



EFx : de la réalisation à l'interprétation

RUDDY RICHARD

ruddy.richard@uca.fr

r-richard@chu-clermontferrand.fr



FARES GOUZI

f-gouzi@chu-montpellier.fr



CONFLITS D'INTERET POUR CETTE PRÉSENTATION

PAS DE CONFLITS D'INTERET EN LIEN AVEC LA PRESENTATION



Plan

Présentation générale

Environnement de l'EFx

Réalisation pratique de l'EFx

Que faire avant le test

Les protocoles

Réponses adaptatives

Cinétique des ajustements

Détermination des seuils

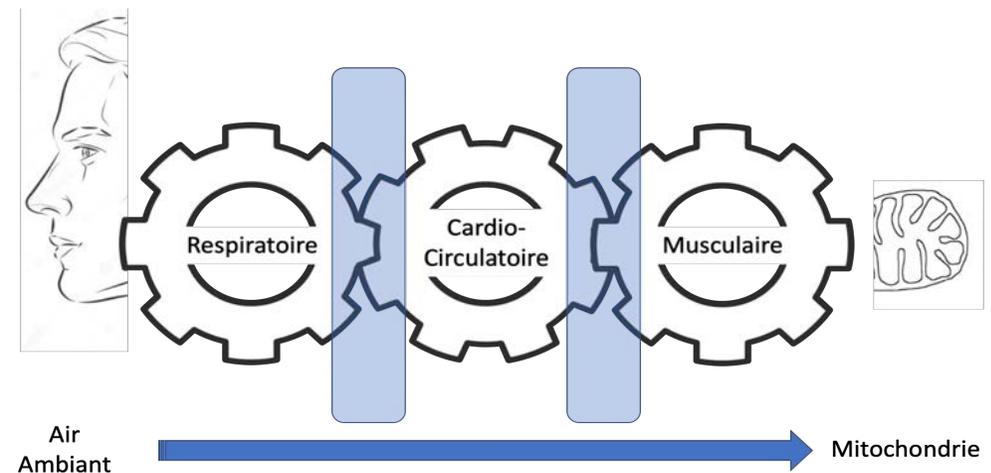
Analyse et interprétation

Présentation Générale

Épreuve d'effort : approche intégrée des adaptations à l'exercice

Évaluer les capacités d'adaptations et d'ajustements des trois grandes composantes du transport et de l'utilisation de l'oxygène en situation de stress physiologique :

- Composante respiratoire
- Composante cardio-circulatoire
- Composante musculaire



Présentation Générale

EFx : Épreuve standardisée de stress physiologique afin d'évaluer les capacités adaptatives du patient

Référence :

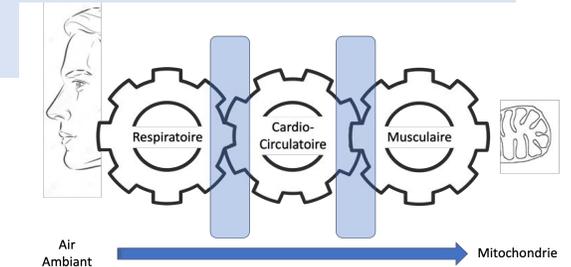
Épreuve réalisée sur ergocycle,
Incrément de puissance régulier,
Rampe continue ou par paliers de 1 min.



Présentation Générale

Paramètres de suivi des adaptations

Métaboliques

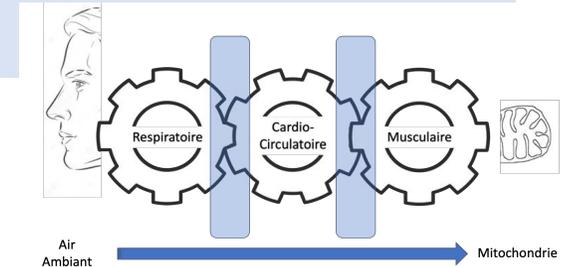


Symbole	Paramètre	Unités
$V'O_2$ VO_2	Débit de consommation d'oxygène Consommation d'oxygène	$mL \cdot min^{-1}$; $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$; MET
VCO_2	Production de dioxyde de carbone	$mL \cdot min^{-1}$
QR	Quotient respiratoire : VCO_2/VO_2	

Présentation Générale

Paramètres de suivi des adaptations

Ventilatoires

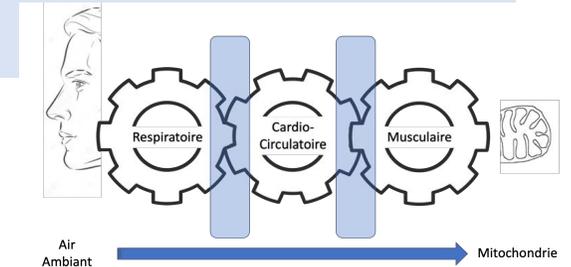


Symbole	Paramètre	Unités
V_E	Ventilation	$L \cdot \text{min}^{-1}$
V_t	Volume courant	L
F_r	Fréquence respiratoire	$\text{cycl} \cdot \text{min}^{-1}$
$P_{E\text{O}_2}$	Pression partielle alvéolaire de fin d'expiration en O_2	mmHg
V_D	Volume de l'espace mort	L

Présentation Générale

Paramètres de suivi des adaptations

Cardio-circulatoires

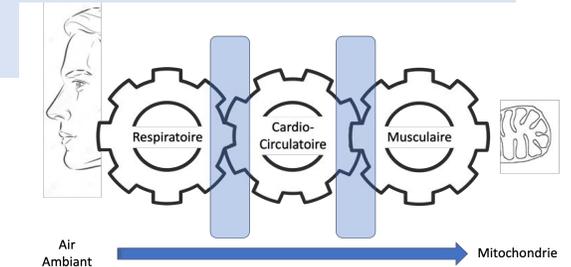


Symbole	Paramètre	Unités
ECG	Électrocardiogramme	
Fc	Fréquence cardiaque	bat·min ⁻¹
VES	Volume d'éjection systolique	mL
Qc	Débit cardiaque	L·min ⁻¹
PAS	Pression artérielle systolique	mmHg
PAD	Pression artérielle diastolique	mmHg

Présentation Générale

Paramètres de suivi des adaptations

Biologiques

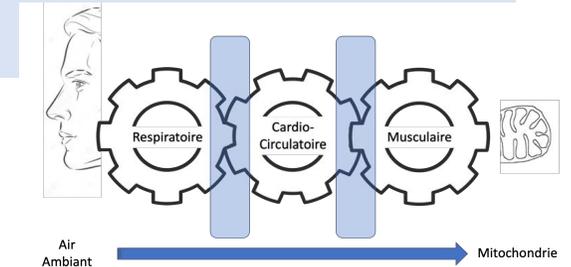


Symbole	Paramètre	Unités
Lac	Lactatémie	mmol·L ⁻¹
Pyr	Pyruvicémie	
AMO	Amoniémie	

Présentation Générale

Paramètres de suivi des adaptations

Gaz du sang



Symbole	Paramètre	Unités
PaO ₂	Pression partielle artérielle en O ₂	mmHg
PaCO ₂	Pression partielle artérielle en CO ₂	mmHg
pH	pH	
SaO ₂	Saturation du sang artériel en O ₂	%

ENVIRONNEMENT de l'EFx

Environnement technologique

EFx

Ergomètre

Ergocycle

Tapis roulant

Ergospiromètre

ECG 12 dérivations moyennées

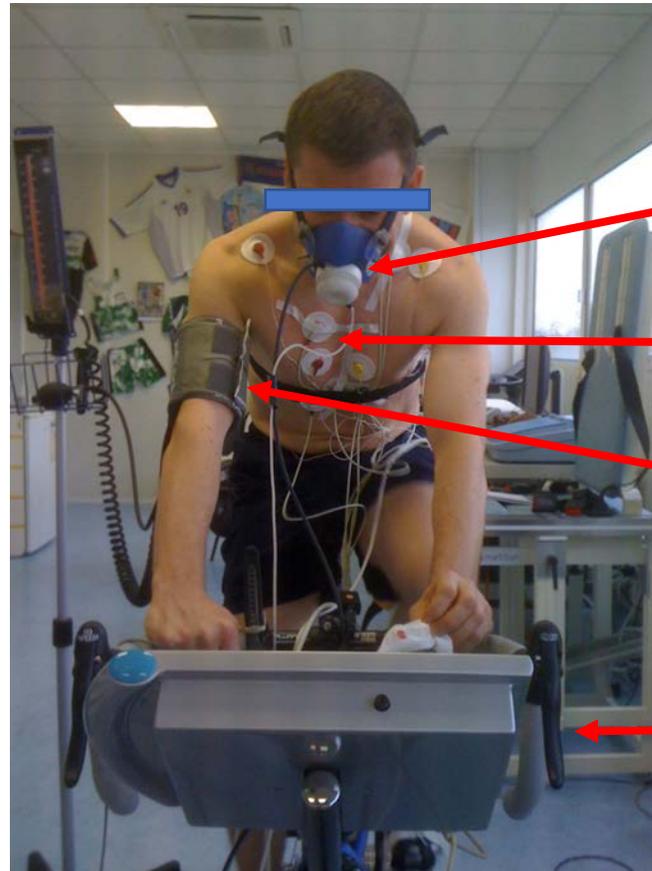
Tensiomètre

Saturomètre

Analyseur des gaz du sang

Appareil de mesure du Qc

Chariot d'urgence



Ergospiromètre

ECG

Tensiomètre

Ergocycle

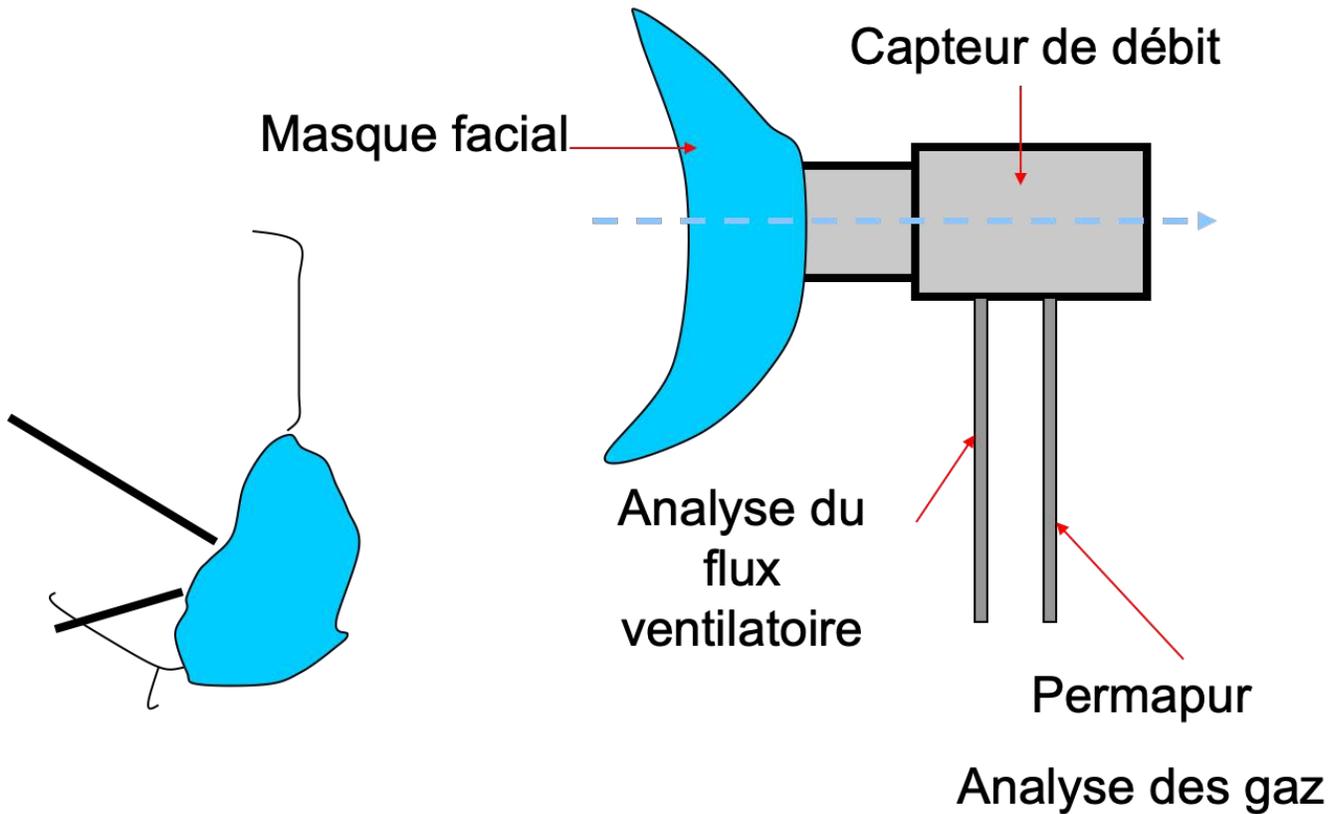
Environnement technologique

Ergospiromètre



Environnement technologique

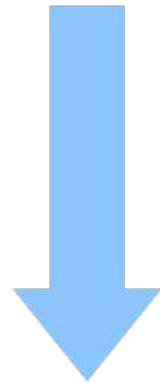
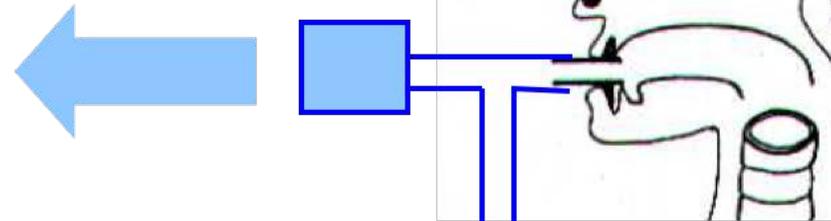
Ergospiromètre



Environnement technologique

Ergospiromètre

① Débit ventilatoire



Déterminer VO_2 et VCO_2

Prélèvements itératifs
[O₂] et [CO₂]

②

Environnement technologique

Ergospiromètre

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)*

RÉALISATION PRATIQUE EFX

Que faut-il faire avant une épreuve d'effort

À faire avant de débiter une Efx

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 (si nécessaire) : température, degré hygrométrique, pression barométrique
- 3) Calibrer les gaz et les débits (passé les 30 minutes de mise en marche)

Entre les tests

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

Après les tests

- 1) Fermer les bouteilles de gaz ...

Que faut-il faire pendant une épreuve d'effort

Les points à contrôler

Au repos, avant de débiter

1) Le VO_2 de repos est-il juste ?

1 MET = 3,5 mL/kg/min, **sur l'ergomètre VO_2 repos entre 1 et 1,5 METs**

VO_2 repos compris entre 3,5 et 5 mL/kg/min

2) Le QR est-il acceptable ?

$QR = VCO_2 / VO_2$, **le QR de repos doit se situer entre 0,75 et 0,90**

QR mixte de référence = 0,85

A jeun fin de matinée QR < 0,8

Post prandial QR < 0,9-0,95

3) La ventilation est-elle acceptable ?

VE repos < 10-15 L/min, FR < 15 cycles/min

Que faut-il faire si ces critères ne sont pas obtenus ?

Que faut-il faire pendant une épreuve d'effort

Les points à contrôler

Pendant l'épreuve d'effort

1) 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).

$\Delta VO_2 / \Delta \text{Watts} \simeq 10,3 \pm 1,5$ lors d'un exercice en rampe

VO_2 basale $\simeq (3,5-5) \times \text{poids (kg)}$

Que faut-il faire pendant une épreuve d'effort

Les points à contrôler

Pendant l'épreuve d'effort

1) Le VE mesuré est-il juste ?

$$VE \simeq (22 \times VO_2 (\text{L}\cdot\text{min}^{-1})) + 5$$

A 100 watts, $VO_2 \simeq 1,5 \text{ L/min}$

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

Je dois mesurer entre 35 et 45 L/min

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

Que faut-il faire pendant une épreuve d'effort

Que faut-il faire si les paramètres mesurés sont faux

- Ne pas débiter le test
- Calmer le sujet
- Vérifier l'étanchéité du masque
- Faire une nouvelle calibration
- Changer le perméapure
- Vérifier les FiO_2 et FeO_2
- A l'effort dissocier les causes liées à l'ergomètre de celles liées à l'ergospiromètre.
- Appeler le BIOMED, le SAV

Environnement technologique

Autres ergomètres

- Ergocycle à bras
- Rameur

Puissance simple à mesurer (Watts)

- Tapis roulant

Pas de calcul précis de la puissance

- À plat $\simeq 1 \text{ MET}/(\text{km}/\text{h})$
- Avec de la pente : $W = m \times g \times h$
- Protocoles spécifiques (BRUCE, NAUGHTON)



Environnement technologique

Autres ergomètres, équivalence tapis roulant

CLASSE FONCTIONNELLE	STATUT CLINIQUE	COÛT O ₂ ml/kg/min	METS	CYCLOERGOMÈTRE	PROTOCOLE SUR VÉLO DE COURSE				METS	
					BRUCE MODIFIÉ 3 min		BRUCE 3 min			NAUGHTON
					Étapes mph	% GR	Étapes mph	% GR		
Normal et I	Sain, dépendant de l'âge, activité			1 watt = 6,1 kg/m/min pour un poids de corps de 70 kg kg/m/min	6,0 22		6,0 22			
					5,5 20		5,5 20			
					5,0 18		5,0 18			
					II	Sédentaire sain				
III	Limité			1200	3,4 14		3,4 14			
IV	Symptomatique			1050						
III	Symptomatique			900						
III	Symptomatique			750	2,5 12		2,5 12			
III	Symptomatique			600						
III	Symptomatique			450	1,7 10		1,7 10			
III	Symptomatique			300	1,7 5		2 3,5			
III	Symptomatique			150	1,7 0		2 0			
III	Symptomatique									

>>> Tableau 1 - Comparaison du coût énergétique (en METS et en VO₂) pour différents protocoles d'exercice sur tapis roulant et vélo (23).
mph = mille par heure ; GR = grade



François CARRE
CARDIO SPORT n°45

Erreur sur la mesure de $\dot{V}O_2$

Quand la suspecter

Lorsque le $\dot{V}O_2$ mesuré est :

100 W, $\dot{V}O_2$ repos de 250, $(12 \times 100 + 250) - (14 \times 100 + 250)$

100 W, 1450-1650 ml, ATTENTION si $\dot{V}O_2 < 1300$ ou > 1800

Origine

- | | | |
|------------------------------------|---|-----------------|
| - Ergomètre | → | Faire étalonner |
| - Ergospiromètre | → | Calibrer |
| - Les deux (dans les deux sens...) | | Homme étalon... |

Erreur sur la mesure de VO_2



Etalonnage dynamique



Etalonnage Statique
Poids Etalons

Le protocole d'exercice

Épreuve de référence, épreuve en rampe

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

Le protocole d'exercice

Épreuve de référence, épreuve en rampe

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 théoriques

→ □ Estimation du degré 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

Le protocole d'exercice

Exemples

Sujet de 52 ans (DN 01/01/1970), masculin, Poids 83 kg, Taille 1,72 m

VEMS/VEMSthéorique – 100%

APS – 100%

200W, 40W échauffement, 15W par paliers

VEMS/VEMSthéorique – 80%

APS – 100%

160W, 30W échauffement, 10W par paliers

VEMS/VEMSthéorique – 100%

APS – 80%

160W, 30W échauffement, 10W par paliers

Le protocole d'exercice

Autres types d'épreuves

Épreuves pas paliers > 2 minutes

Épreuve à puissance constante

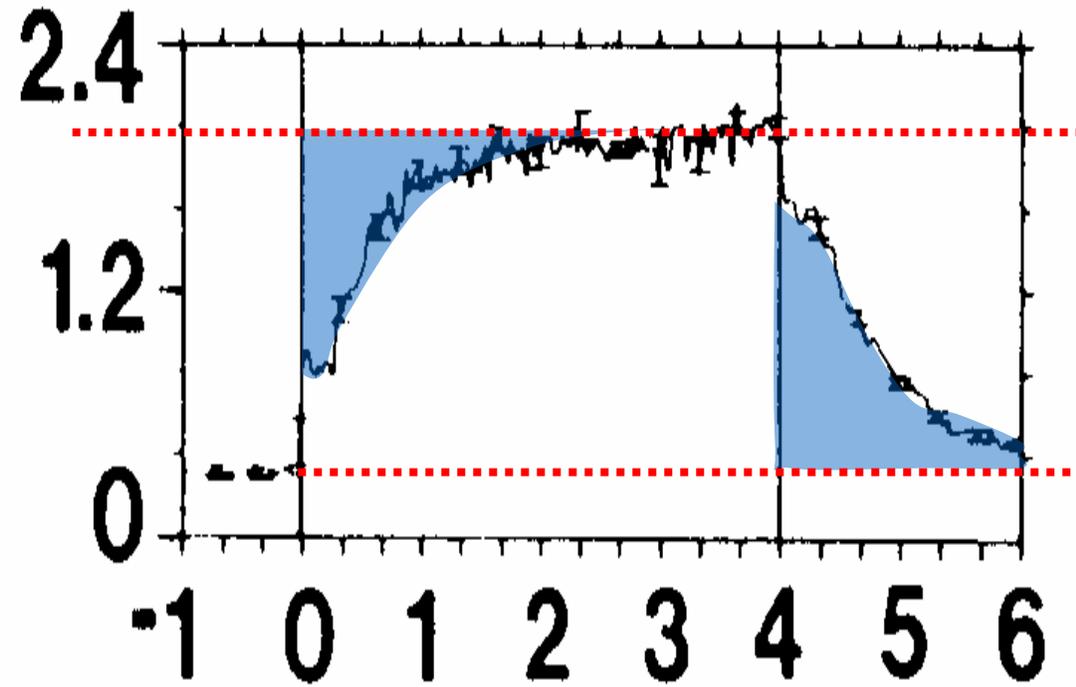
Épreuve de type crossover

Le protocole d'exercice

Autres types d'épreuves

Épreuve à puissance constante

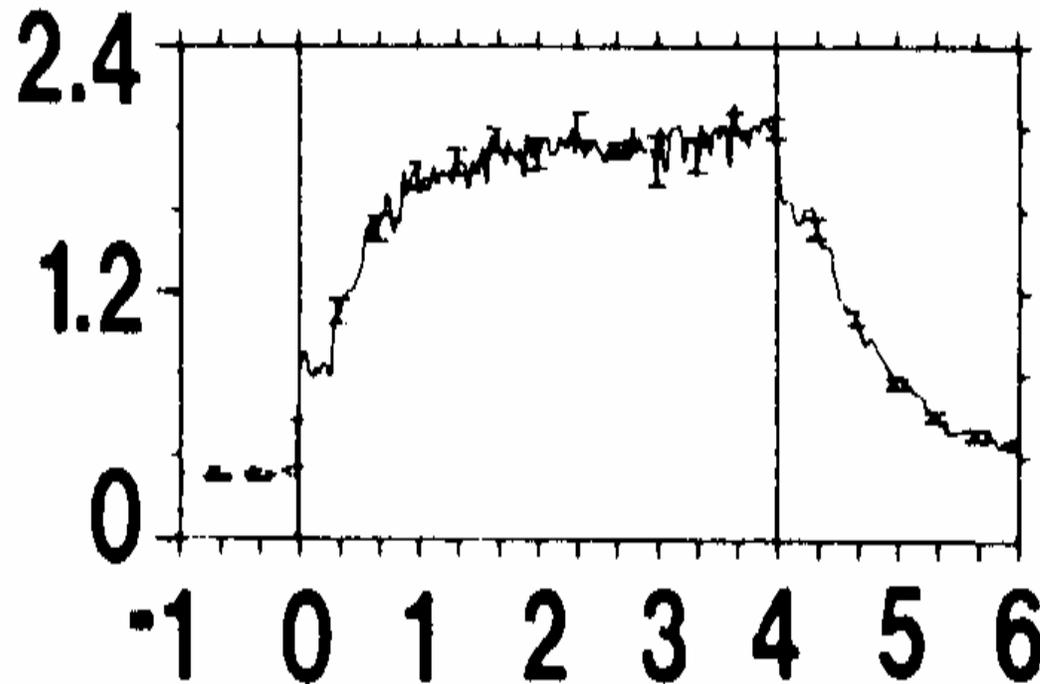
$\dot{V}O_2$
[L·min⁻¹]



Le protocole d'exercice

Autres types d'épreuves

Épreuve à puissance constante

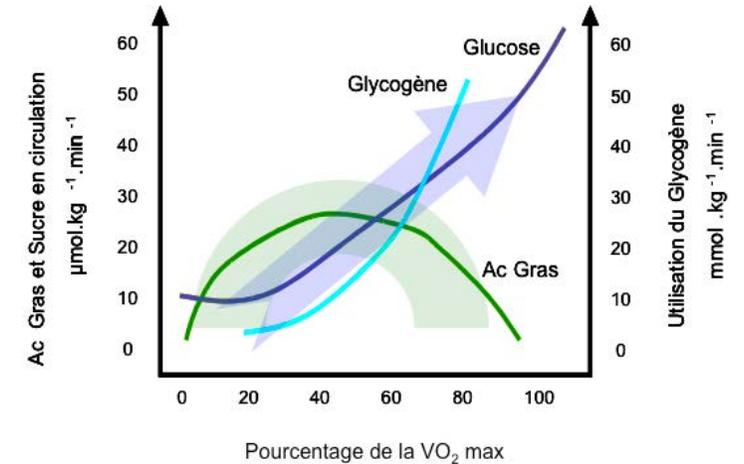
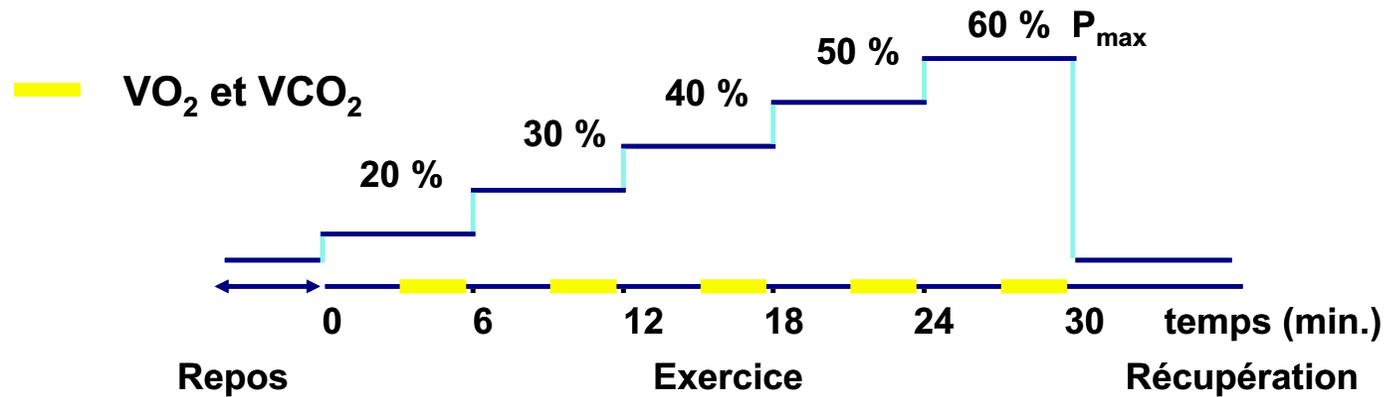


- Coût énergétique
- Dette en O₂
- T_{1/2} OFF
- Composante rapide et lente de VO₂
- Comparaison avant-après réentraînement à même puissance

Le protocole d'exercice

Autres types d'épreuves

Épreuves de type CROSSOVER



$$\text{Oxydation glucidique (mg/min.)} = 4,585 \text{ VCO}_2 - 3,2255 \text{ VO}_2$$

$$\text{Oxydation lipidique (mg/min.)} = - 1,7012 \text{ VCO}_2 + 1,6946 \text{ VO}_2$$

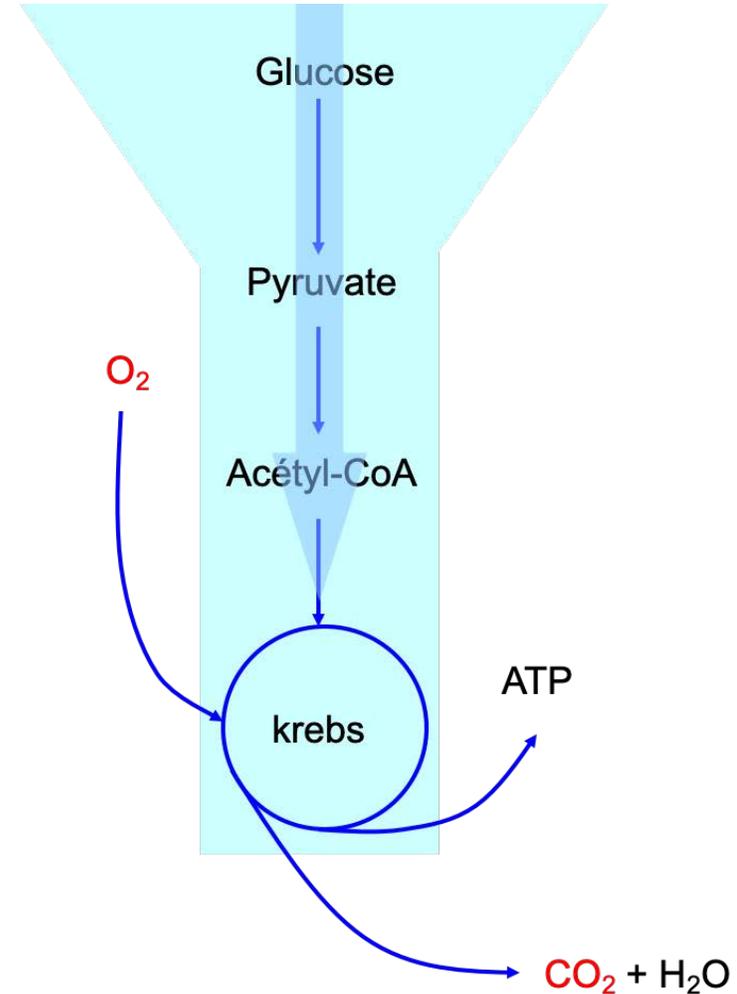
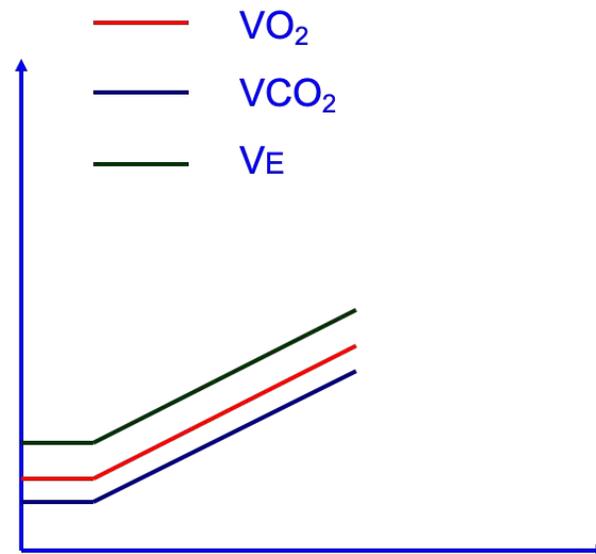
Equations de
Péronnet & Massicotte

RÉPONSES ADAPTATIVES EFX

Les ajustements – Épreuve en rampe d'exercice

Cinétique épreuve en rampe

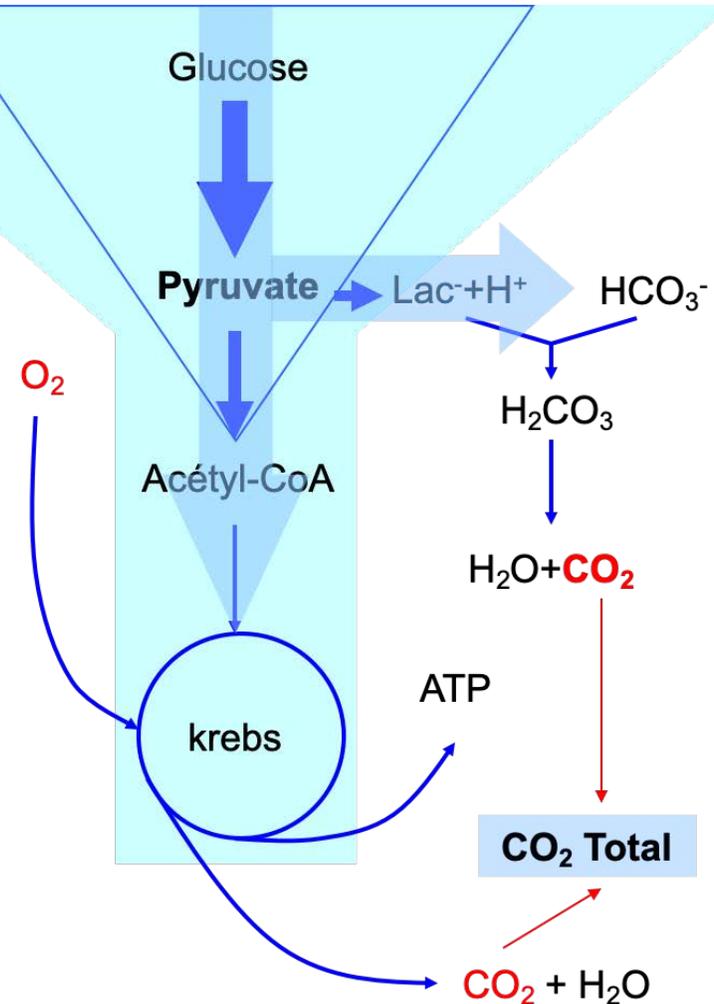
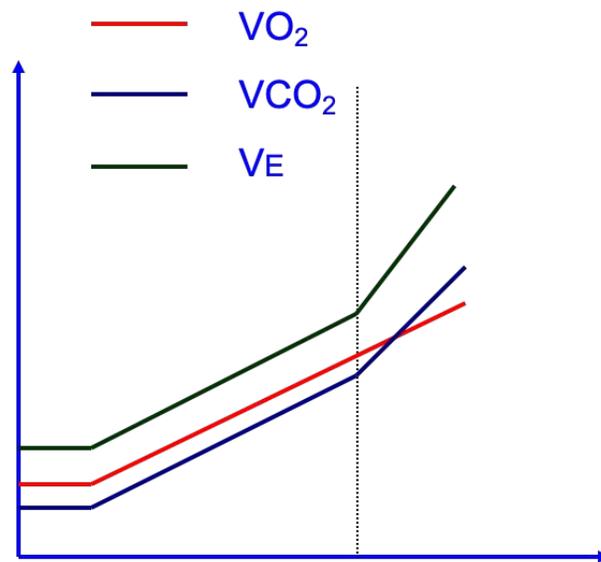
Début d'effort



Les ajustements – Épreuve en rampe d'exercice

Cinétique épreuve en rampe

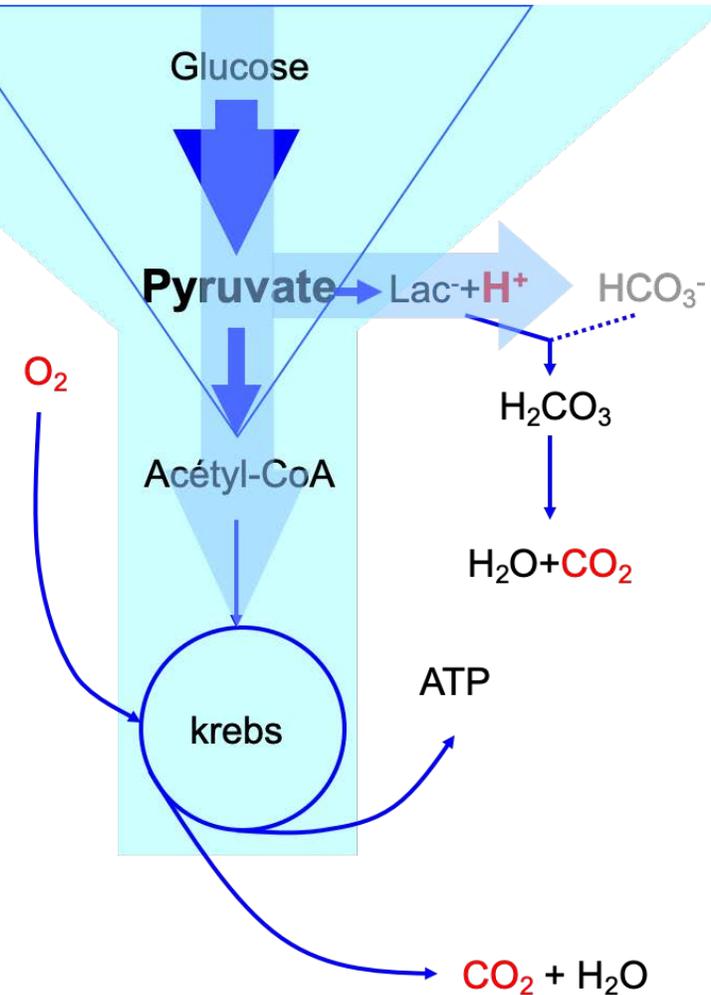
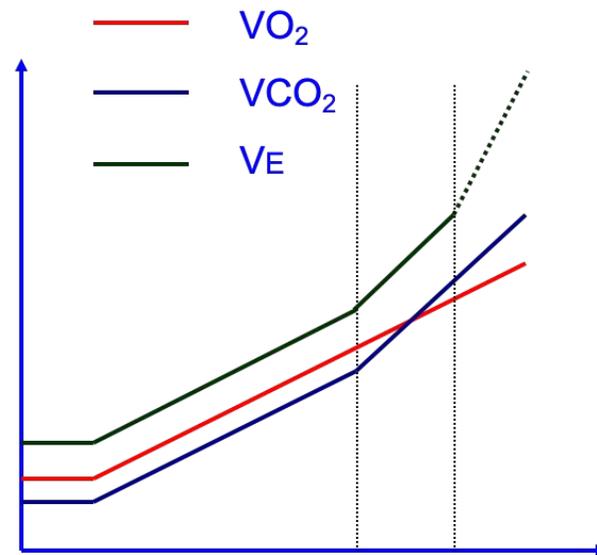
Cassure ventilatoire



Les ajustements – Épreuve en rampe d'exercice

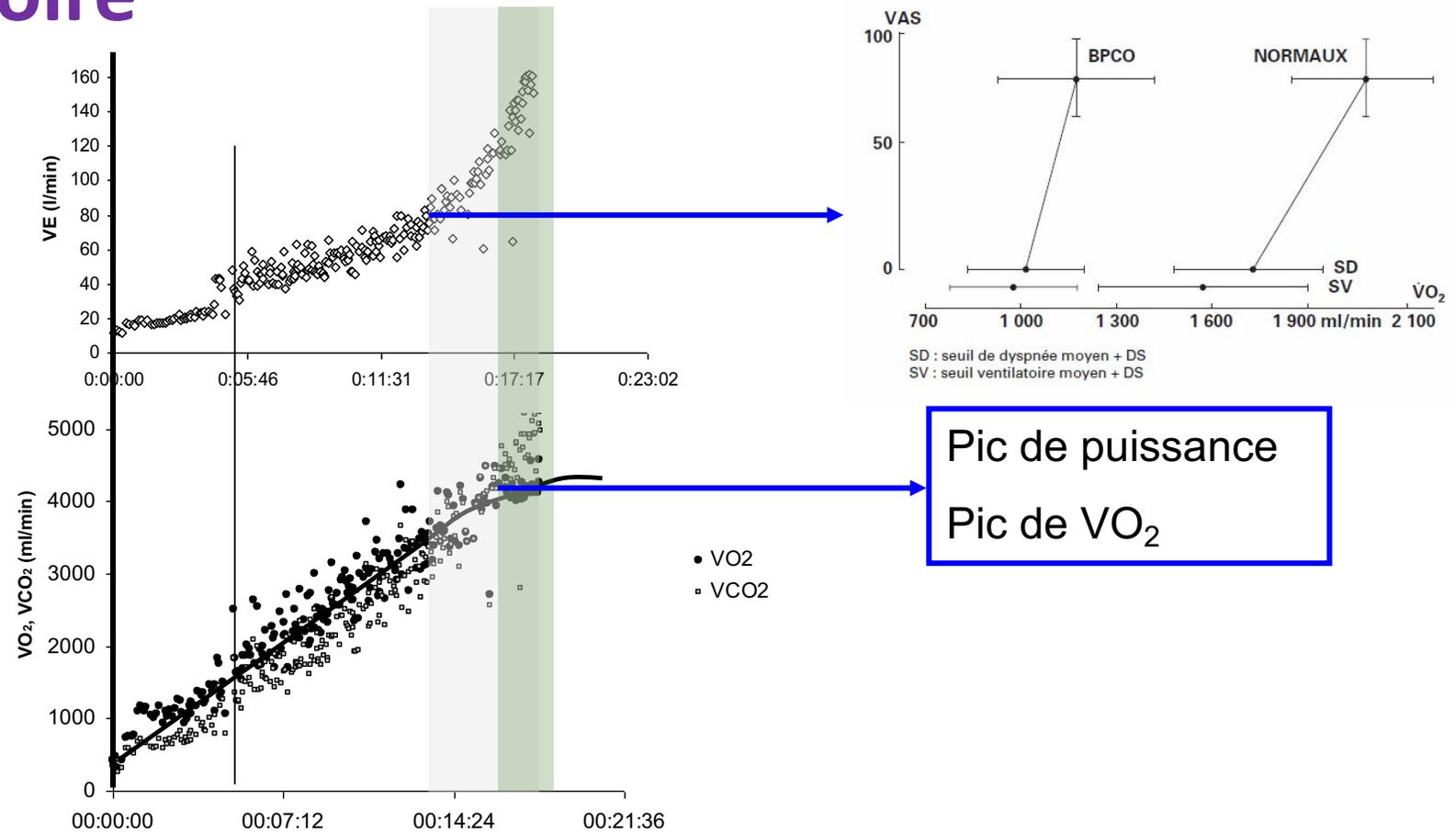
Cinétique épreuve en rampe

Intensité élevée



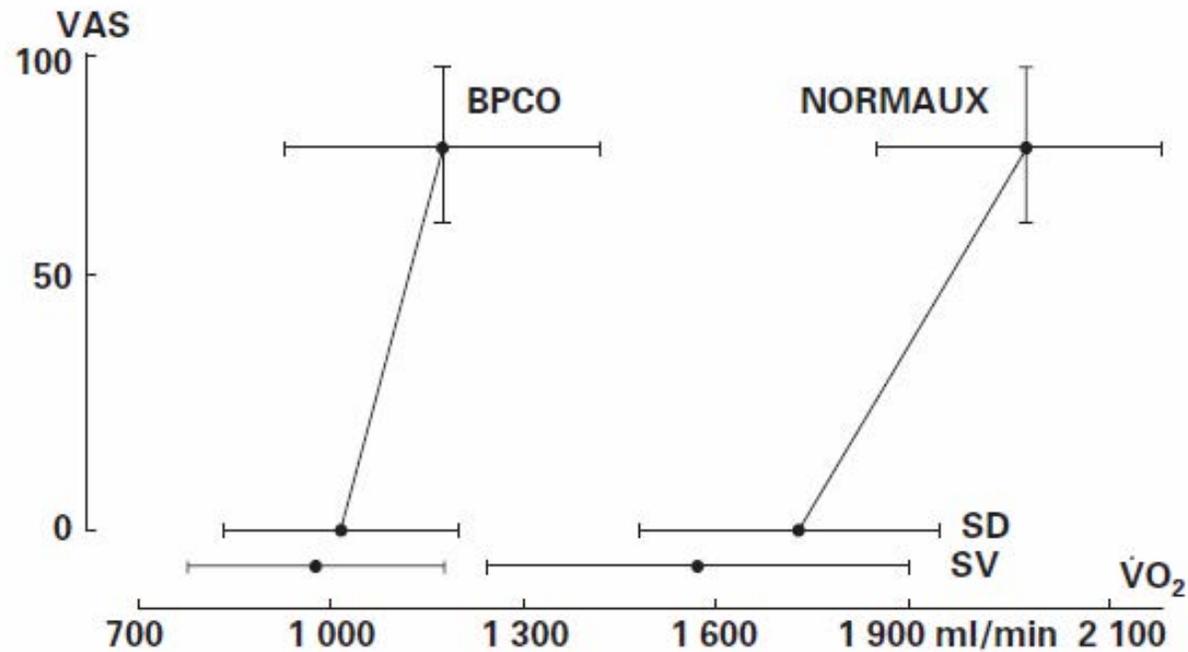
Les ajustements – Détermination des seuils

Seuil ventilatoire



Les ajustements – Détermination des seuils

Seuil ventilatoire

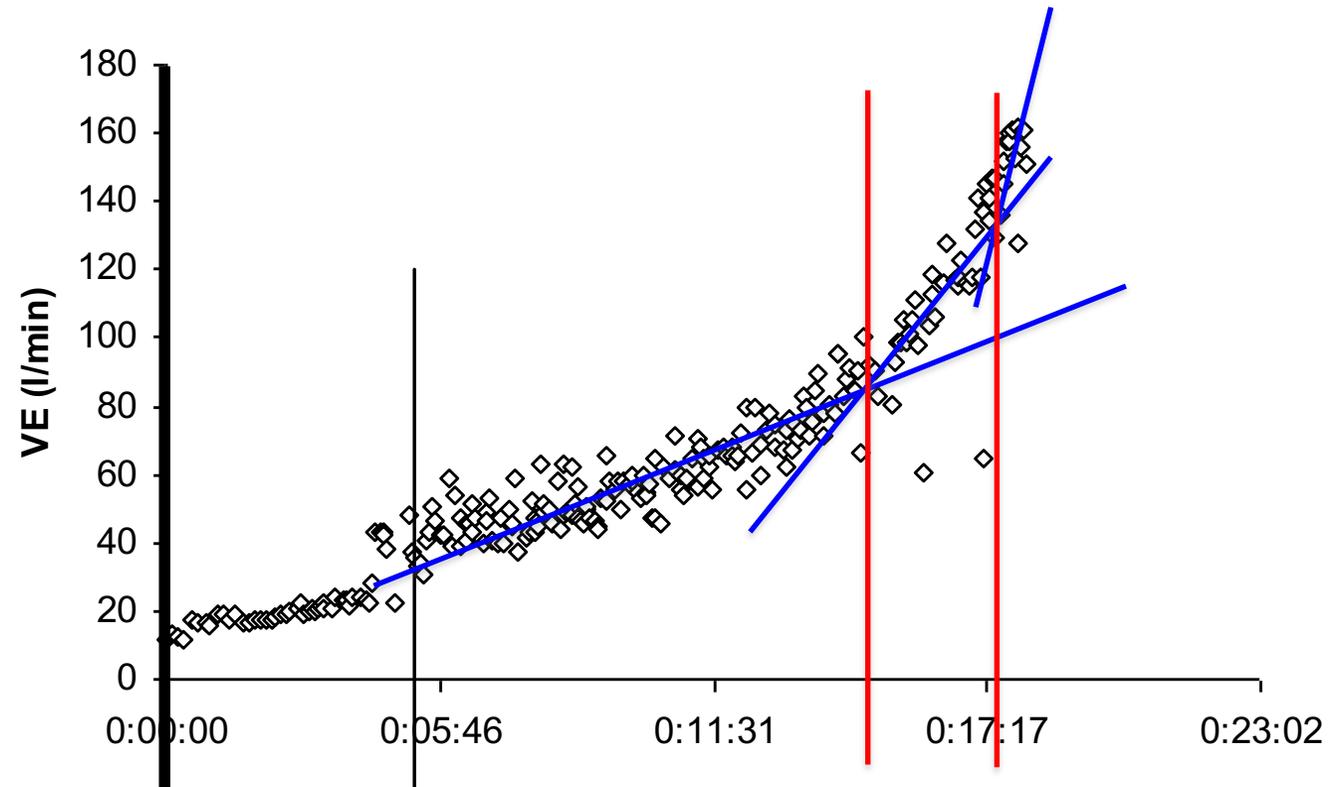


SD : seuil de dyspnée moyen + DS
SV : seuil ventilatoire moyen + DS

Les ajustements – Détermination des seuils

Seuil ventilatoire

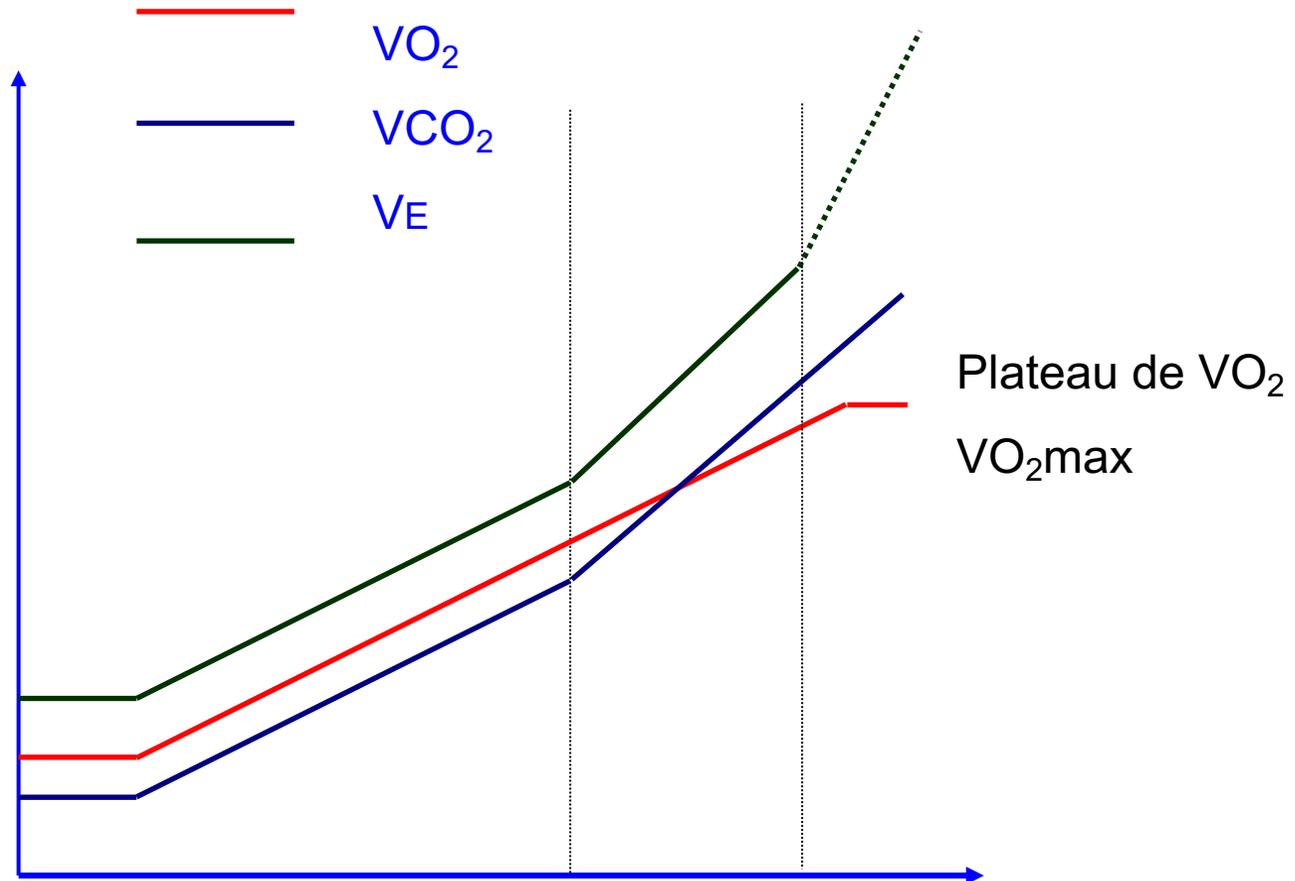
Ventilation



Les ajustements – Détermination des seuils

Seuil ventilatoire

Ventilation

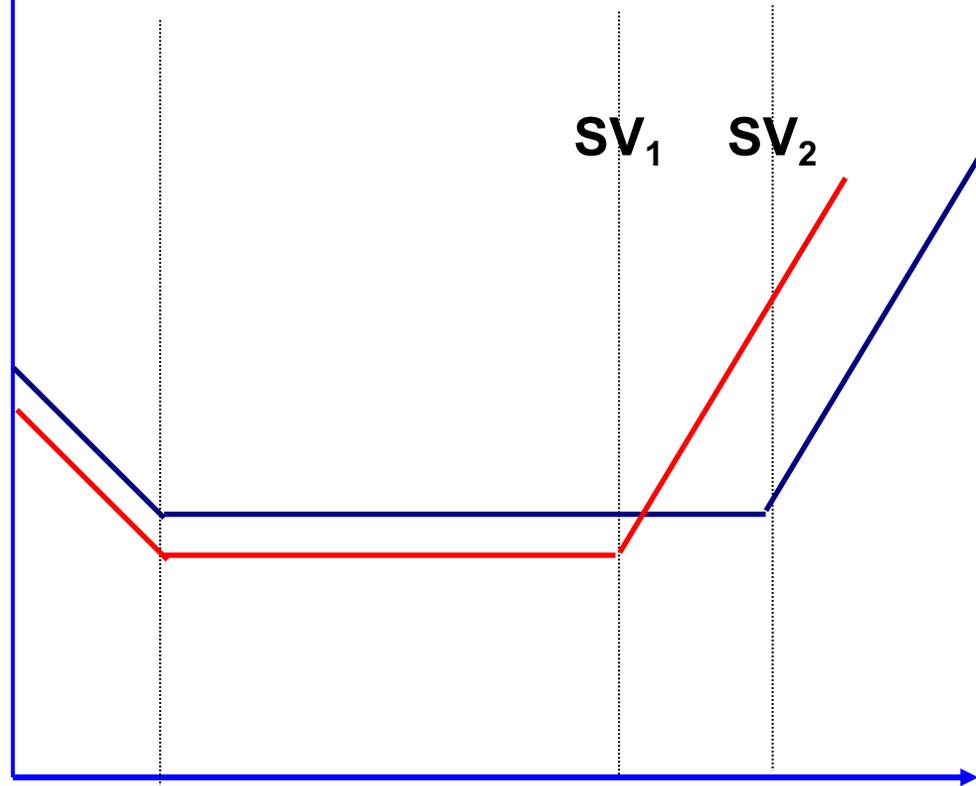
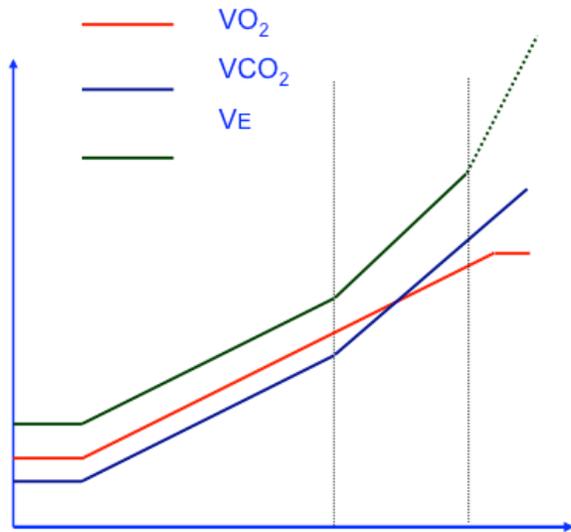


Les ajustements – Détermination des seuils

Seuil ventilatoire

— VE/VCO_2
— VE/VO_2

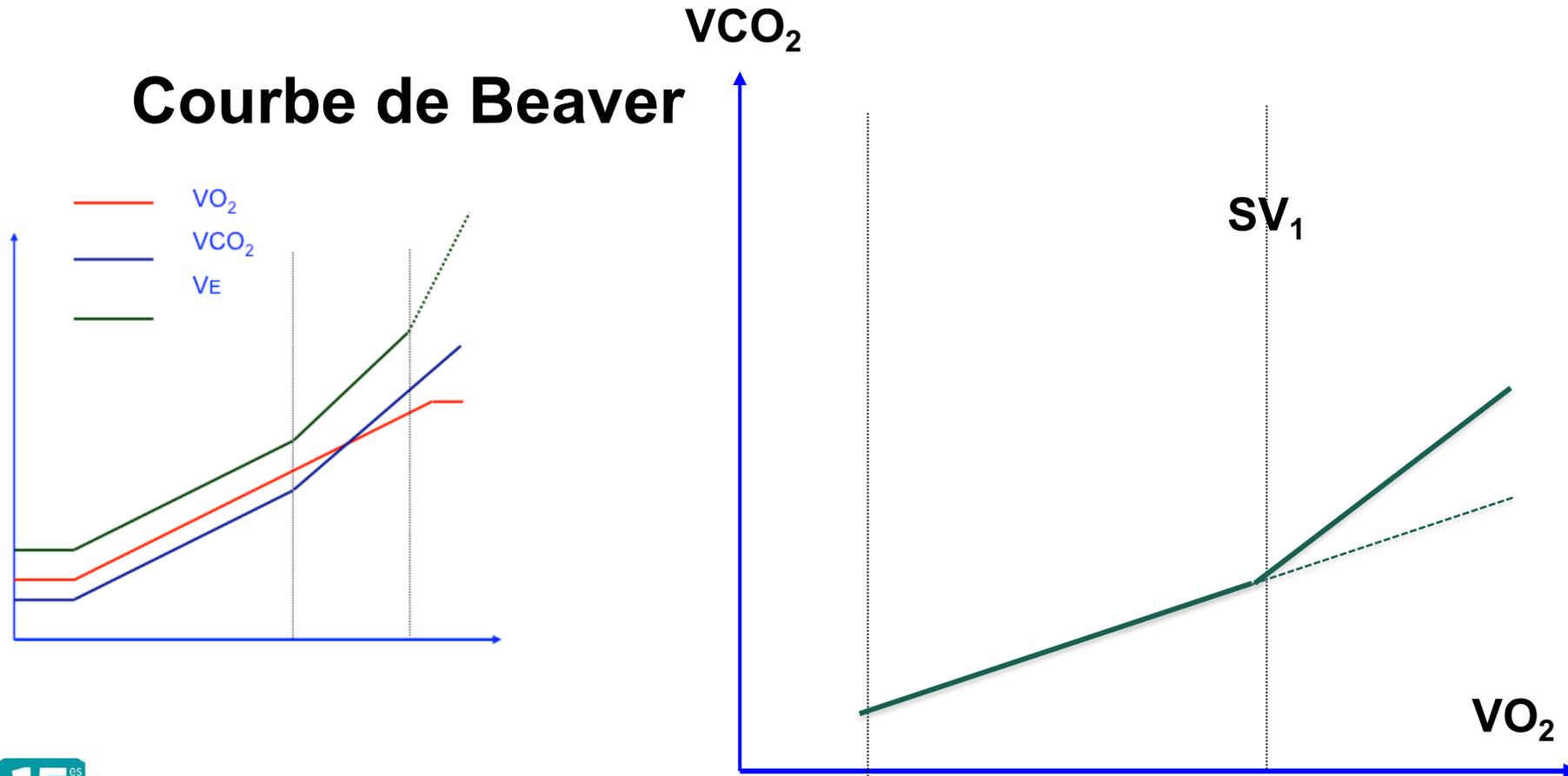
Équivalents O_2/CO_2



Les ajustements – Détermination des seuils

Seuil ventilatoire

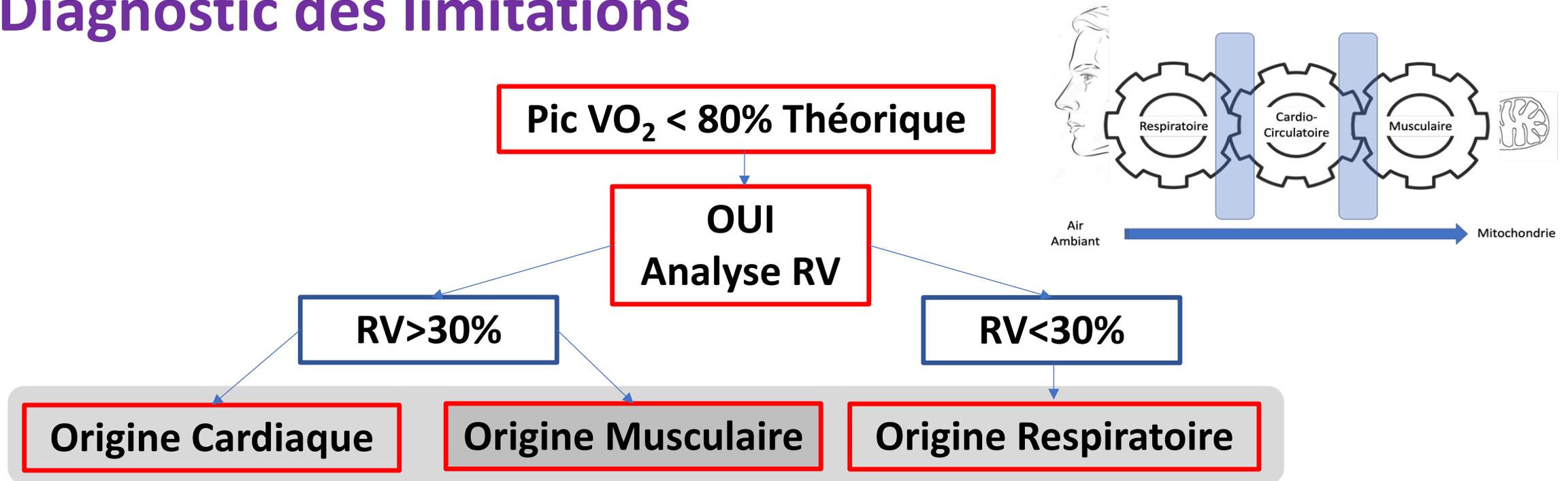
Courbe de Beaver



ANALYSE ET INTERPRÉTATION

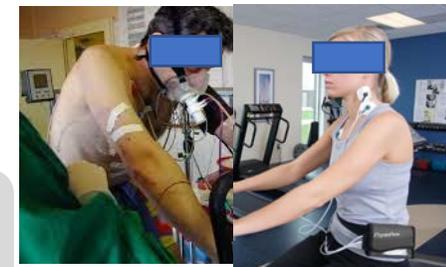
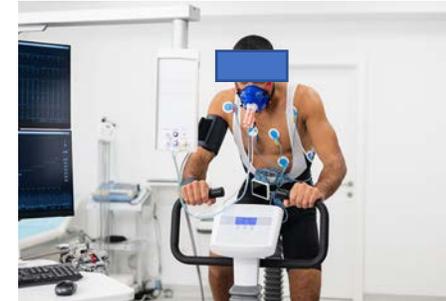
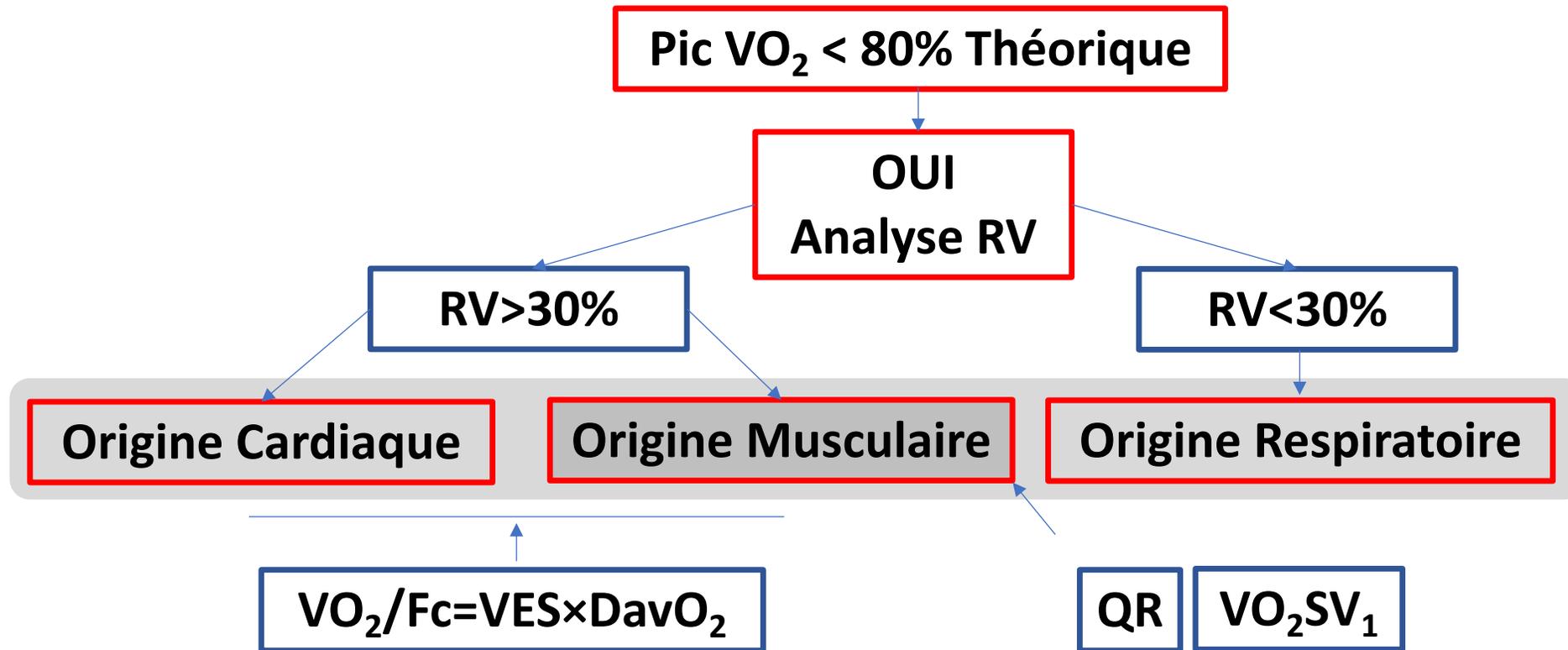
Analyse et interprétation des résultats

Diagnostic des limitations



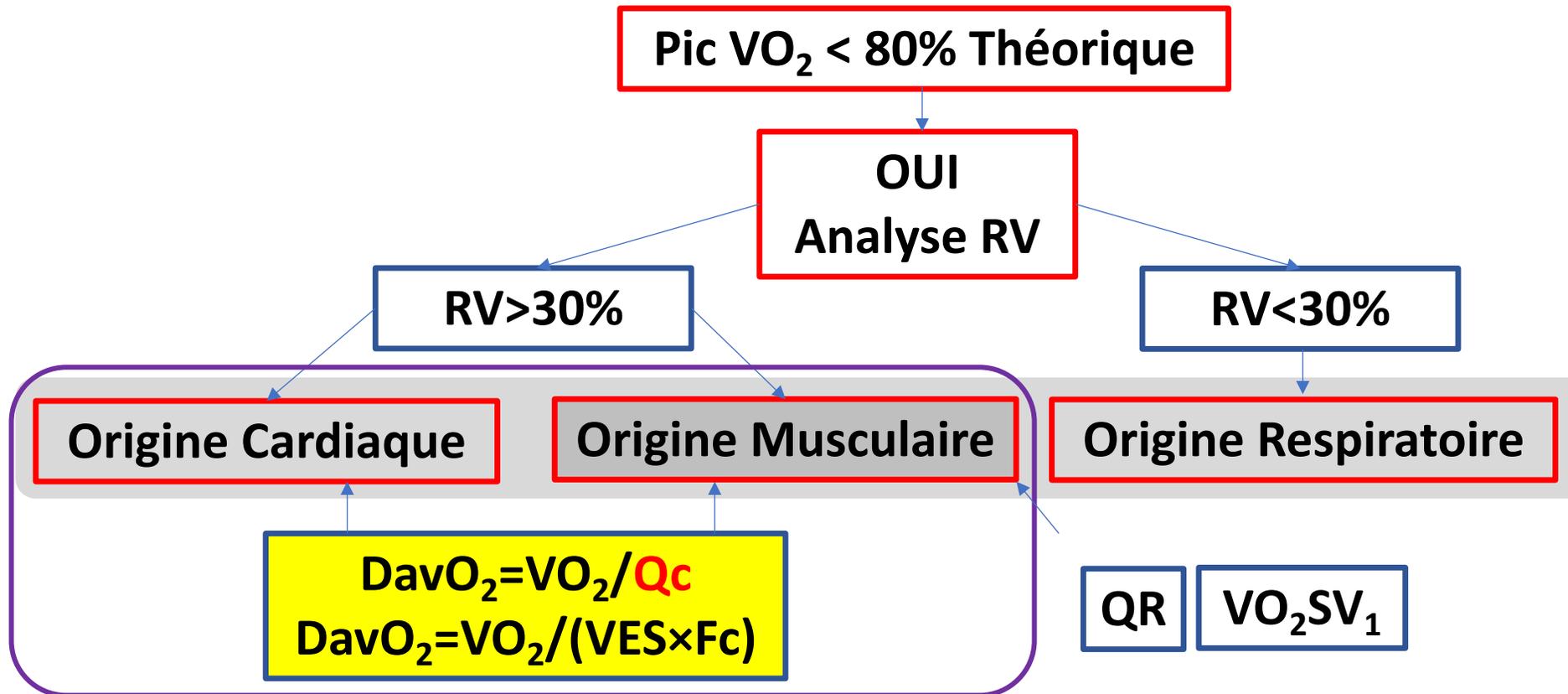
Analyse et interprétation des résultats

Diagnostic des limitations



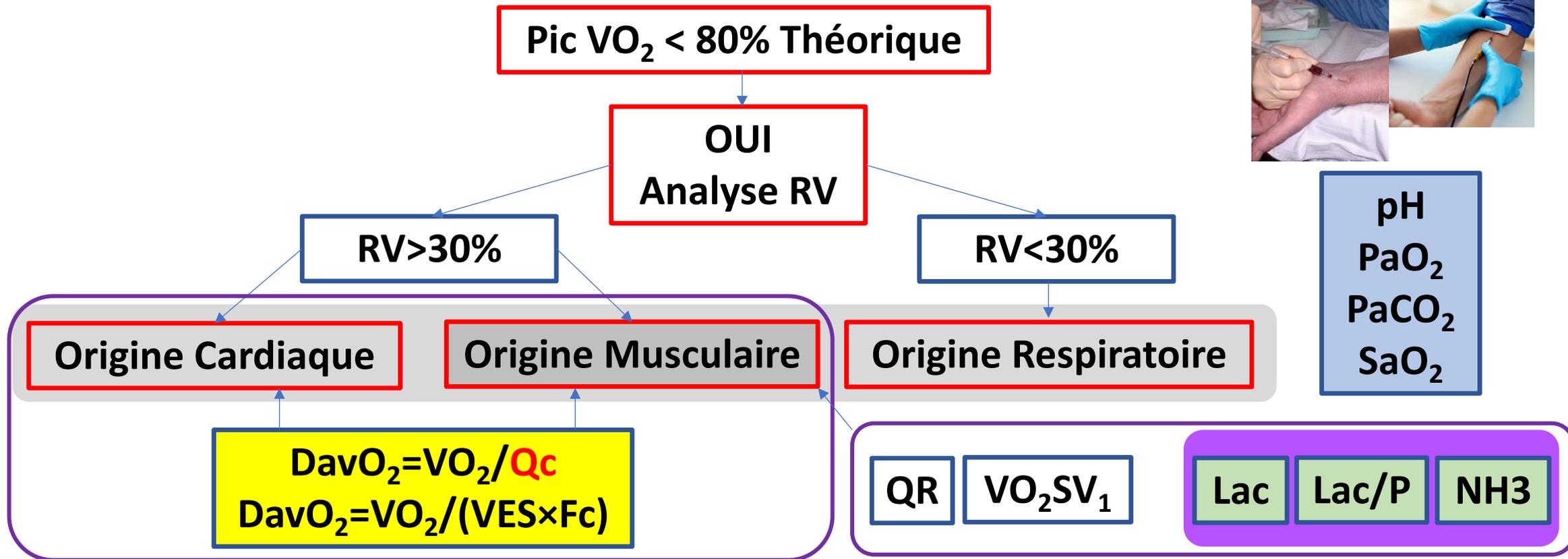
Analyse et interprétation des résultats

Diagnostic des limitations



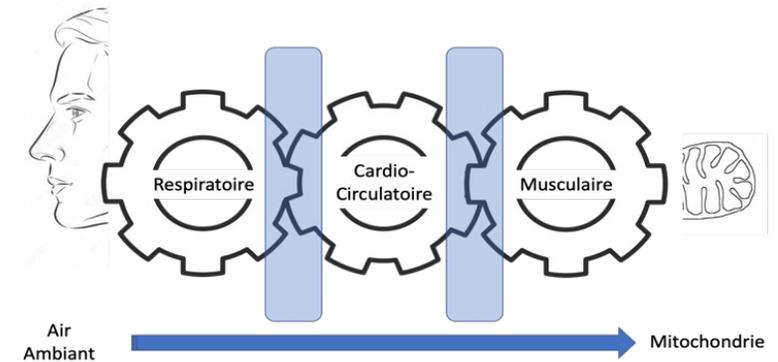
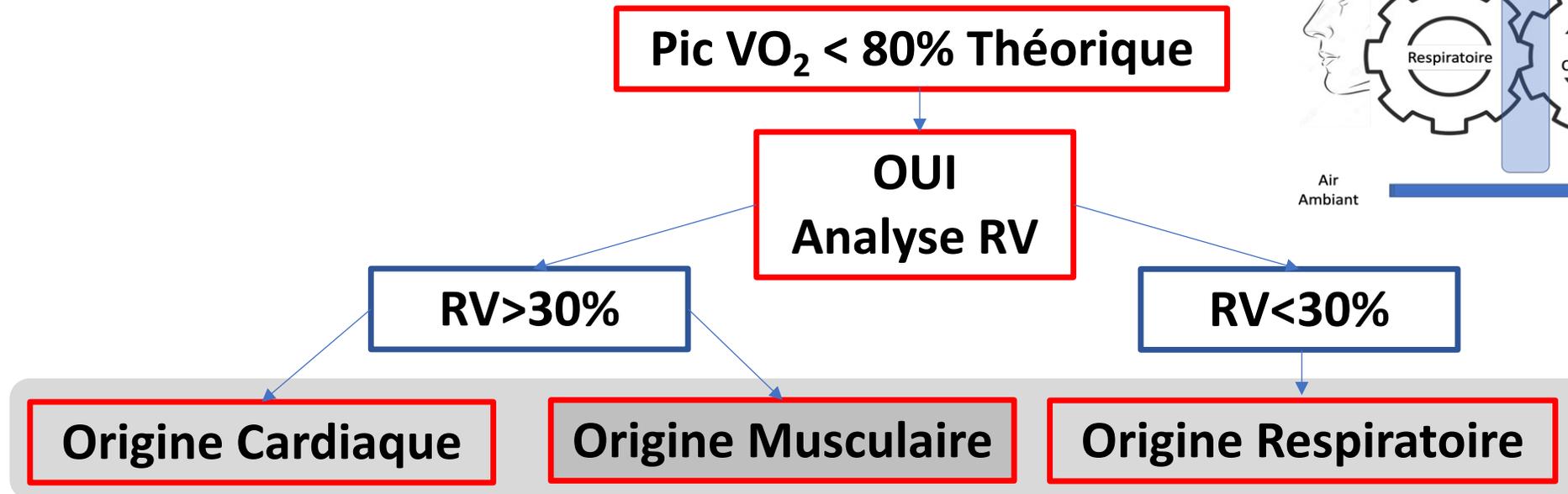
Analyse et interprétation des résultats

Diagnostic des limitations



Analyse et interprétation des résultats

Les 10 étapes de l'analyse



Analyse et interprétation des résultats

Analyse chronologique

- 1) L'Efx est-elle interprétable
- 2) L'Efx est-elle maximale
- 3) Niveau de capacité fonctionnelle
- 4) Analyse des échanges respiratoires, limitation respiratoire
- 5) Analyse des ajustements cardiaques et circulatoires, limitation cardiaque
- 6) Analyse des réponses musculaires, limitation musculaire
- 7) Analyse des échanges gazeux
- 8) Analyse des processus compensatoires
- 9) Hypothèses diagnostics
- 10) Critères de gravité, prescription du réentraînement...

Analyse et interprétation des résultats

1) L'Efx est-elle interprétable

Il faut s'assurer que ce qui a été mesuré est juste

- **La puissance choisie est correctement développée**
- **La mesure de la consommation d'oxygène est celle attendue compte tenu de la puissance appliquée.**

Analyse et interprétation des résultats

1) L'Efx est-elle interprétable

Relation watts/ $\dot{V}O_2$

Sur ergocycle

Exercice en rampe $\dot{V}O_2(\text{ml}/\text{min}) \simeq (10-11) \times P(\text{W})$

À l'état stable $\dot{V}O_2(\text{ml}/\text{min}) \simeq (12-14) \times P(\text{W})$

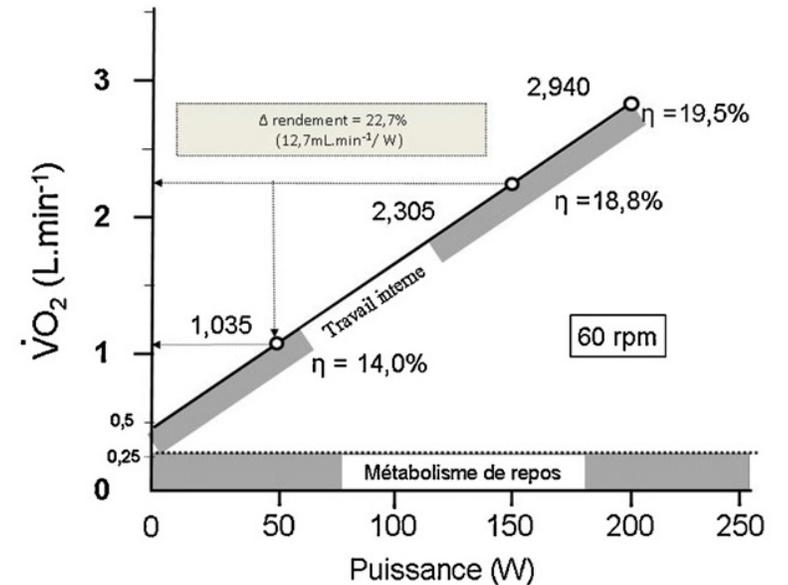
Exemple :

Sujet de 60 kg, exercice à puissance constante de 100W

$\dot{V}O_2 \simeq (3,5 \times 60) + (12 \times 100) \simeq 210 + 1200 \simeq 1410 \text{ ml}/\text{min}$

Sujet de 60 kg, exercice en rampe (paliers de 1 minute), puissance 100 W

$\dot{V}O_2 \simeq (3,5 \times 60) + (10 \times 100) \simeq 210 + 1000 \simeq 1210 \text{ ml}/\text{min}$



Analyse et interprétation des résultats

1-bis) L'Efx est-elle interprétable

Relation vitesse de course/ VO_2

Sur tapis roulant $1 \text{ MET}/(\text{km}/\text{h})=3,5 \text{ mlO}_2/\text{kg}/(\text{km}/\text{h})$

Exemple :

Sujet de 60 kg, marche à 6 km/h

$VO_2 \simeq (3,5 \times 6) \simeq 21 \text{ ml}/\underline{\text{kg}}/\text{min} = 1260 \text{ ml}/\text{min}$

Sujet de 60 kg, course à 12 km/h

$VO_2 \simeq (3,5 \times 12) \simeq 42 \text{ ml}/\underline{\text{kg}}/\text{min} = 2520 \text{ ml}/\text{min}$

Analyse et interprétation des résultats

2) L'EFX est-elle maximale ?

Le sujet sain, le sportif, le patient a bien été mené au maximum de ses capacités, de ses possibilités.

- **Critères de maximalité du sujet sain,**
- **Epreuve « symptom limited » du patient**

Analyse et interprétation des résultats

2) L'EFX est-elle maximale ?

Sujet sain de référence

4 critères de maximalité

- VO_2 stable malgré l'augmentation de puissance (Pour + 15 W, $\text{VO}_2 < 150 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$)
- $\text{QR} > 1,1$
- $\text{Fcmax} > 90\%$ Fc maximale théorique
- $[\text{Lac}]_{\text{max}} > 8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ et/ou (pH \downarrow 0,04)

Patient

Des critères liés à la pathologie vont interférer, épreuve « symptom limited »

Analyse et interprétation des résultats

3) Niveau de capacité fonctionnelle ? Le sujet est-il limité ?

Capacité fonctionnelle en référence à un sujet sédentaire

Pic VO_2 < à 80 % de la valeur de référence d'un sujet sédentaire

ATTENTION

- Les normes sont anciennes et sont construites sur des petits effectifs où les sujets « extrêmes » n'ont pas été pris en compte.
- Les sujets sédentaires sains sont aujourd'hui plus proche des 80%.

Analyse et interprétation des résultats

4) Limitation respiratoire ?

Les ajustements ventilatoire sont à analyser sur la base des paramètres habituellement mesurés :

VE, Fr, Vt, VE/VO₂, RV ($VE_{\max}/VE_{\max\text{-Théorique}}$)

En faveur d'une limitation ventilatoire :

RV < 15%, RV < 10 l/min

FR > 45 cycles/min

VE/VO₂ > 30 à l'état stable

Quelques valeurs attendues chez le sujet sain :

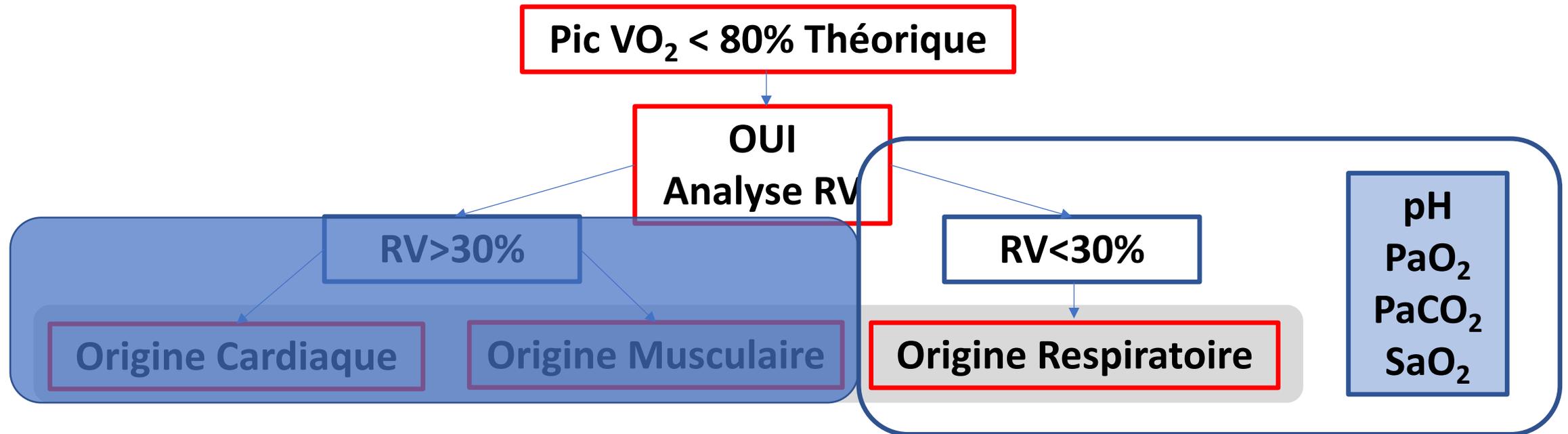
VE : 20-25 l/min à 50 W

VE : 40-50 l/min à 100 W

VE/VO₂ 22-28 à l'état stable

Analyse et interprétation des résultats

Les 10 étapes de l'analyse



Analyse et interprétation des résultats

5) Limitation cardio-circulatoire ?

Réponses cardiaques anormales :

Incompétence chronotrope $F_{cmax} < 80\%$ de $F_{cmax_{théorique}}$

« Hyper-débit », tachycardie $F_{cmax} > 100-110\%$ de $F_{cmax_{théorique}}$

Réponse tensionnelle anormale

Profil tensionnel d'effort $PAS_{max} < 240$

$PAD_{max} > 120$

Analyse et interprétation des résultats

5) Limitation cardio-circulatoire ?

Place du pouls d'O₂ dans l'interprétation d'une limitation d'origine cardio-circulatoire

Équation de Fick

$$VO_2 = Q_c \times D_{av}O_2 = (F_c \times VES) \times D_{av}O_2$$

$$VO_2 / F_c = VES \times D_{av}O_2 : \text{pouls d'oxygène}$$

$$VO_2 / F_c < 70\% \text{ de } (VO_2 \text{max} / F_{c \text{max}})_{\text{Théorique}}$$

Exemple : VO₂max Théorique 2 l/min

F_cmax Théorique 160 bpm

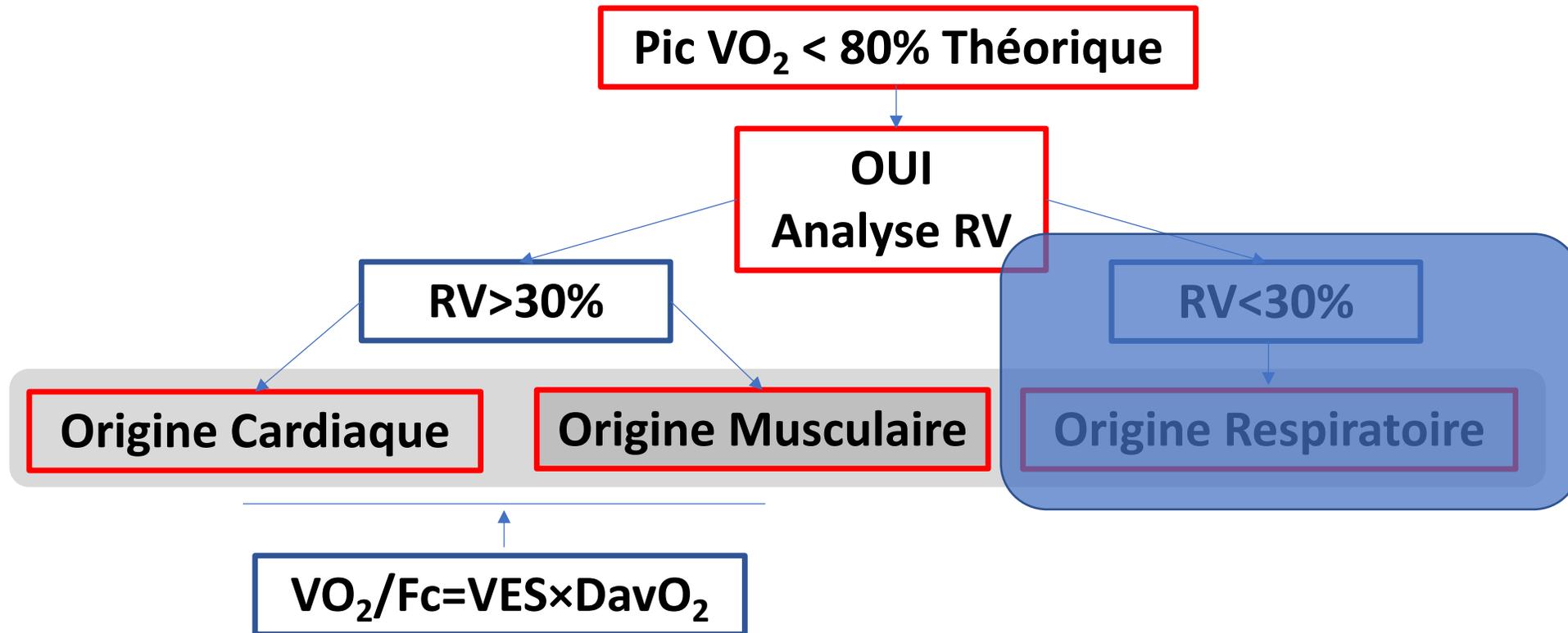
$$VO_2 / F_c < 0,7 \times (2000 / 160) = 8-9$$

Un pouls d'O₂ bas est le reflet d'une incapacité du muscle à utiliser l'O₂ et/ou d'une anomalie du VES.

Son analyse doit être prudente et toujours à rattacher au tableau clinique. **Lors d'une Efx, d'autres éléments cliniques ou paracliniques seront à remettre dans le contexte.**

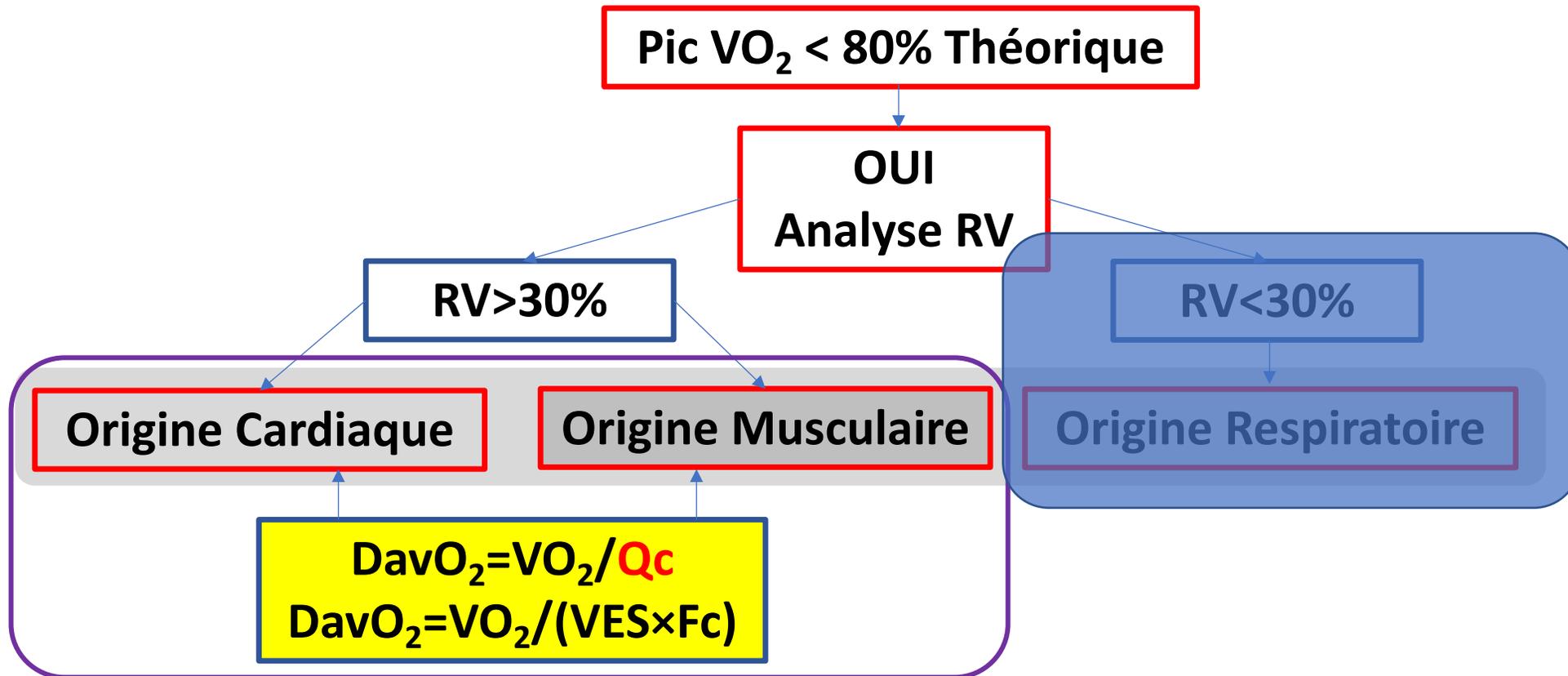
Analyse et interprétation des résultats

Les 10 étapes de l'analyse



Analyse et interprétation des résultats

Les 10 étapes de l'analyse



Analyse et interprétation des résultats

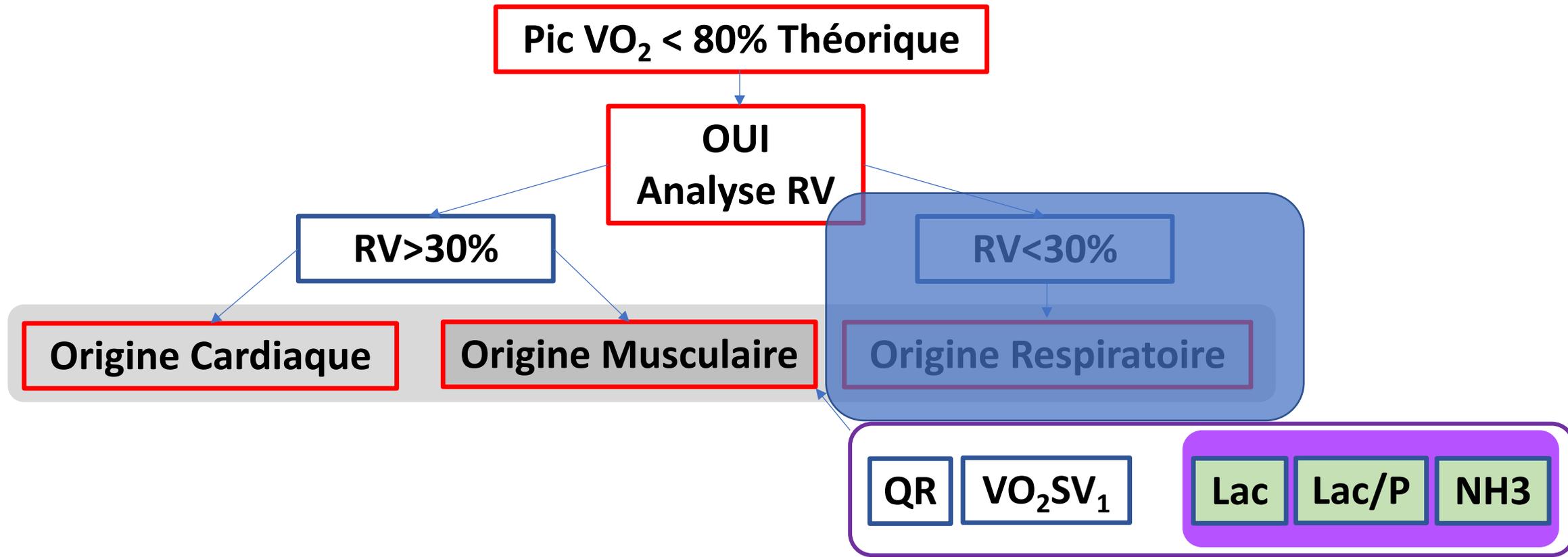
6) Limitation périphérique musculaire ?

Plusieurs paramètres sont le reflet du déconditionnement musculaire :

- Faible rapport puissance/poids < 1-1,5 W/kg
- $VO_2SV_1 < 40\% VO_2\text{maxThéorique}$
- Pouls d'O₂ < 70% de $(VO_2\text{max}/F_{c\text{max}})_{\text{Théorique}}$
- Relation [Lac]/puissance anormale

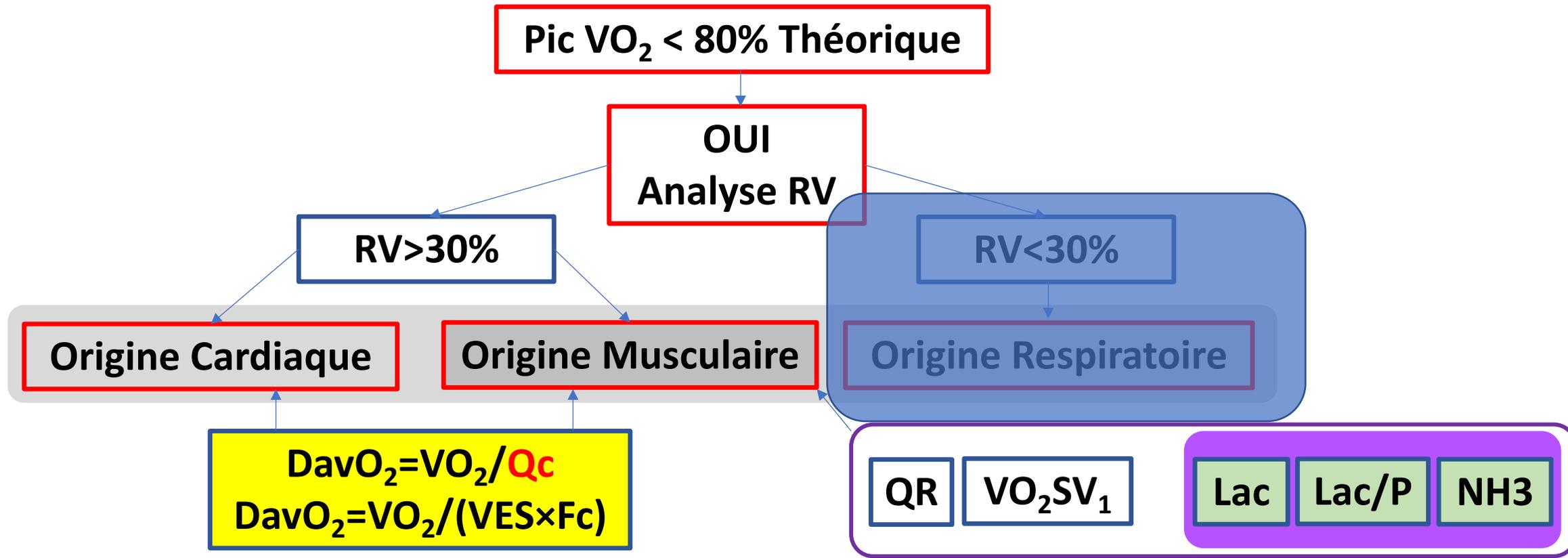
Analyse et interprétation des résultats

Les 10 étapes de l'analyse



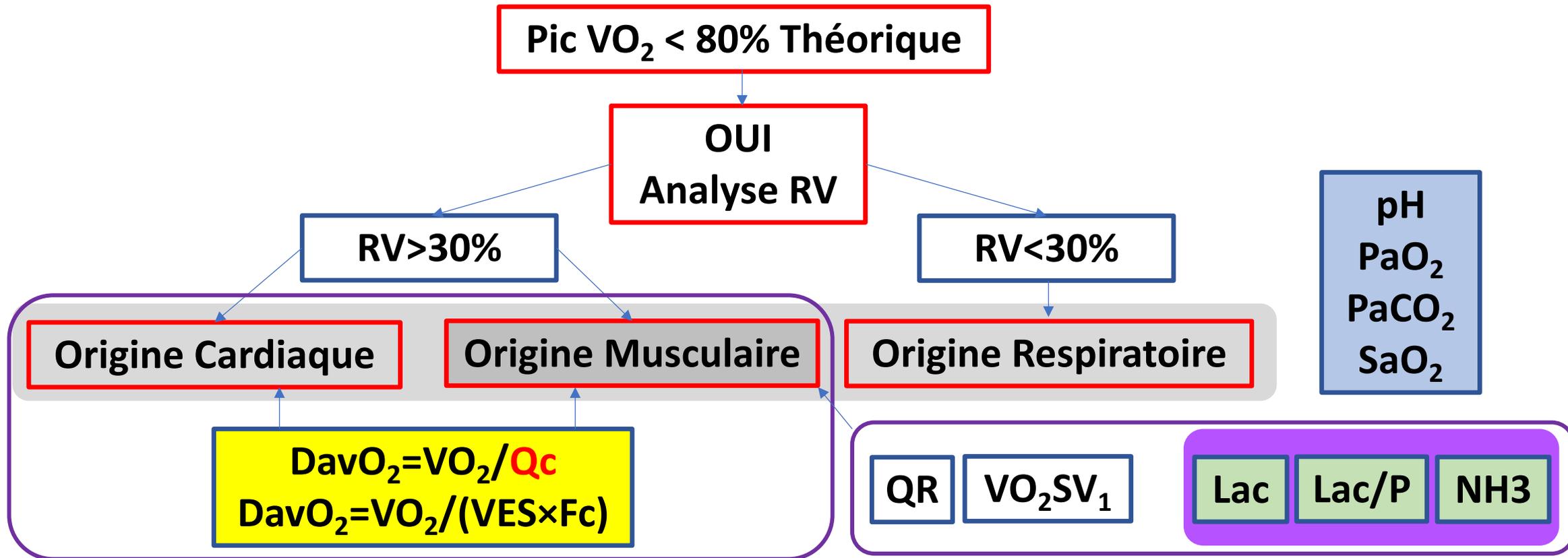
Analyse et interprétation des résultats

Les 10 étapes de l'analyse



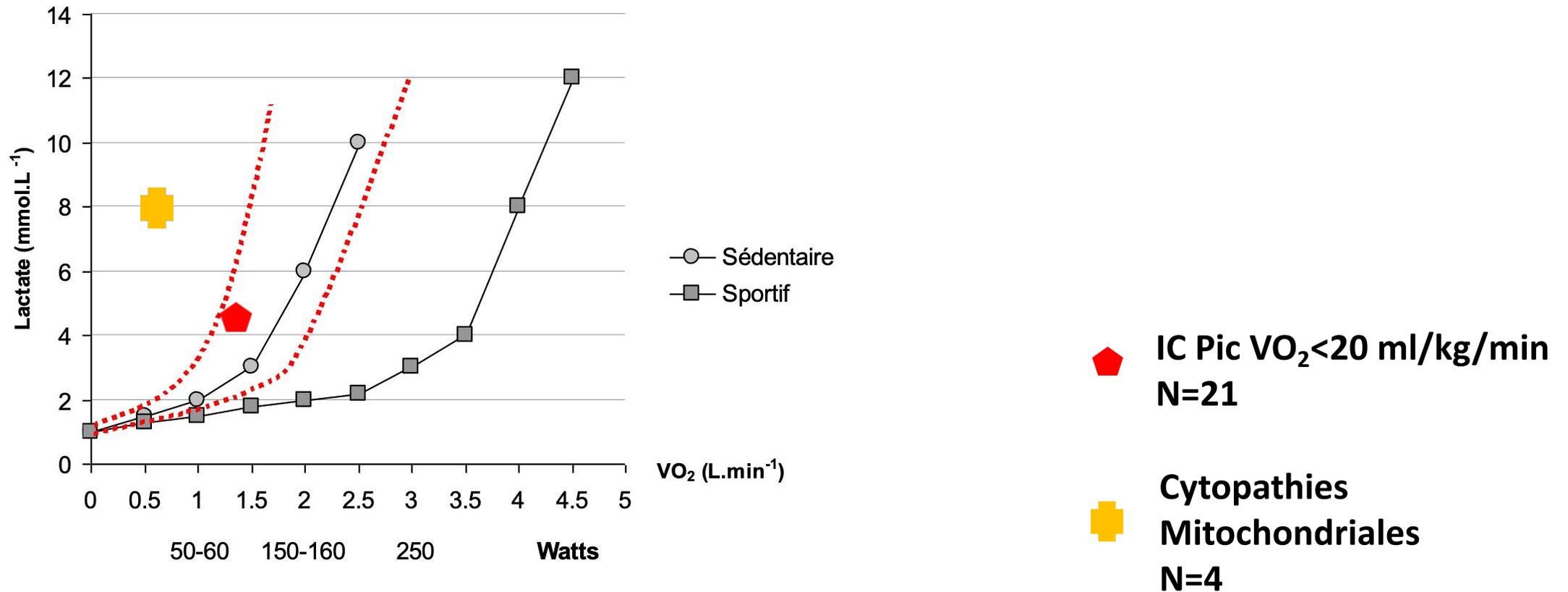
Analyse et interprétation des résultats

Diagnostic des limitations



Analyse et interprétation des résultats

6) Limitation périphérique musculaire ?



Analyse et interprétation des résultats

7) Analyse des échanges gazeux

Gaz du sang

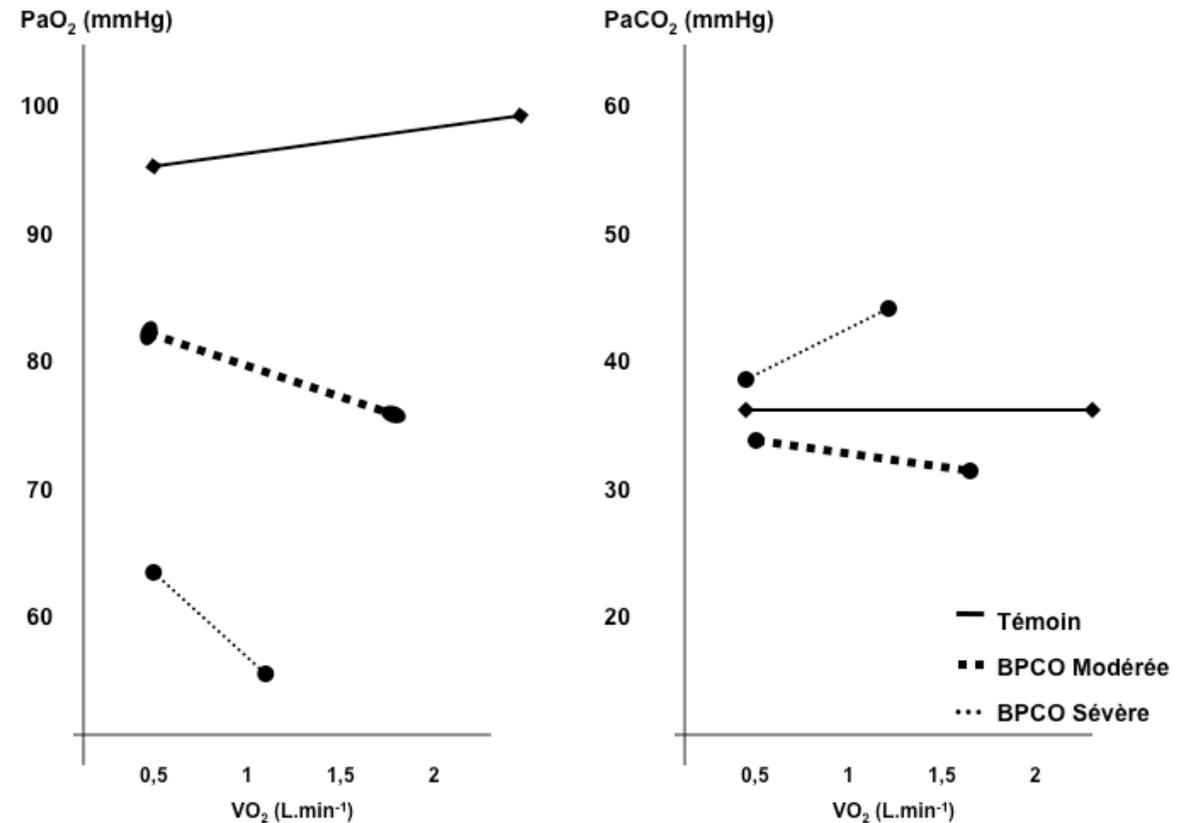
PaO_2 , PaCO_2 , pH, SaO_2

Calcul du gradient A-a

$\text{PETO}_2 \approx \text{PAO}_2$

Calcul de l'espace mort

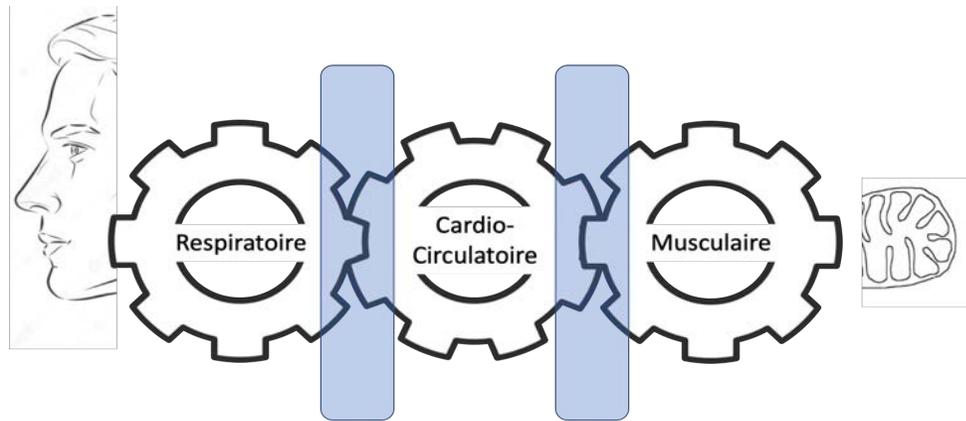
$\text{VD}/\text{Vt} = (\text{PaCO}_2 - \text{PETCO}_2) / \text{PaCO}_2$



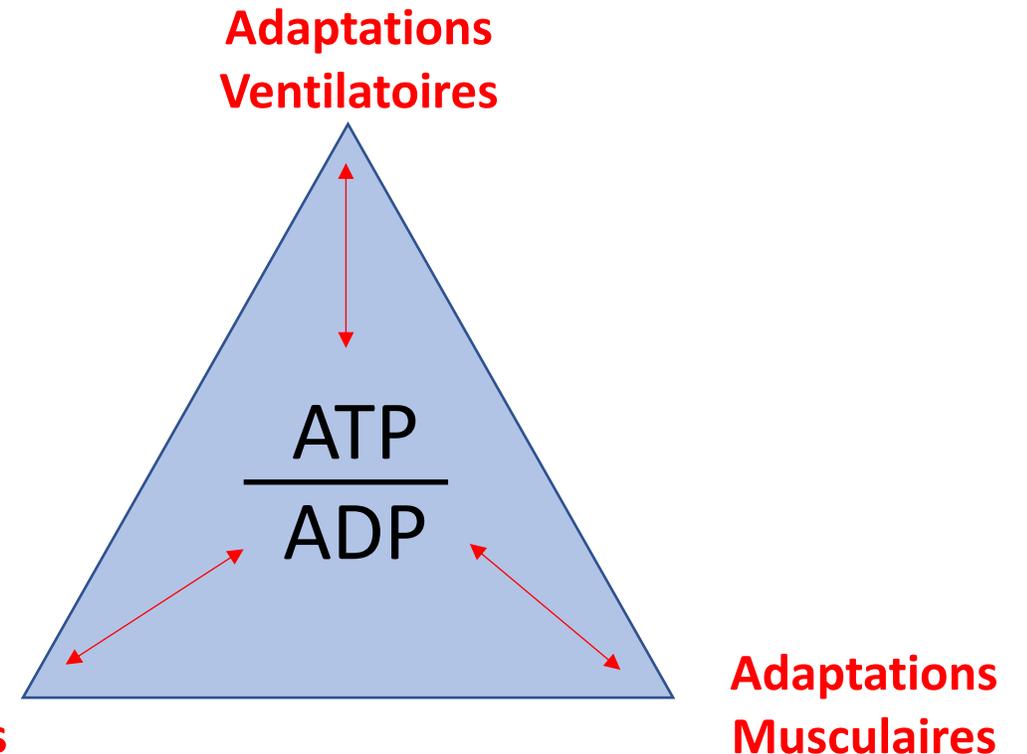
Analyse et interprétation des résultats

8) Analyse des compensations

Engrènement des systèmes



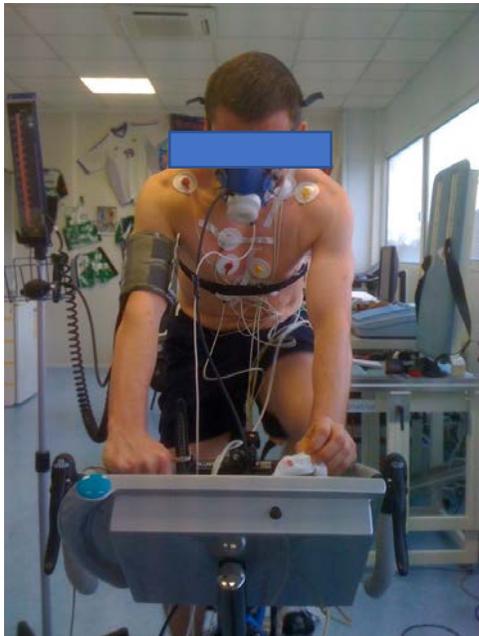
**Adaptations
Cardio-Circulatoires**



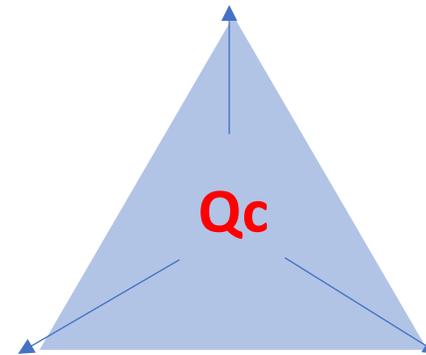
Analyse et interprétation des résultats

8) Analyse des compensations

Apport de la mesure du débit cardiaque



$$VO_2 = Q_c \times D_{av}O_2$$

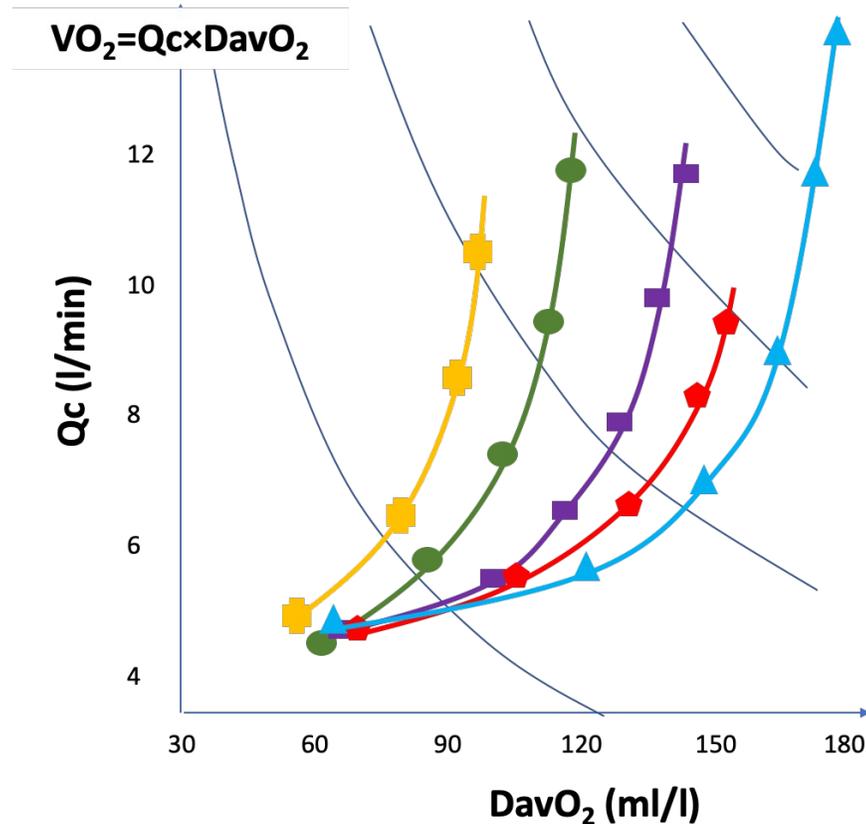


$$RVS = PAM / Q_c$$

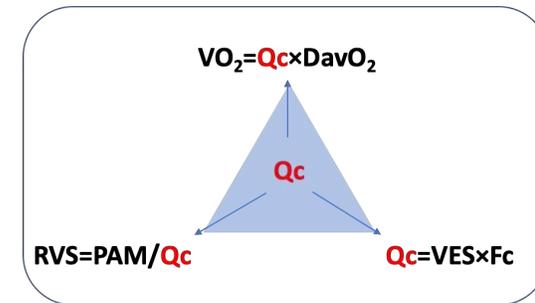
$$Q_c = VES \times F_c$$

Analyse et interprétation des résultats

8) Analyse des compensations

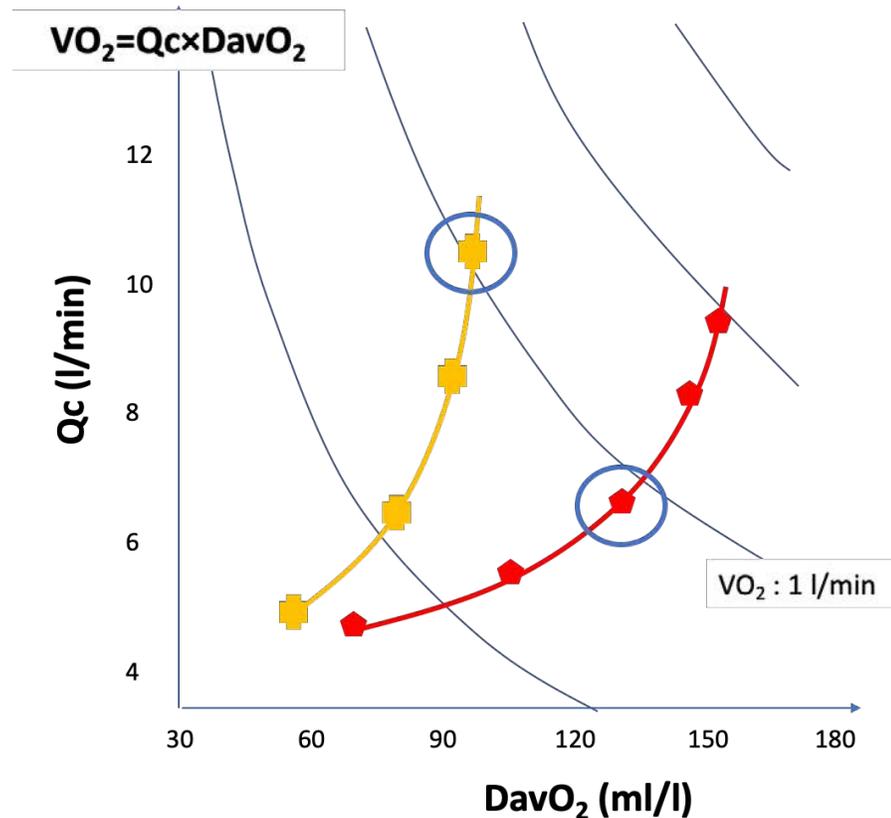


- ▲ Sujets jeunes sportifs
N=40
- Sujets âgés >65 ans sédentaires
N=45
- BPCO Gold 1-2
N=129
- ◆ IC Pic $VO_2 < 20$ ml/kg/min
N=21
- Cytopathies Mitochondriales
N=4



Analyse et interprétation des résultats

8) Analyse des compensations

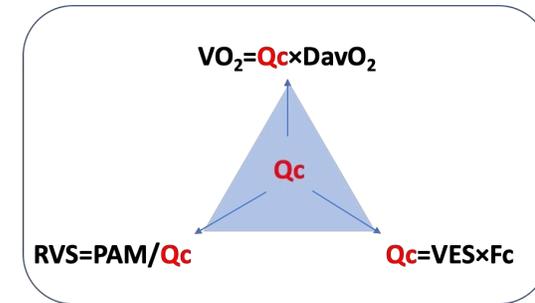


$VO_2 : 1000 \text{ ml/min}$
 $Qc : 10,8 \text{ l/min}$
 $Fc : 155 \text{ bpm}$
 $VES : 70 \text{ ml}$
Pouls d'O₂ : 6,45 ml/bpm

$VO_2 : 900 \text{ ml/min}$
 $Qc : 6,7 \text{ l/min}$
 $Fc : 125 \text{ bpm}$
 $VES : 54 \text{ ml}$
Pouls d'O₂ : 7,2 ml/bpm

◆ IC Pic $VO_2 < 20 \text{ ml/kg/min}$
N=21

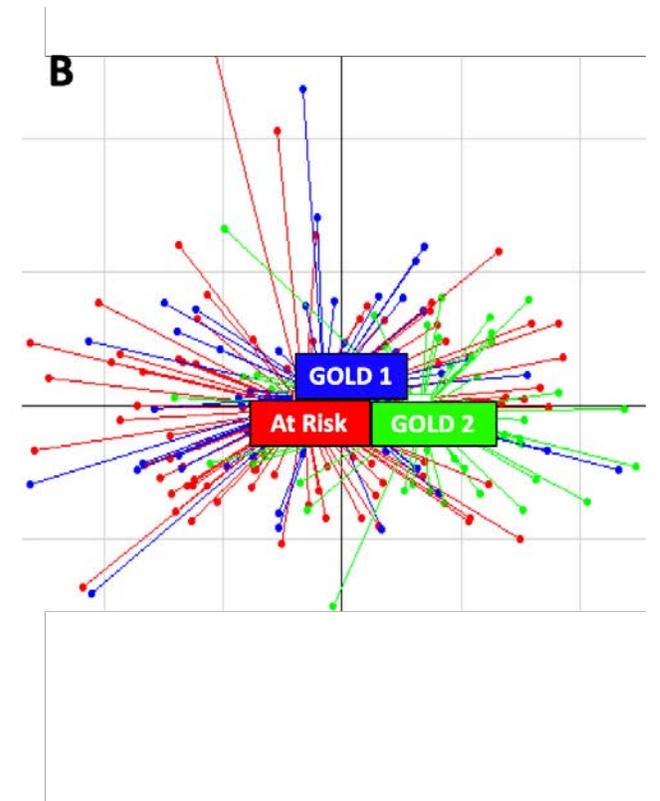
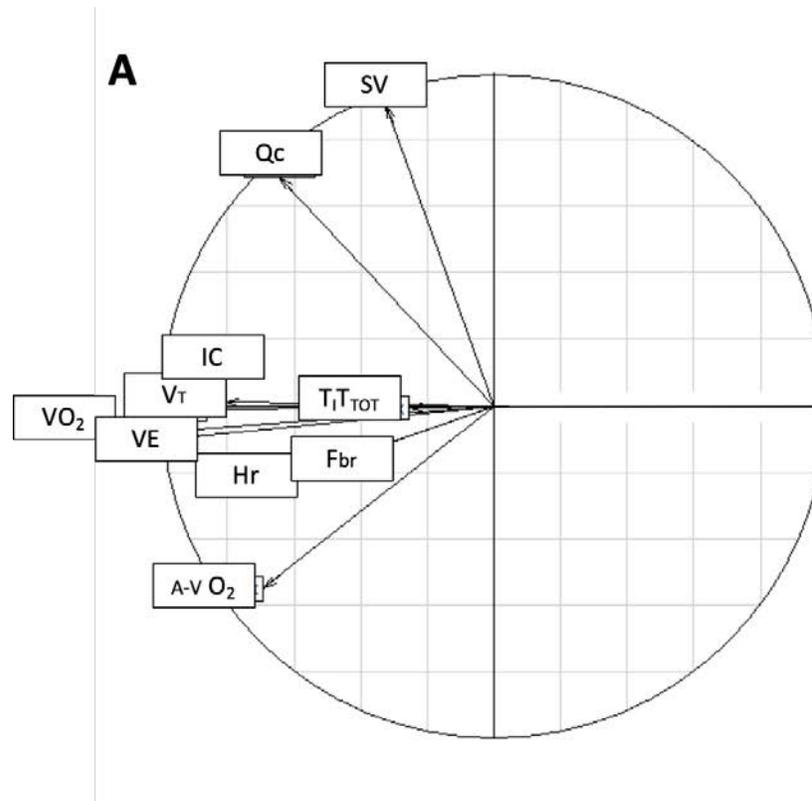
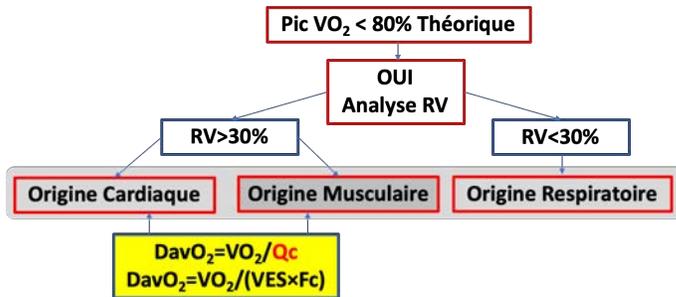
■ Cytopathies
Mitochondriales
N=4



Analyse et interprétation des résultats

8) Approche analytique statistique sans a priori

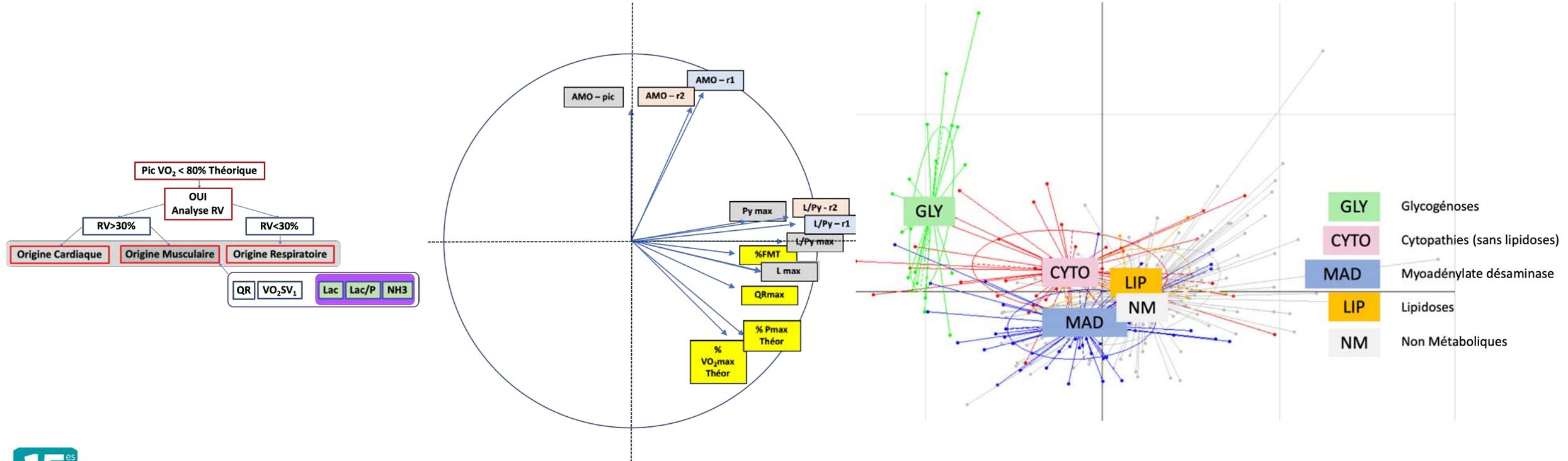
ACP BPCO : EFX-Qc



Analyse et interprétation des résultats

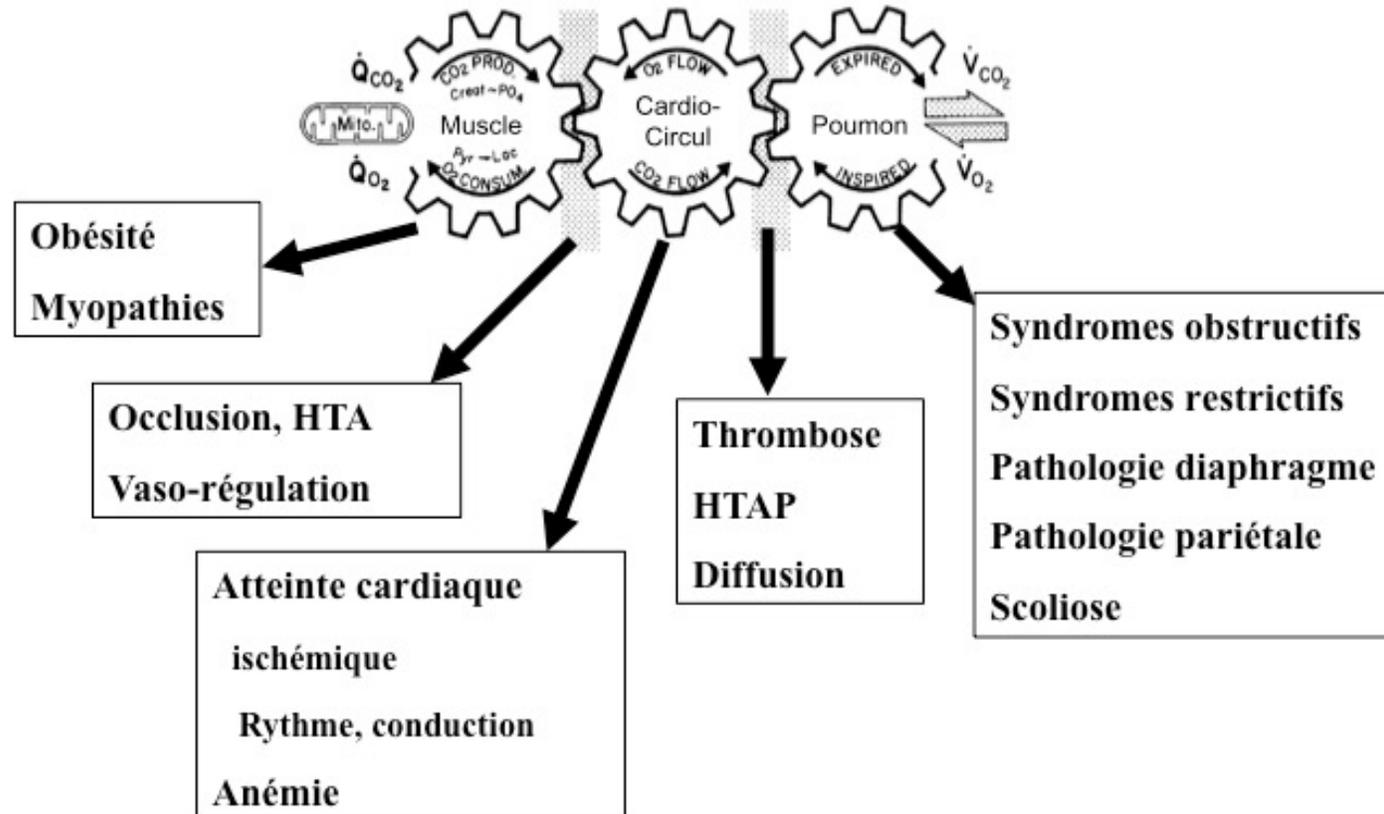
8) Approche analytique statistique sans a priori

ACP Maladies Métaboliques : Efx-Biologie



Analyse et interprétation des résultats

9) Hypothèses

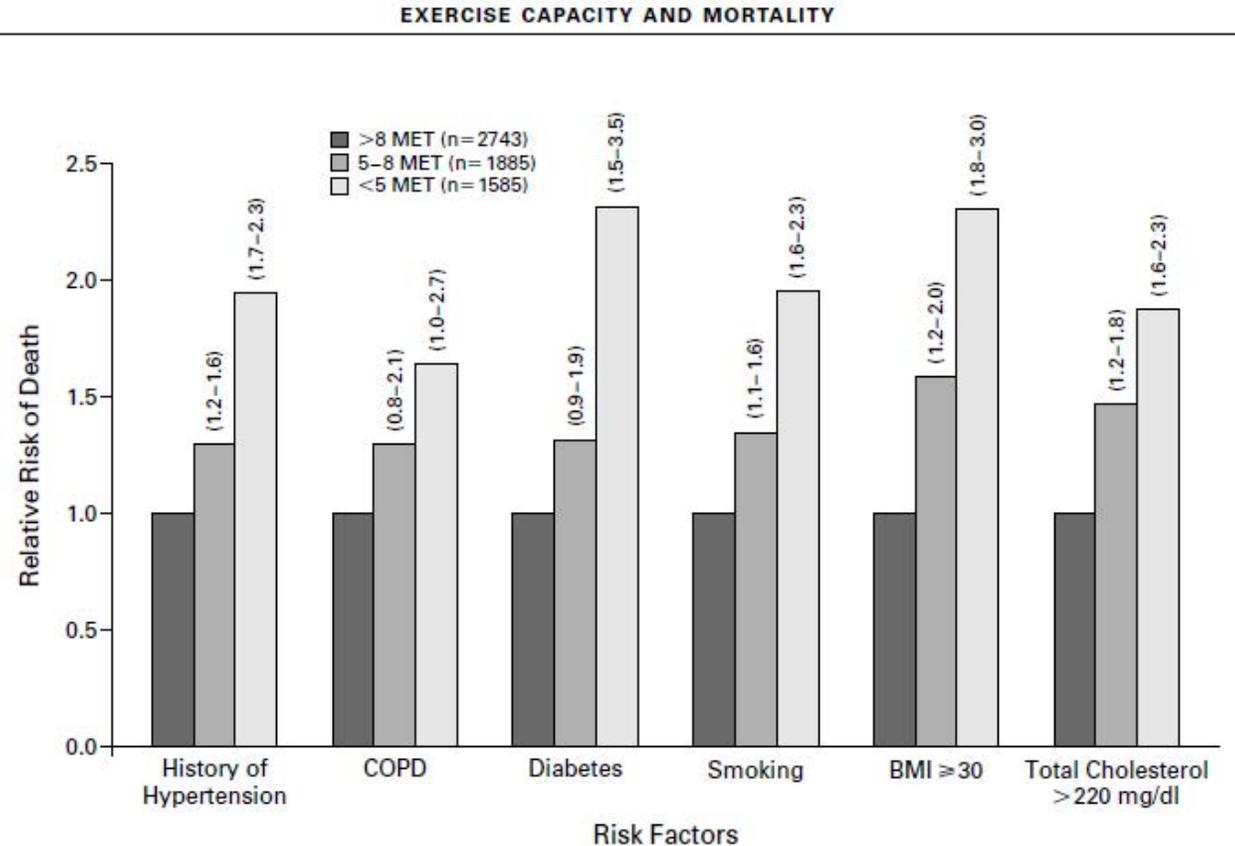
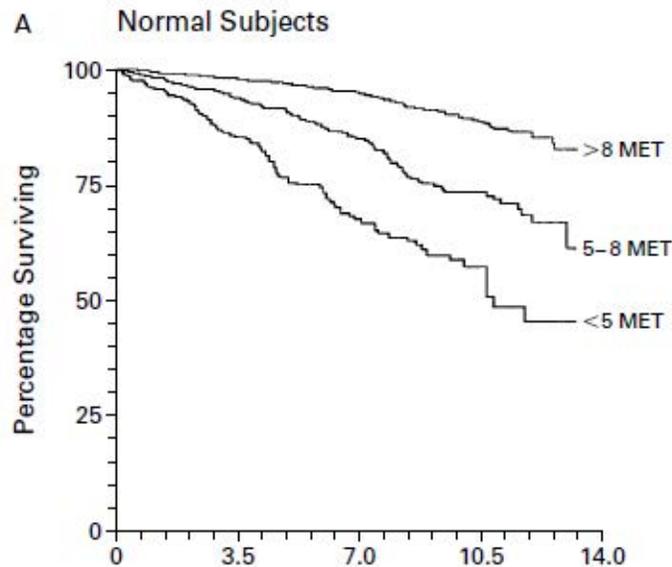


Origine respiratoire
Origine cardio-circulatoire
Origine musculaire
Niveau de compensation

Analyse et interprétation des résultats

10) Critères de gravité

Critères de gravité :



Myers J et al. N Eng J Med (2002)

Analyse et interprétation des résultats

10) Critères de gravité

Critères de gravité :

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

$VO_2\text{pic}$	$< 14 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, $< 4 \text{ METs}$ (1 MET=3,5 mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)
VO_2 au seuil	$< 11 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$
VE/VO_2	> 30 dans sa portion horizontale
VE/VCO_2	> 34 dans sa portion horizontale

Analyse et interprétation des résultats

10) Critères de gravité

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 :

$$\text{Sujet A : } VE/VO_2=25$$

$$\text{Sujet B : } VE/VO_2=35$$

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

Analyse et interprétation des résultats

10) Prescription du réentraînement (pathologie)

A) Marqueurs Efx pour la prescription du réentraînement

Puissance maximale (pic de puissance)

Fc-max, VE-max, ECG

Puissance au seuil ventilatoire SV_1

Fc- SV_1 , VE- SV_1 , ECG

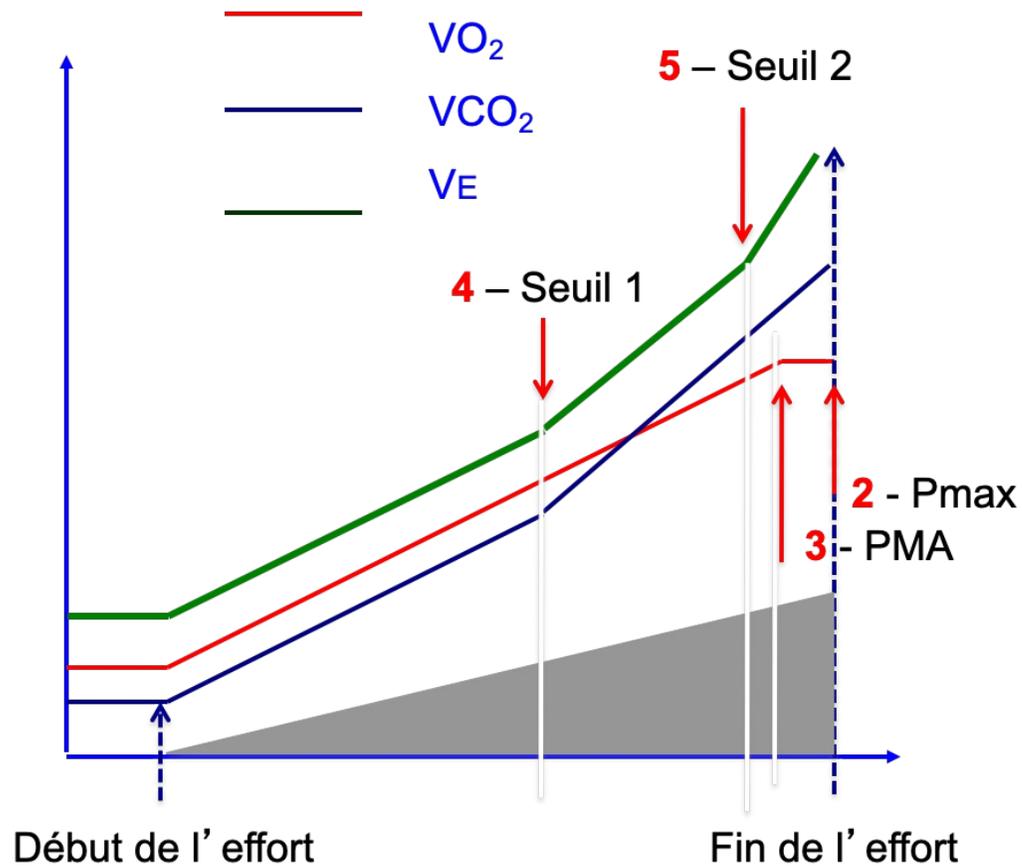
Échelle de dyspnée

B) Facteurs pronostics de l'efficacité du réentraînement

Persistance d'une réserve musculaire sur une épreuve « symptom limited »

Analyse et interprétation des résultats

10) Prescription du réentraînement (sportif)



Principaux repères de l'entraînement en endurance :

PMA : Puissance maximale aérobie

Paramètres au SV₂ :

Vitesse, puissance, Fc

Paramètres au SV₁ :

Vitesse, puissance, Fc



EFx : de la réalisation à l'interprétation

RUDDY RICHARD

ruddy.richard@uca.fr

r-richard@chu-clermontferrand.fr



FARES GOUZI

f-gouzi@chu-montpellier.fr

