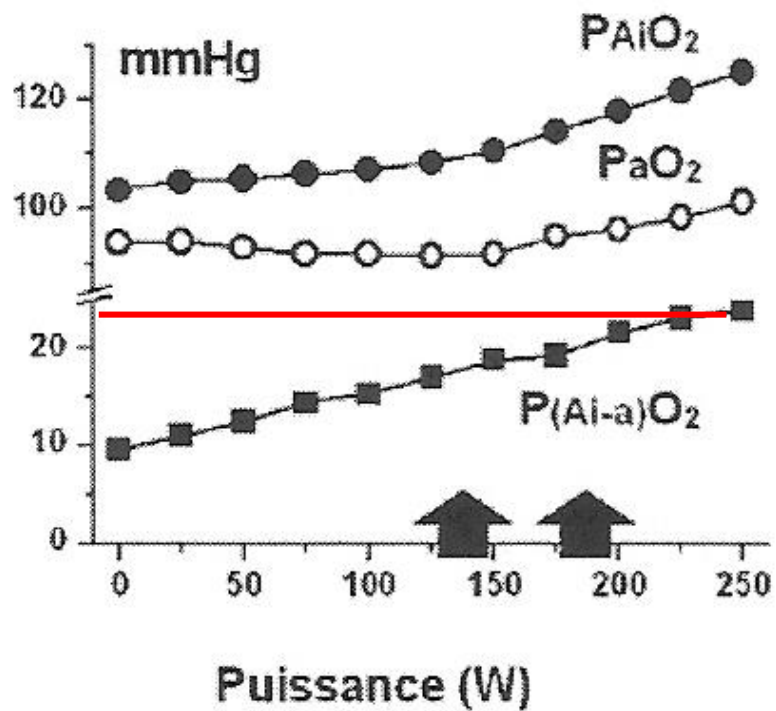
Evolution de la boucle D/V spontanée au cours de l'exercice



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



Adaptations O_2 , CO_2 lors de l'exercice incrémental



PLAN

1^{ère} Partie : Le fonctionnement des ergospiromètres

Principes de fonctionnement des appareils

Principaux paramètres mesurés

2^{ème} Partie : Méthodologie de l' épreuve (Efx)

Choix et réalisation pratique du protocole d'exercice

3^{ème} Partie : Analyse physiologique des réponses

Remarques préliminaires (Glucides, Energie Aérobie, PaCO₂)

Physiologie des ajustements

4^{ème} Partie : L' interprétation

Analyse en 7 points

Cas cliniques

PLAN

4^{ème} 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⁻¹·min⁻¹

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, $\dot{V}O_2 < 150 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$)
- $F_{c\text{max}} > 90\%$ F_c maximale théorique
- $[\text{Lac}]_{\text{max}} > 8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ 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.

VO₂max ou épreuve limitée par les symptômes (pic VO₂)

Critère de capacité fonctionnelle

Pic VO₂ < 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

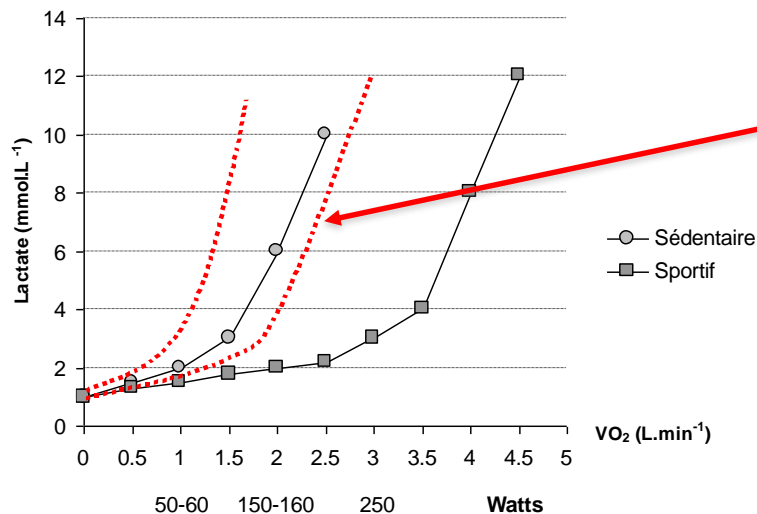
Analyse chronologique

6) Adaptation du muscle à l'exercice.

Puissance/poids < 1 – 1,5 W·kg⁻¹

VO₂(au SV₁) < 40% de la VO₂max 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 + $(5,5 \times VO_2(l \cdot \text{min}^{-1}))$

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

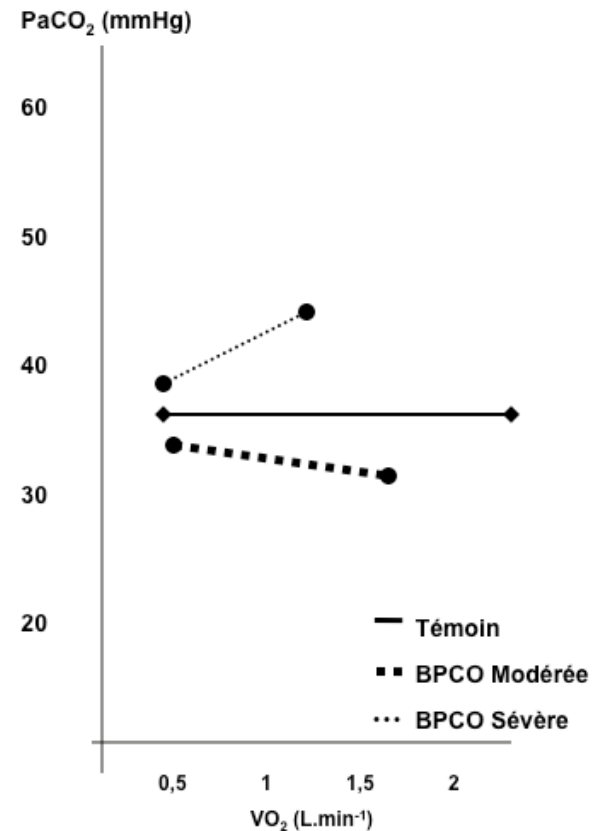
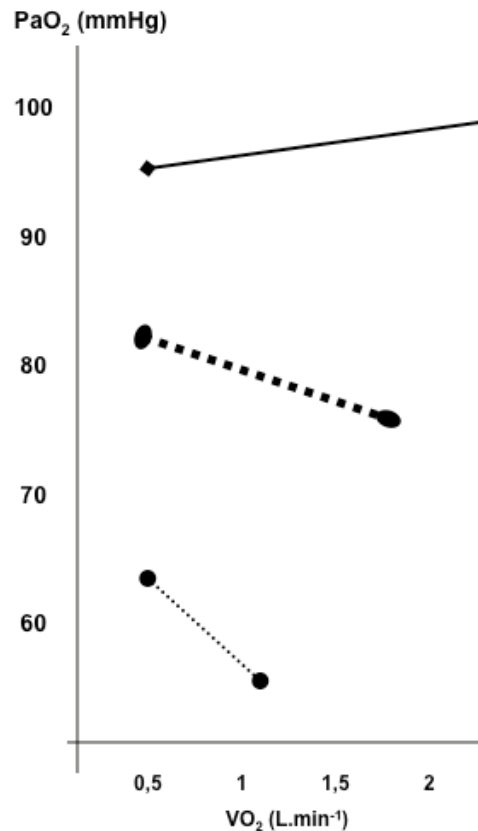
Au repos $\approx 0,3 - 0,4$

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^{ème} 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.)
 PoO_2 ↓ (VES ↓)
TAS et/ou TAD ↑↑

Fc max < FCMThéor
QR > 1,1-1,2
Rapport Lact/Puis ↑
 PoO_2 ↓ (DavO_2 ↓)
1^{er} Seuil précoce

RV < 15%
RV < 11 l·min⁻¹
VE/ VO_2 > 35
↓ SpO₂
RC normale

PLAN

4^{ème} 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⁻¹.min⁻¹

VO_2 au seuil < 11 ml.kg⁻¹.min⁻¹

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^{ème} Partie : L'interprétation

Analyse en 7 points

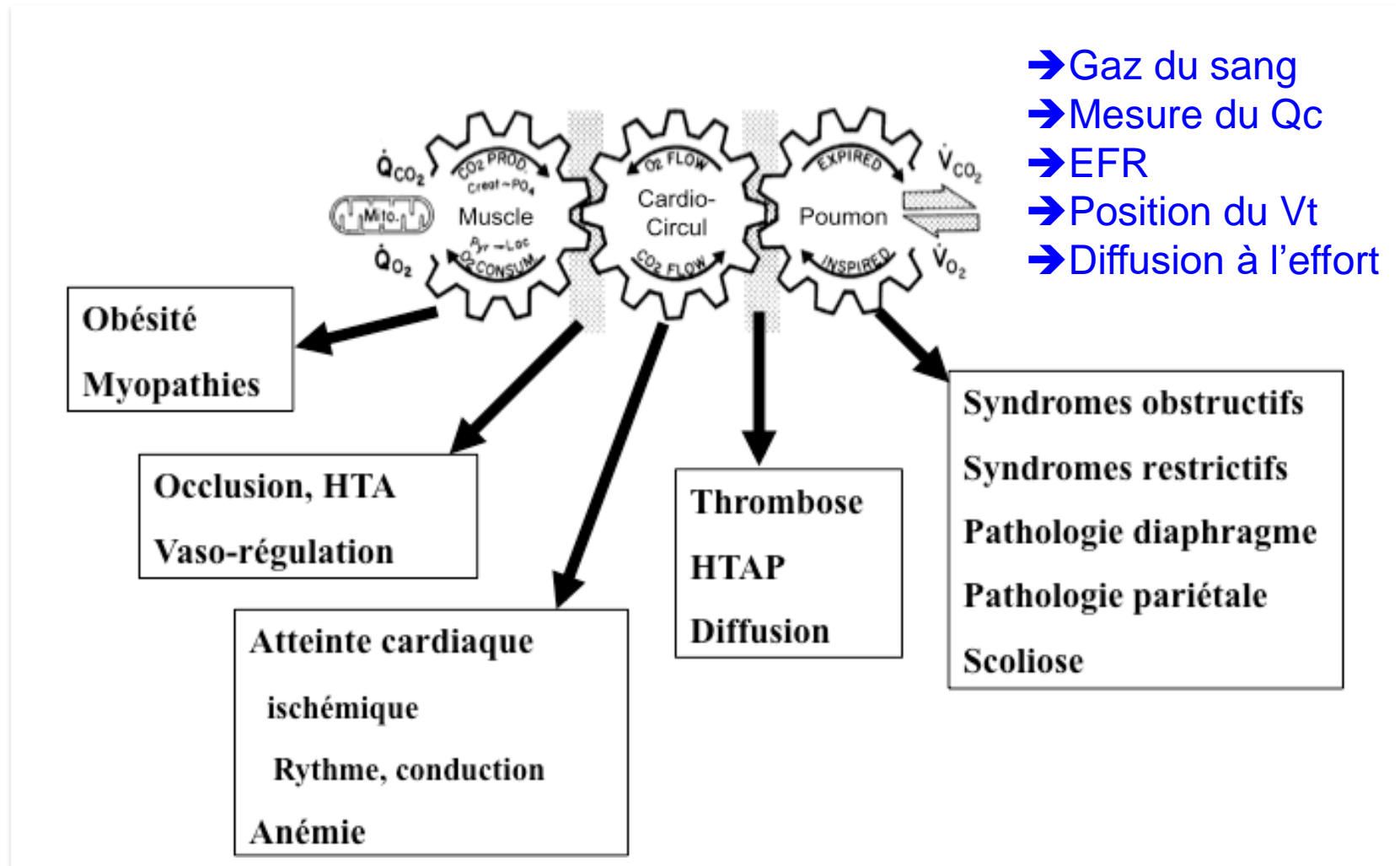
Arbre diagnostic

Critères de gravité

Principales pathologies

Cas cliniques

Analyse intégrative des réponses à l'EFx



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 ^{ale} ↘ modérée
Seuil ventilatoire	↘ à ↘↘	N ^{al} ou ↘	N ^{al} ou ↘	↘ à ↘↘ *	↘ modérée
Réserve chronotrope = $\frac{FC_{\text{max}} - FC_{\text{maxthéor}}}{FC_{\text{maxthéor}}}$	↗ ou N ^{ale}	↗ ou N ^{ale}	N ^{ale}	Svt ↗ ↗ si β-bloquants	N ^{ale}
Pouls O ₂	N ^{al}	↘	↘	↘↘	N ^{al}
Réserve ventilatoire	↘↘	N ^{ale} ou ↘	N ^{ale}	↗	N ^{ale}
$\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ (au SV)	↗ à ↗↗	↗	↗	↗ à ↗↗ *	N ^{ale}
P(A-a)O ₂	N ^{ale} à ↗↗	↗↗	↗	N ^{ale}	N ^{ale}
Désaturation	± présente	présente	présente	absente	absente
VD/VT	↗	↗↗	↗↗	↗	N ^{ale}

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^{ème} 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

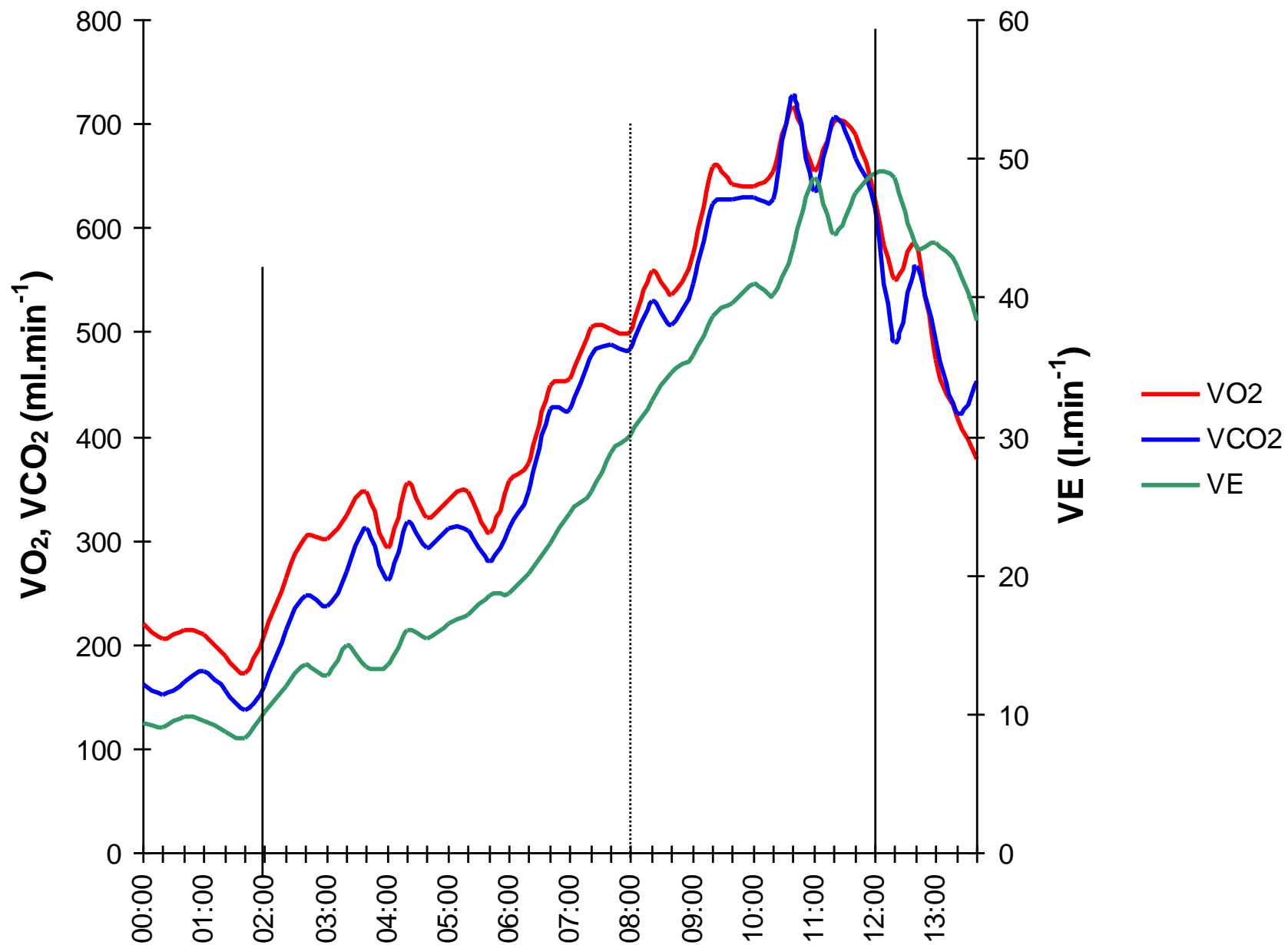
		Mesurée	Théorique
CV	ml	3180	1910
VEMS	ml	1370	2620
VEMS/CV	%	52%	
VMM	L.min ⁻¹	56	

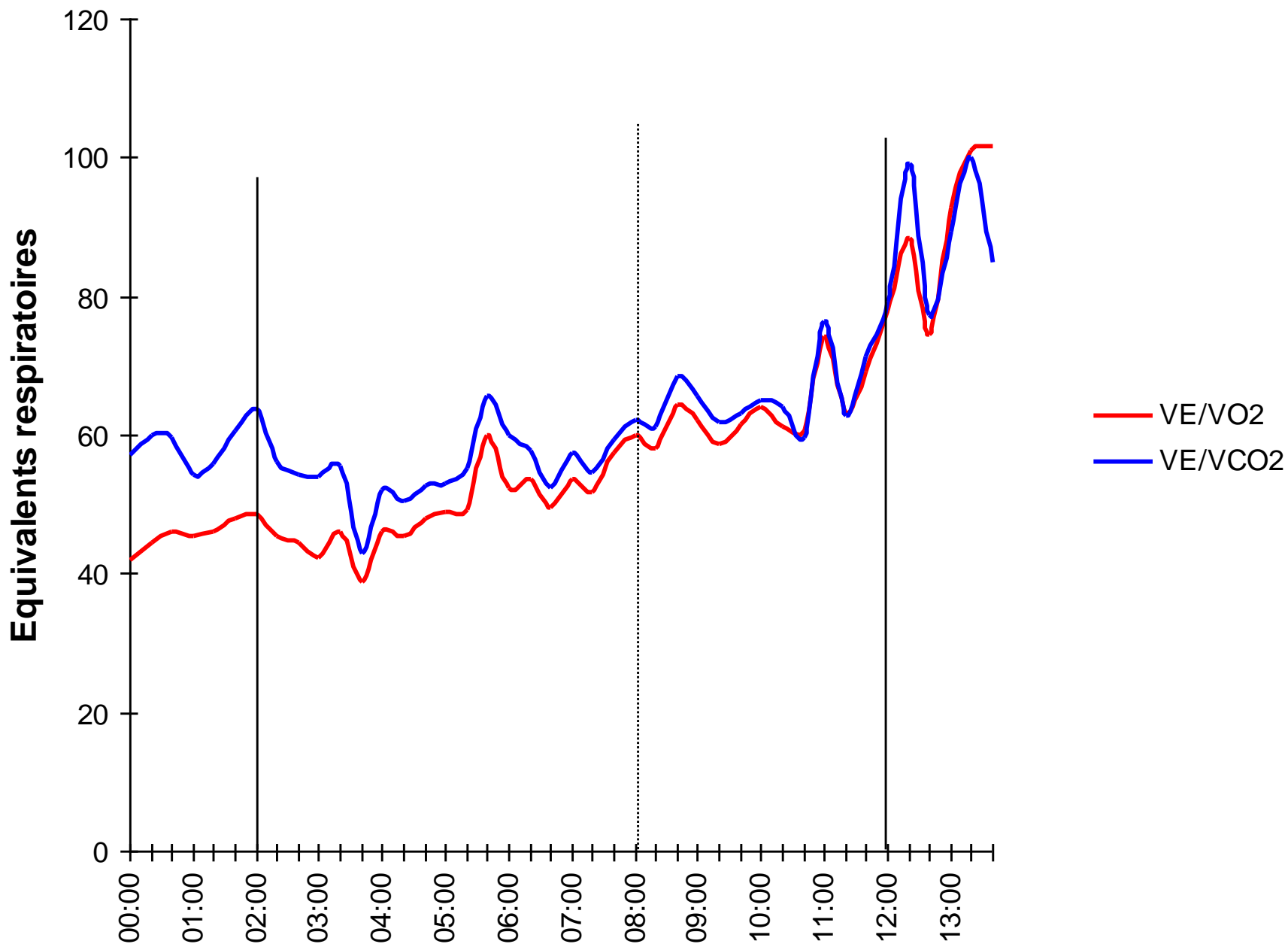
<i>Hb</i>	mg.dl ⁻¹	
-----------	---------------------	--

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 ⁻¹	0	0,49		0,82	2,85
<i>VO₂</i>	ml.min ⁻¹	221	478		703	1396
<i>VO₂</i>	ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹	3,62	7,84		11,52	22,89
<i>QR</i>		0,73			1,01	> 1,1
<i>Lactatémie</i>	mmol.l ⁻¹	1,23			5,52	
<i>Réponse Ventilatoire</i>						
<i>VE</i>	L.min ⁻¹	9,3	26,2		49	50-56
<i>Vt</i>	ml	413	618		1020	
<i>FR</i>	Cycle.min ⁻¹	23	44		48	
<i>VE/VO₂</i>			54		69	
<i>VE/VCO₂</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 ⁻¹	78	101		118	164
<i>VES</i>	ml					
<i>Qc</i>	Fick/Imp/N ₂ O					
<i>D(a-v)O₂</i>	ml.100ml ⁻¹					
<i>VO₂/FC</i>	ml.batt ⁻¹	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>VO₂/Puissance</i>			8,57		9,64	10,3
<i>Pente</i>						
<i>Gaz du sang</i>						
<i>SaO₂ Transcutanée</i>	%	98			91	
<i>PaO₂</i>	mmHg	81,6			69,1	
<i>PaCO₂</i>	mmHg	39			39,5	
<i>SaO₂ 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 ⁻¹	0	0,49		0,82	2,85
<i>VO₂</i>	ml.min ⁻¹	221	478		703	1396
<i>VO₂</i>	ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹	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/VO₂</i>			54		69	
<i>VE/VCO₂</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

- 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 ⁻¹	0	0,49		0,82	2,85
<i>VO₂</i>	ml.min ⁻¹	221	478		703	1396
<i>VO₂</i>	ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹	3,62	7,84		11,52	22,89

VO₂max or symptom limited exercise test (Peak VO₂)

Criteria for functional capacity limitation

Peak VO₂ < 80% of the theoretical value for sedentary healthy subject

Symptom limited exercise test

Peak VO₂ / Theoretical VO₂ = 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/VO₂</i>			54	69	
<i>VE/VCO₂</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 ⁻¹	78	101		118	164
<i>VES</i>	ml					
<i>Qc</i>	<i>Fick/Imp/N₂O</i> l.min ⁻¹					
<i>D(a-v)O₂</i>	ml.100ml ⁻¹					
<i>VO₂/FC</i>	ml.batt ⁻¹	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

VO₂/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 ⁻¹	0	0,49	0,82	2,85
<i>VO₂</i>	ml.min ⁻¹	221	478	703	1396
<i>VO₂</i>	ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹	3,62	7,84	11,52	22,89
<i>QR</i>		0,73		1,01	> 1,1
<i>Lactémie</i>	mmol.l ⁻¹	1,23		5,52	

Power/weight < 1 – 1.5 W·kg⁻¹

50/61=0.8

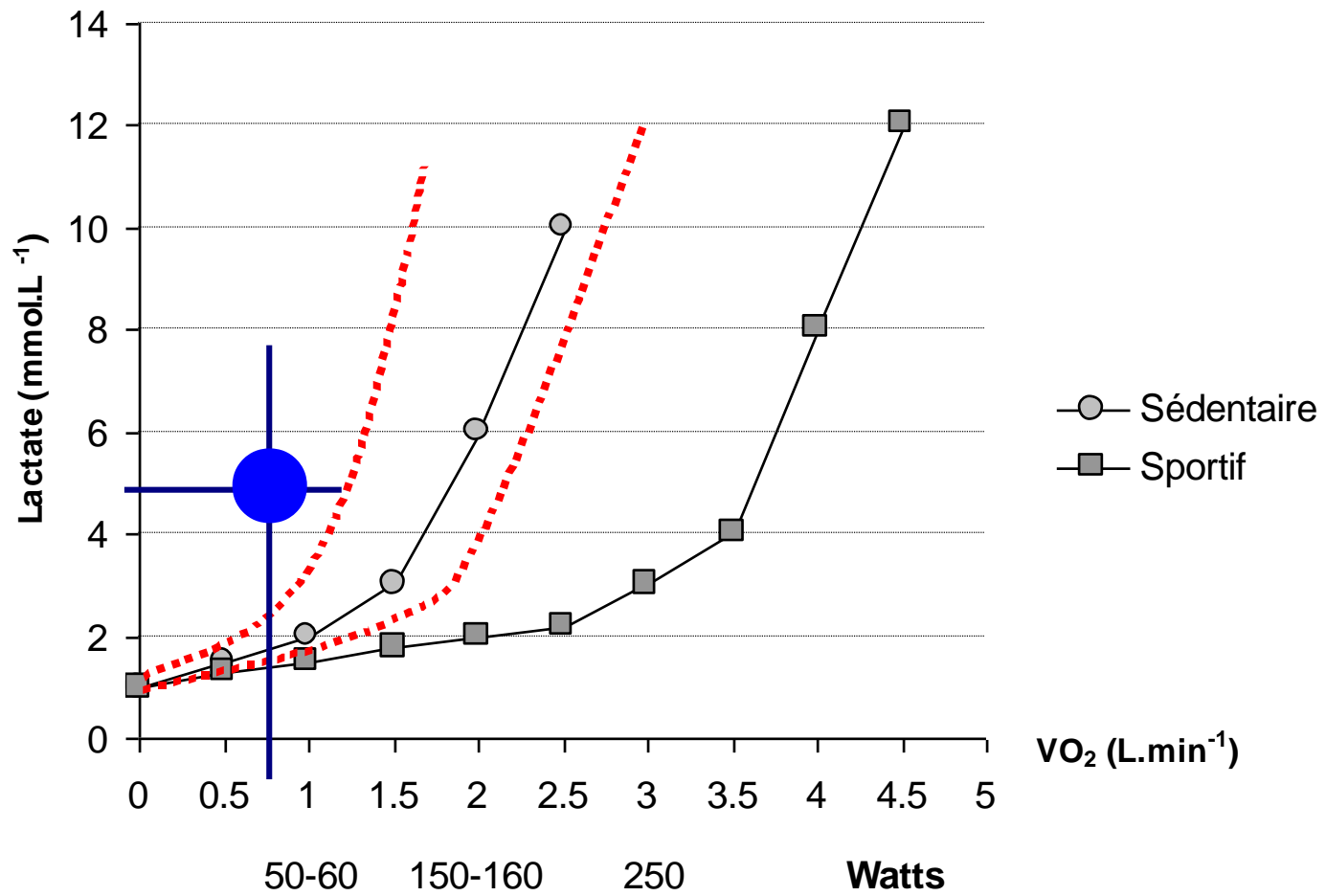
VO₂(LT) < 40% of theoretical VO₂max

478/1396=0.34 (34%)

Abnormal [Lac] / power relationship

YES

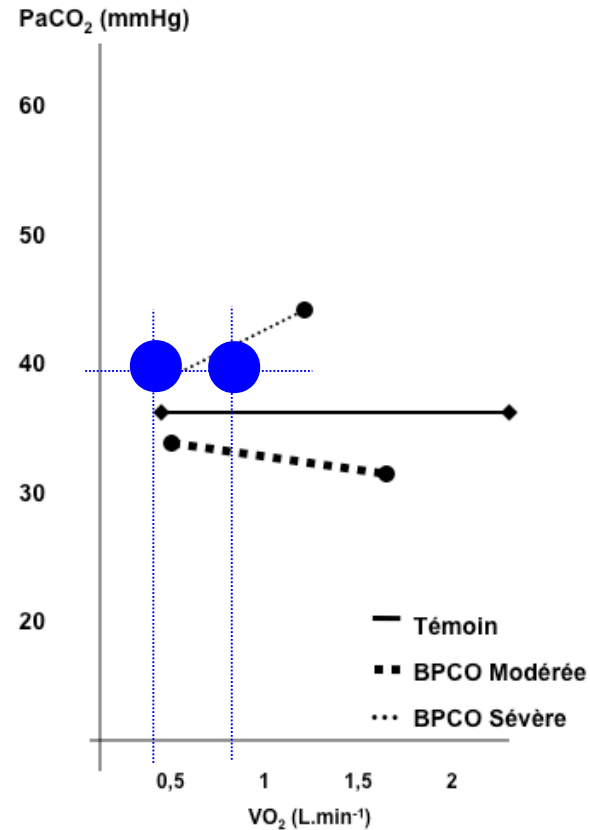
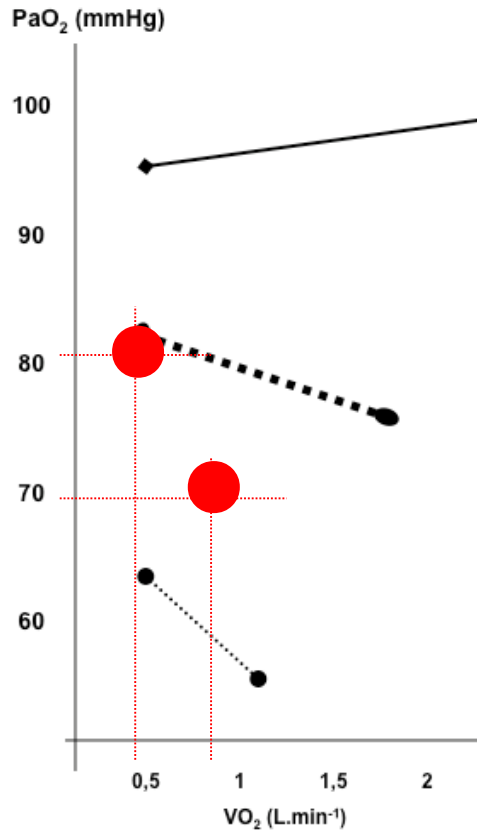
Muscle adaptation to exercise



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-aO₂ gradients

PLAN

4^{ème} 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

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

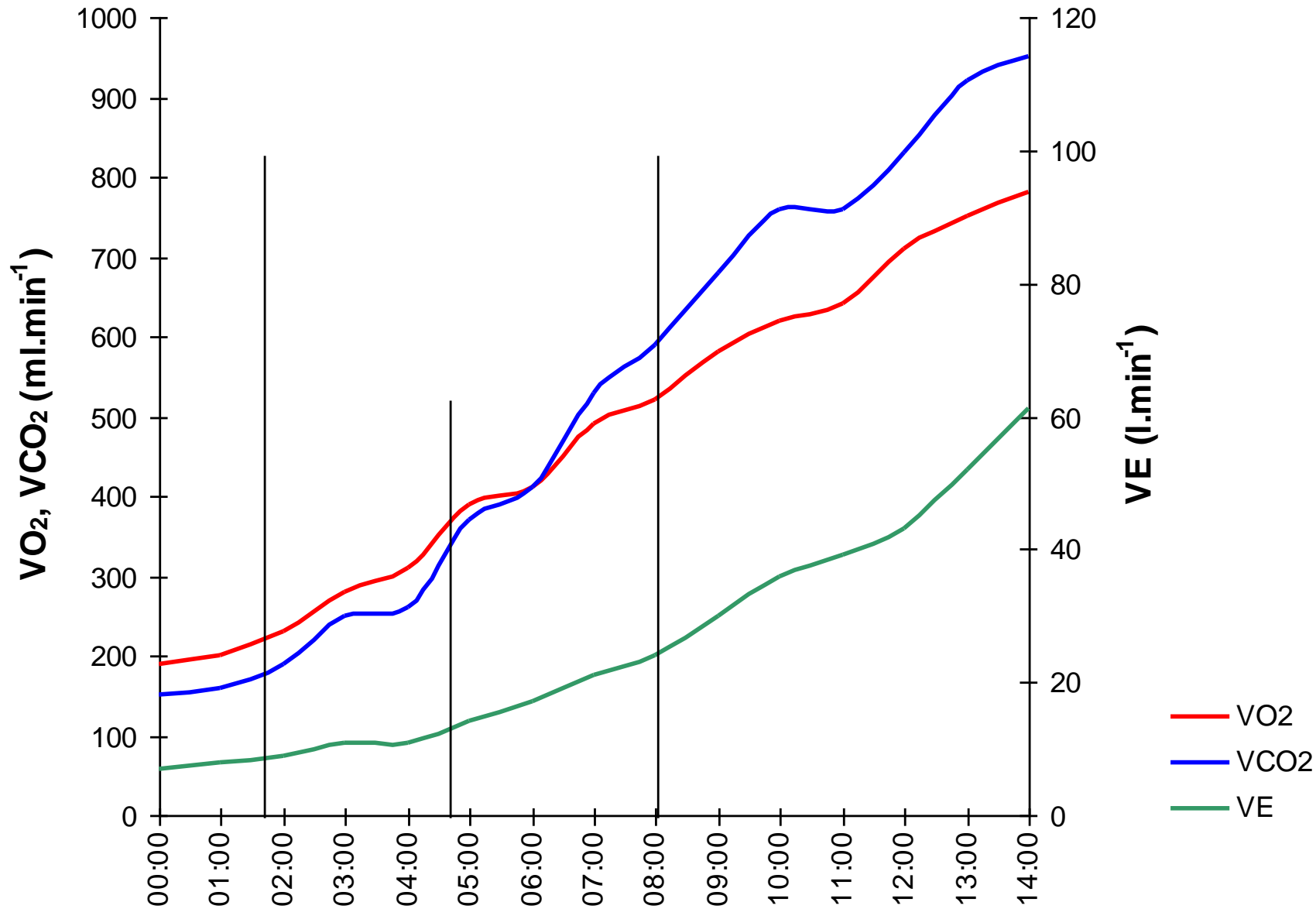
		Mesurée	Théorique
CV	ml	4210	3780
VEMS	ml	3040	3240
VEMS/CV	%	72	83
VMM	l.min ⁻¹	114	

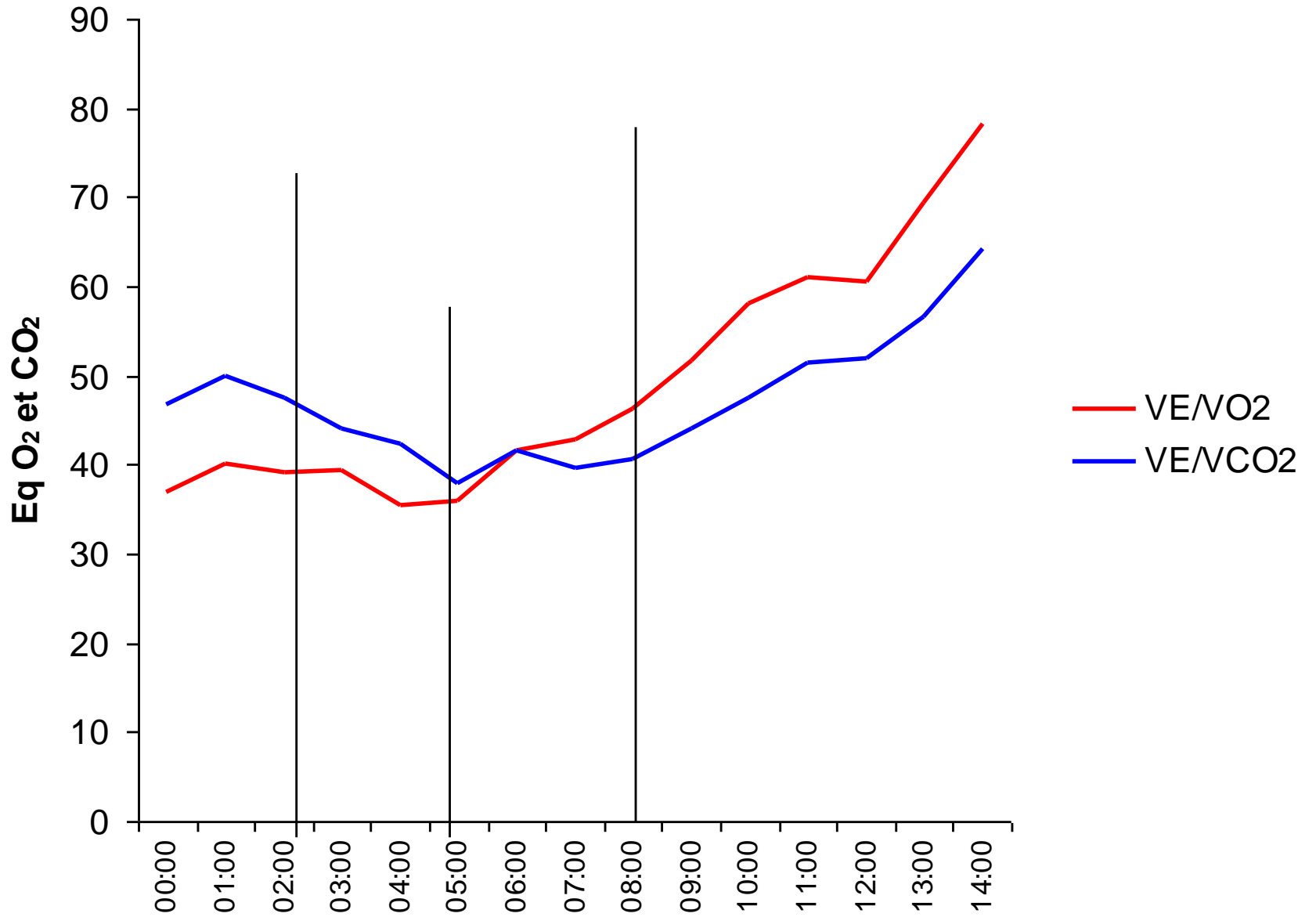
Hb	mg.dl ⁻¹	
-----------	---------------------	--

21/03/2005

Echauffement	10 W / 2 min
Incrément	10 W / 2 min

		Repos	Seuil 1	Seuil 2	Max Observé	Max Théorique
Borg						
Dyspnée						
Fatigue						
Réponse Métabolique						
Puissance	Watt	0	30		70	141
Puissance	Watt.kg ⁻¹	0,0	0,5		1,2	2,43
VO₂	ml.min ⁻¹	190	490		810	1750
VO₂	ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹	3,28	8,45		13,97	30,17
VCO₂	ml.min ⁻¹		480		980	
QR			0,98		1,21	> 1,1
Lactatémie	mmol.l ⁻¹	2,69	4,9		11,7	
Réponse Ventilatoire						
VE	l.min ⁻¹	8	18		60	106
Vt	ml	730	1380		2280	
FR	Cycle.min ⁻¹	11	14		18	
VE/VO₂			36		74	
VE/VCO₂			37		61	
Vd/Vt						
Réserve ventilatoire	VMM	7%			46%	> 30
Réserve ventilatoire	35xVEMS					> 30
Réponse Hémodynamique						
FC	batt.min ⁻¹	82	151		190	188
VES	ml					
Qc	Fick/Imp/N ₂ O					
D(a-v)O₂	ml.100ml ⁻¹					
VO₂/FC	ml.batt ⁻¹	2	3		4	9,31
Pression systolique	mmHg	120	140		190	< 240
Pression diastolique	mmHg	80	90		110	< 120
Rendement						
VO₂/Puissance	ml.W ⁻¹		10,00		8,86	10,3
Pente						
Gaz du sang						
SaO₂ Transcutanée	%					
PaO₂	mmHg	94			98	
PaCO₂	mmHg	39			31	
SaO₂ mesurée	%					
pH						





Is the CPET interpretable

<i>Réponse Métabolique</i>					
<i>Puissance</i>	Watt	0	30	70	141
<i>Puissance</i>	Watt.kg ⁻¹	0,0	0,5	1,2	2,43
<i>VO₂</i>	ml.min ⁻¹	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 ⁻¹	0,0	0,5		1,2	2,43
<i>VO₂</i>	ml.min ⁻¹	190	490		810	1750
<i>VO₂</i>	ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹	3,28	8,45		13,97	30,17
<i>VCO₂</i>	ml.min ⁻¹		480		980	
<i>QR</i>			0,98		1.21	> 1,1
<i>Lactatémie</i>	mmol.l ⁻¹	2,69	4,9		11,7	

Clinical criteria of maximal exercise

Criteria for healthy subjects

- VO_2 stable despite the power increase **NO**
- HRmax > 90% Theoretical maximal heart rate **YES (190/188)**
- [Lac]max > 8 mmol.l⁻¹ (pH ↓ 0.04) **YES (11.7)**
- RER > 1.1 **YES (1.21)**

Other respiratory parameters

- Respiratory reserve << 30% **NO**
- $\text{VE}/\text{VO}_2 > 35$ **$\text{VE}/\text{VO}_2 = 36$**

Functional capacity level

<i>Réponse Métabolique</i>					
<i>Puissance</i>	Watt	0	30	70	141
<i>Puissance</i>	Watt.kg ⁻¹	0,0	0,5	1,2	2,43
<i>VO₂</i>	ml.min ⁻¹	190	490	810	1750

VO₂max or symptom limited exercise test (Peak VO₂)

Criteria for functional capacity limitation

Peak VO₂ < 80% of the theoretical value for sedentary healthy subject

Symptom limited exercise test

Peak VO₂ / Theoretical VO₂ = 810/1750 = 46%

Respiratory adjustments

<i>Réponse Ventilatoire</i>						
<i>VE</i>	<i>l.min⁻¹</i>	8	18		60	106
<i>Vt</i>	<i>ml</i>	730	1380		2280	
<i>FR</i>	<i>Cycle.min⁻¹</i>	11	14		18	
<i>VE/VO₂</i>			36		74	
<i>VE/VCO₂</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

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

60

Ventilatory reserve > 15%

46%

Ventilatory reserve > 11 l·min⁻¹

54

fR < 45 / min

18

Vt ≈ 60% VC

Cardio-circulatory adjustments

<i>Réponse Hémodynamique</i>						
<i>FC</i>	batt.min ⁻¹	82	151		190	188
<i>VES</i>	ml					
<i>Qc</i>	<i>Fick/Imp/N₂O</i> l.min ⁻¹					
<i>D(a-v)O₂</i>	ml.100ml ⁻¹					
<i>VO₂/FC</i>	ml.batt ⁻¹	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

VO₂/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 ⁻¹	0,0	0,5		1,2	2,43
<i>VO₂</i>	ml.min ⁻¹	190	490		810	1750
<i>VO₂</i>	ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹	3,28	8,45		13,97	30,17
<i>VCO₂</i>	ml.min ⁻¹		480		980	
<i>QR</i>			0,98		1,21	> 1,1
<i>Lactatémie</i>	mmol.l ⁻¹	2,69	4,9		11,7	

Power/weight < 1 – 1.5 W·kg⁻¹

70/58=1.3

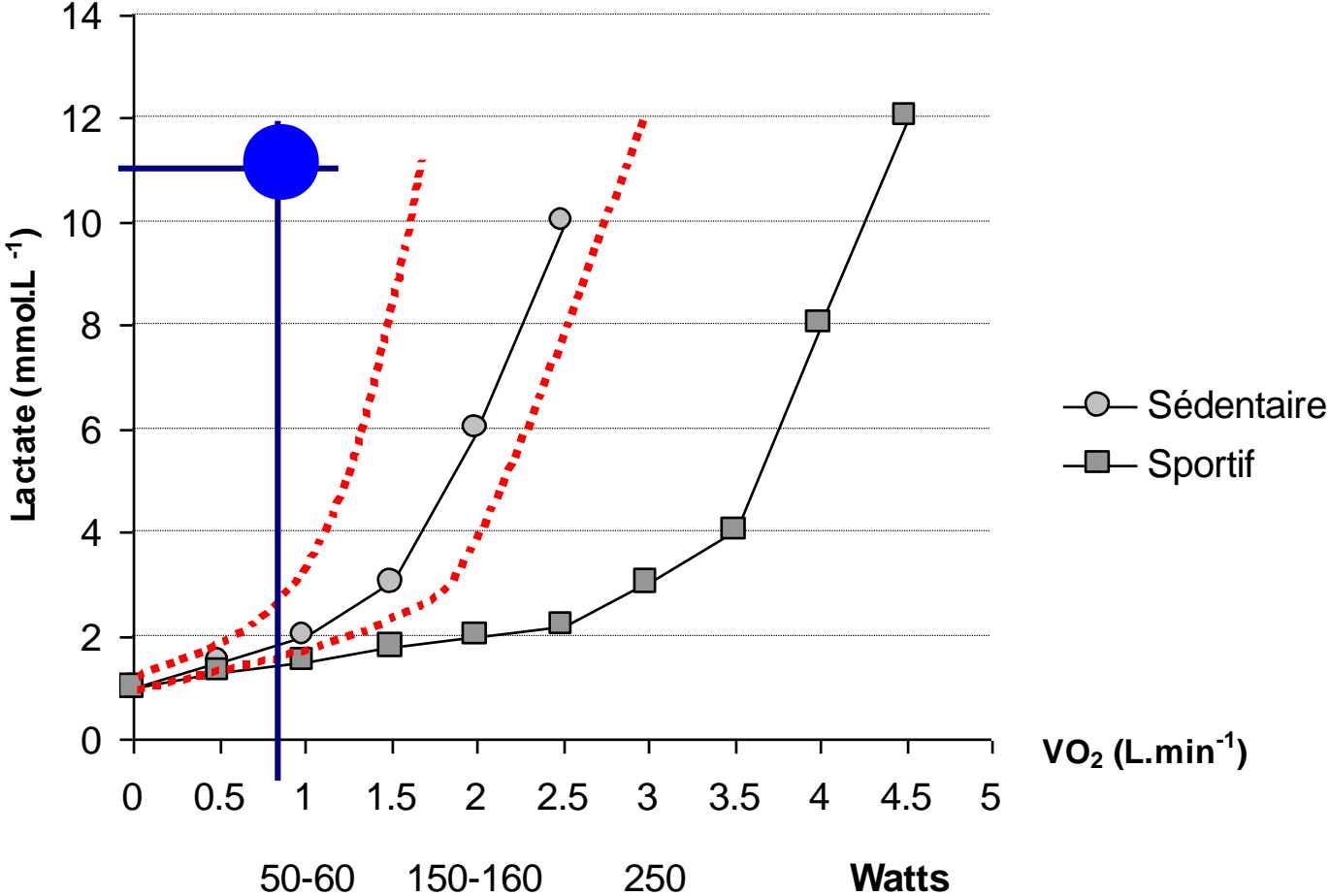
VO₂(LT) < 40% of theoretical VO₂max

490/1750=0.28 (28%)

Abnormal [Lac] / power relationship

YES

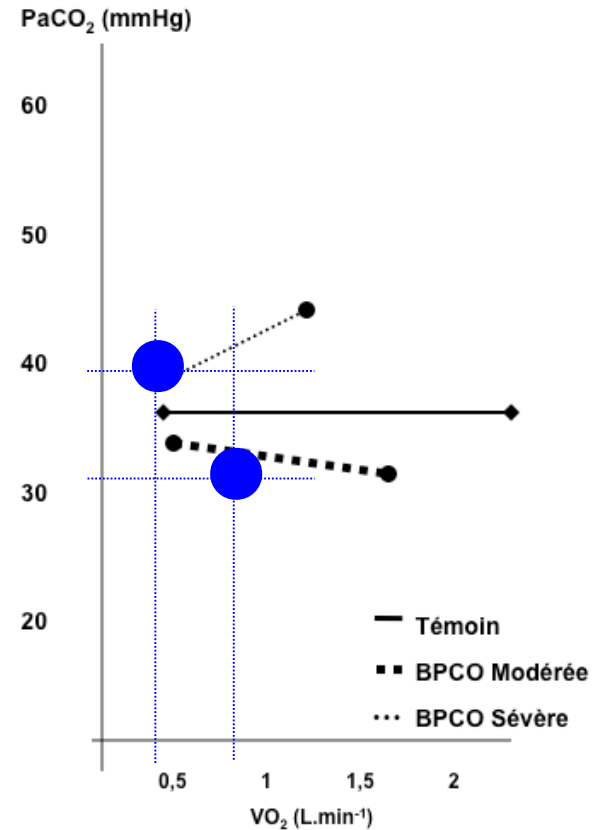
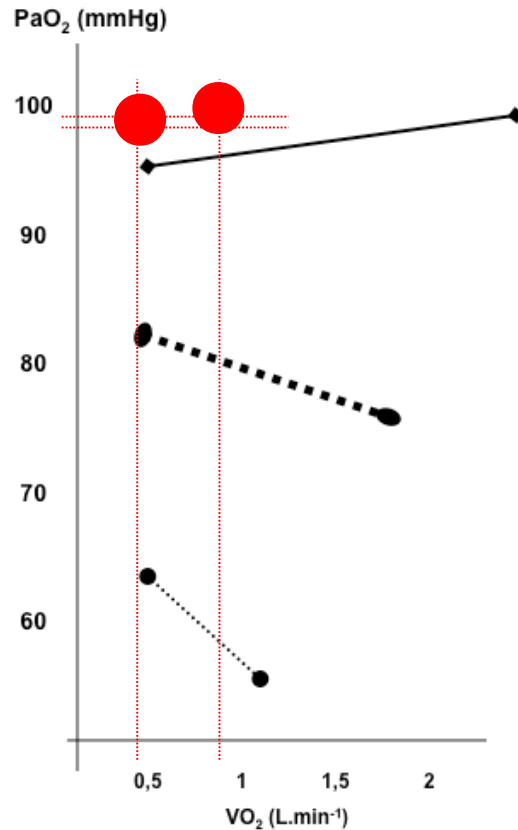
Muscle adaptation to exercise



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^{ème} 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

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

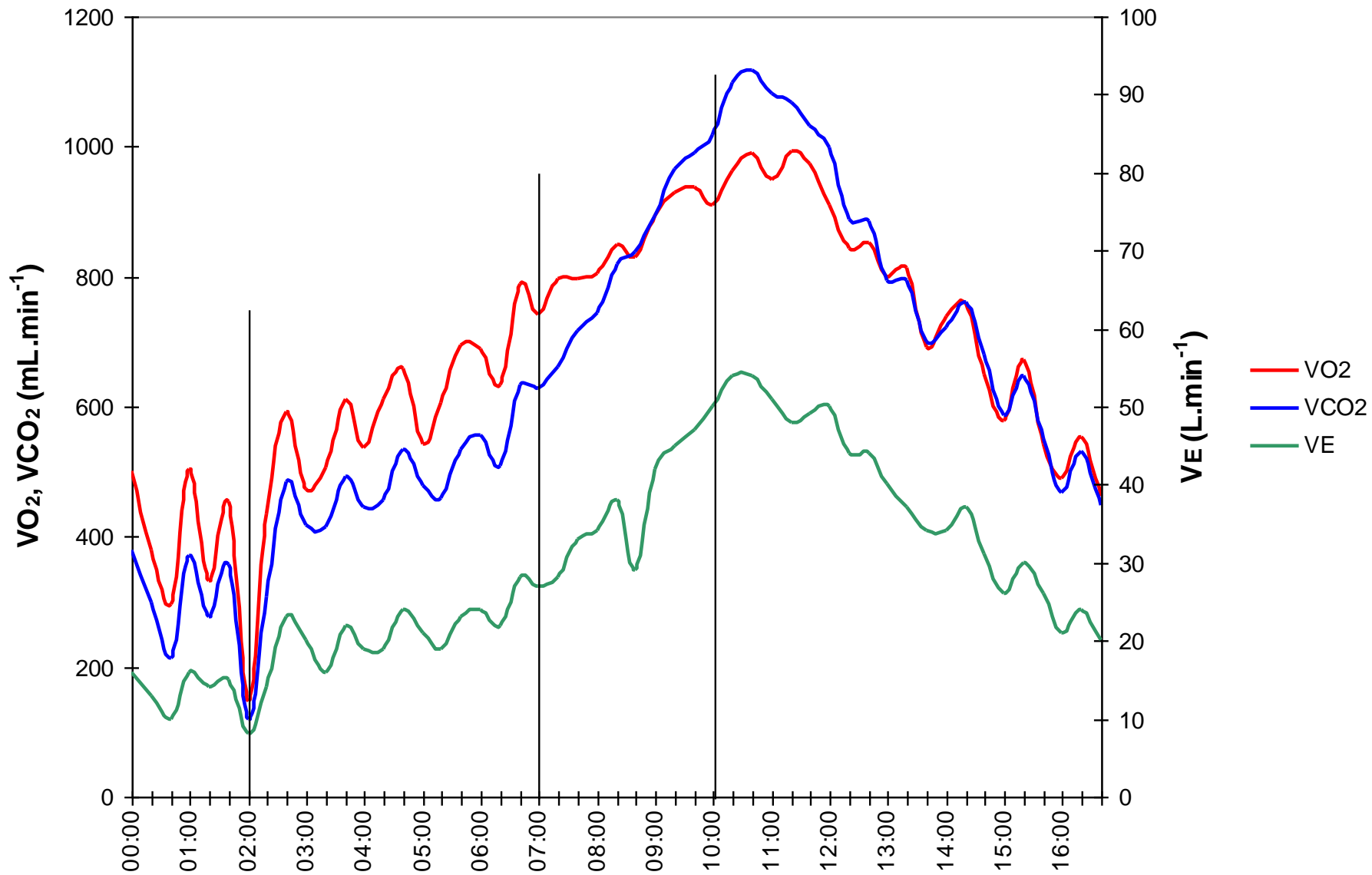
		Mesurée	Théorique
CV	ml	1440	3850
VEMS	ml	1360	3100
VEMS/CV	%	77	87
VMM	l.min ⁻¹	116	

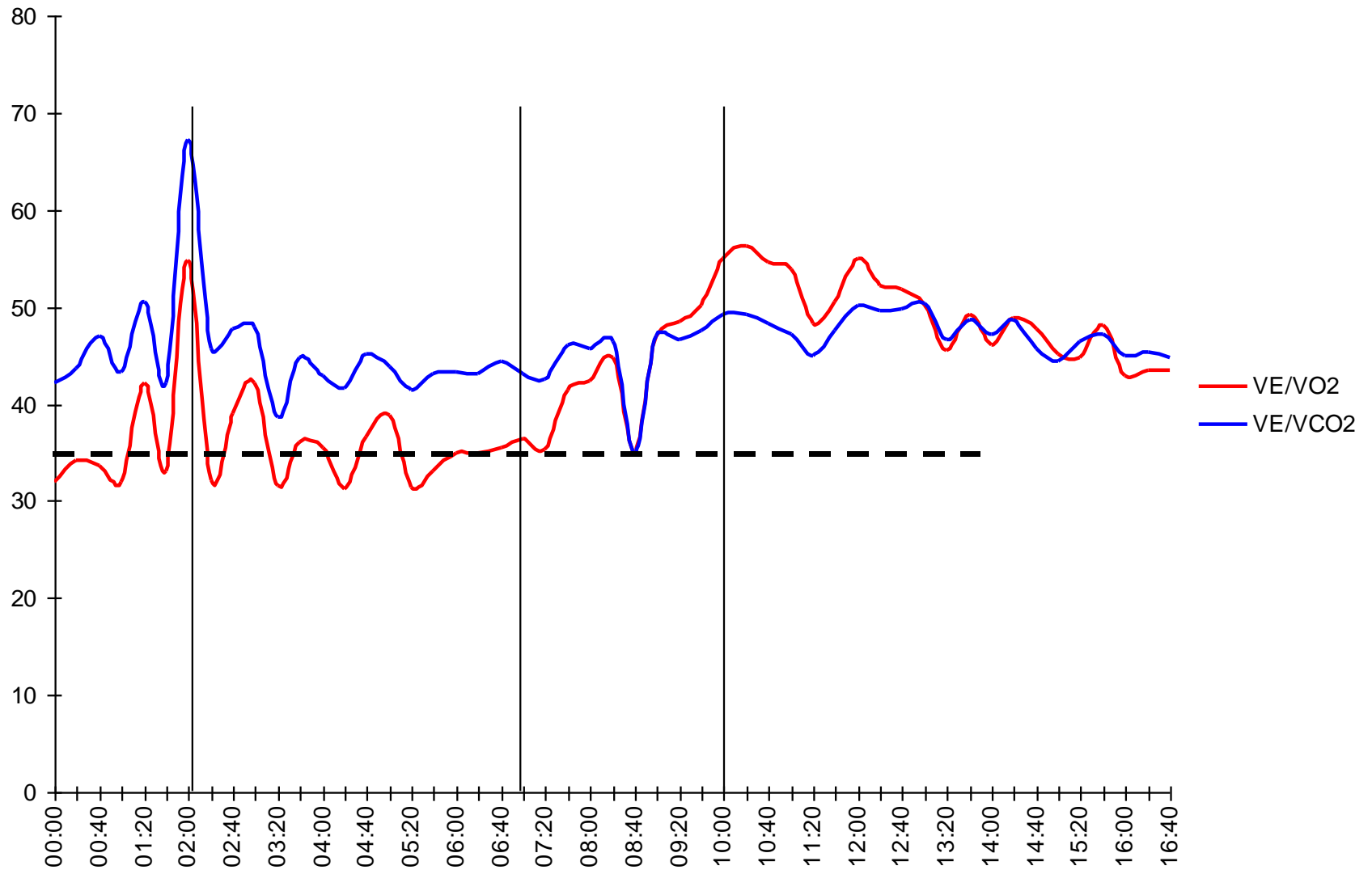
Hb	mg.dl ⁻¹	
-----------	---------------------	--

21/03/2005

Echauffement	10 W / 3 min
Incrément	10 W / 1 min

		Repos	Seuil 1	Seuil 2	Max Observé	Max Théorique
Borg						
Dyspnée						
Fatigue						
Réponse Métabolique						
Puissance	Watt		30		60	
Puissance	Watt.kg ⁻¹		0,3		0,6	174
VO₂	ml.min ⁻¹	354	796		993	2155
VO₂	ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹	3,65	8,21		10,24	22,22
VCO₂	ml.min ⁻¹	291	780		1062	
QR		0,82	0,98		1,07	> 1,1
Lactémie	mmol.l ⁻¹					
Réponse Ventilatoire						
VE	l.min ⁻¹	8	28		48	116
Vt	ml	399	1055		1188	
FR	Cycle.min ⁻¹	21	26		45	
VE/VO₂		29,2	32,7		51,3	
VE/VCO₂		38,6	40,8		46,6	
Vd/Vt						
Réserve ventilatoire	VMM	7%	24%		41%	> 30
Réserve ventilatoire	35xVEMS	17%	59%		101%	> 30
Réponse Hémodynamique						
FC	batt.min ⁻¹	97	121		143	165
VES	ml					
Qc	Fick/Imp/N ₂ O					
D(a-v)O₂	ml.100ml ⁻¹					
VO₂/FC	ml.batt ⁻¹	4	7		7	13
Pression systolique	mmHg	105	110		130	< 240
Pression diastolique	mmHg	60	70		80	< 120
Rendement						
VO₂/Puissance	ml.W ⁻¹		14,73		10,65	10,3
Pente						
Gaz du sang						
SaO₂ Transcutanée	%	97			96	
PaO₂	mmHg	87,8			97,9	
PaCO₂	mmHg	33,8			31,9	
SaO₂ mesurée	%	95,6			95,5	
pH		7,47			7,43	





Is the CPET interpretable

Réponse Métabolique

Puissance	Watt		30		60	
Puissance	Watt.kg ⁻¹		0,3		0,6	174
VO₂	ml.min ⁻¹	354	796		993	2155
VO₂	ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹	3,65	8,21		10,24	22,22

Theoretical VO₂ = (10-11) × Power (Watts) + Basal VO₂ for incr. exercise

ΔVO₂ / Δ Watts ≈ 10,3 during ramp exercise test

Theoretical VO₂ = (10 × 30) + 354 = 654 (796)

Theoretical VO₂ = (10 × 60) + 354 = 954 (993) ← Normal

Theoretical VO₂ = (10 × 30) + (3.5 × 97) = 639 (796)

ΔVO₂ / 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 ⁻¹		0,3		0,6	174
<i>VO₂</i>	ml.min ⁻¹	354	796		993	2155
<i>VO₂</i>	ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹	3,65	8,21		10,24	22,22
<i>VCO₂</i>	ml.min ⁻¹	291	780		1062	
<i>QR</i>		0,82	0,98		1,07	> 1,1
<i>Lactatémie</i>	mmol.l ⁻¹					
<i>Réponse Hémodynamique</i>						
<i>FC</i>	batt.min ⁻¹	97	121		143	165

Clinical criteria of maximal exercise

Criteria for healthy subjects

- VO₂ stable despite the power increase **NO**
- HRmax > 90% Theoretical maximal heart rate **NO (143/165)**
- [Lac]max > 8 mmol.l⁻¹ (pH ↓ 0.04) **?**
- RER > 1.1 **NO (1.07)**

Other respiratory parameters

- Respiratory reserve << 30% **NO**
- VE/VO₂ > 35 **VE/VO₂ = 33 - 51**

Functional capacity level

<i>Réponse Métabolique</i>						
<i>Puissance</i>	Watt		30		60	
<i>Puissance</i>	Watt.kg ⁻¹		0,3		0,6	174
<i>VO₂</i>	ml.min ⁻¹	354	796		993	2155
<i>VO₂</i>	ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹	3,65	8,21		10,24	22,22

VO₂max or symptom limited exercise test (Peak VO₂)

Criteria for functional capacity limitation

Peak VO₂ < 80% of the theoretical value for sedentary healthy subject

Symptom limited exercise test ← YES

Peak VO₂ / Theoretical VO₂ = 993/2155 = 46%

Peak VO₂ = 10.24 ml.kg⁻¹.min⁻¹

Respiratory adjustments

<i>Réponse Ventilatoire</i>						
<i>VE</i>	<i>l.min⁻¹</i>	8	28		48	116
<i>Vt</i>	<i>ml</i>	399	1055		1188	
<i>FR</i>	<i>Cycle.min⁻¹</i>	21	26		45	
<i>VE/VO₂</i>		29,2	32,7		51,3	
<i>VE/VCO₂</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⁻¹

68

fR < 45 / min

45

Vt ≈ 60% VC

Cardio-circulatory adjustments

<i>Réponse Hémodynamique</i>						
<i>FC</i>	batt.min ⁻¹	97	121		143	165
<i>VES</i>	ml					
<i>Qc</i>	<i>Fick/Imp/N₂O</i>	l.min ⁻¹				
<i>D(a-v)O₂</i>	ml.100ml ⁻¹					
<i>VO₂/FC</i>	ml.batt ⁻¹	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

VO₂/HR Theor = 13

7

Muscle adaptation to exercise

Réponse Métabolique

Puissance	Watt		30		60	
Puissance	Watt.kg ⁻¹		0,3		0,6	174
VO₂	ml.min ⁻¹	354	796		993	2155
VO₂	ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹	3,65	8,21		10,24	22,22
VCO₂	ml.min ⁻¹	291	780		1062	
QR		0,82	0,98		1,07	> 1,1

Power/weight < 1 – 1.5 W·kg⁻¹

$$60/97=0.61$$

VO₂(LT) < 40% of theoretical VO₂max

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

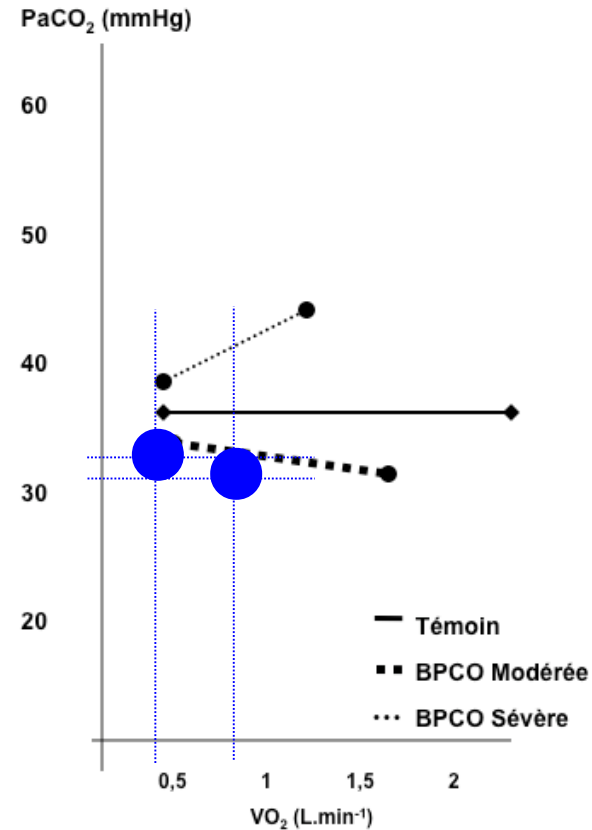
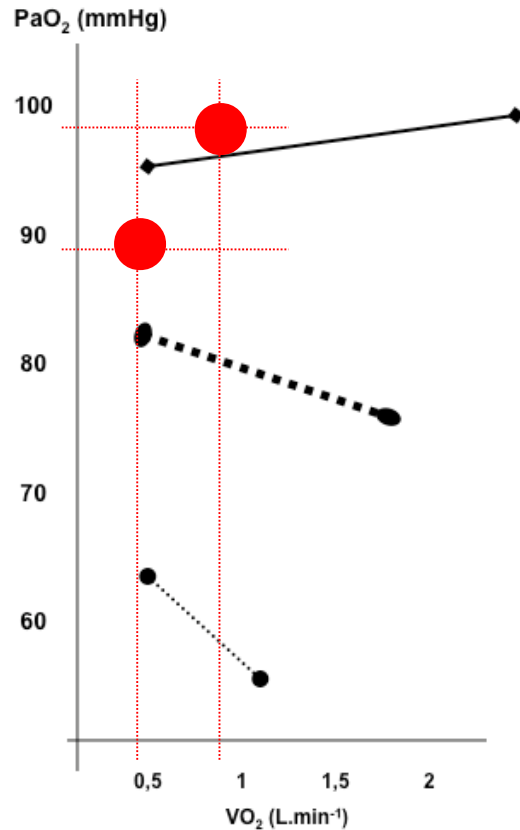
Abnormal [Lac] / power relationship

?

Gaz exchanges

Gaz du sang

<i>SaO₂ Transcutanée</i>	%	97			96	
<i>PaO₂</i>	mmHg	87,8			97,9	
<i>PaCO₂</i>	mmHg	33,8			31,9	
<i>SaO₂ 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 VO_2 - VCO_2 - VE / Power relationships
 - 2) O_2 pulse very low, no elevation of the BP
 - 3) Criteria of severity:
 - Cyclique respiration before $V_{\text{threshold}}$
 - Peak $\text{VO}_2 = 10.29 < 14 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$
 - 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

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