

Rationnel Physiologique et clinique pour la conduite de l'EFX

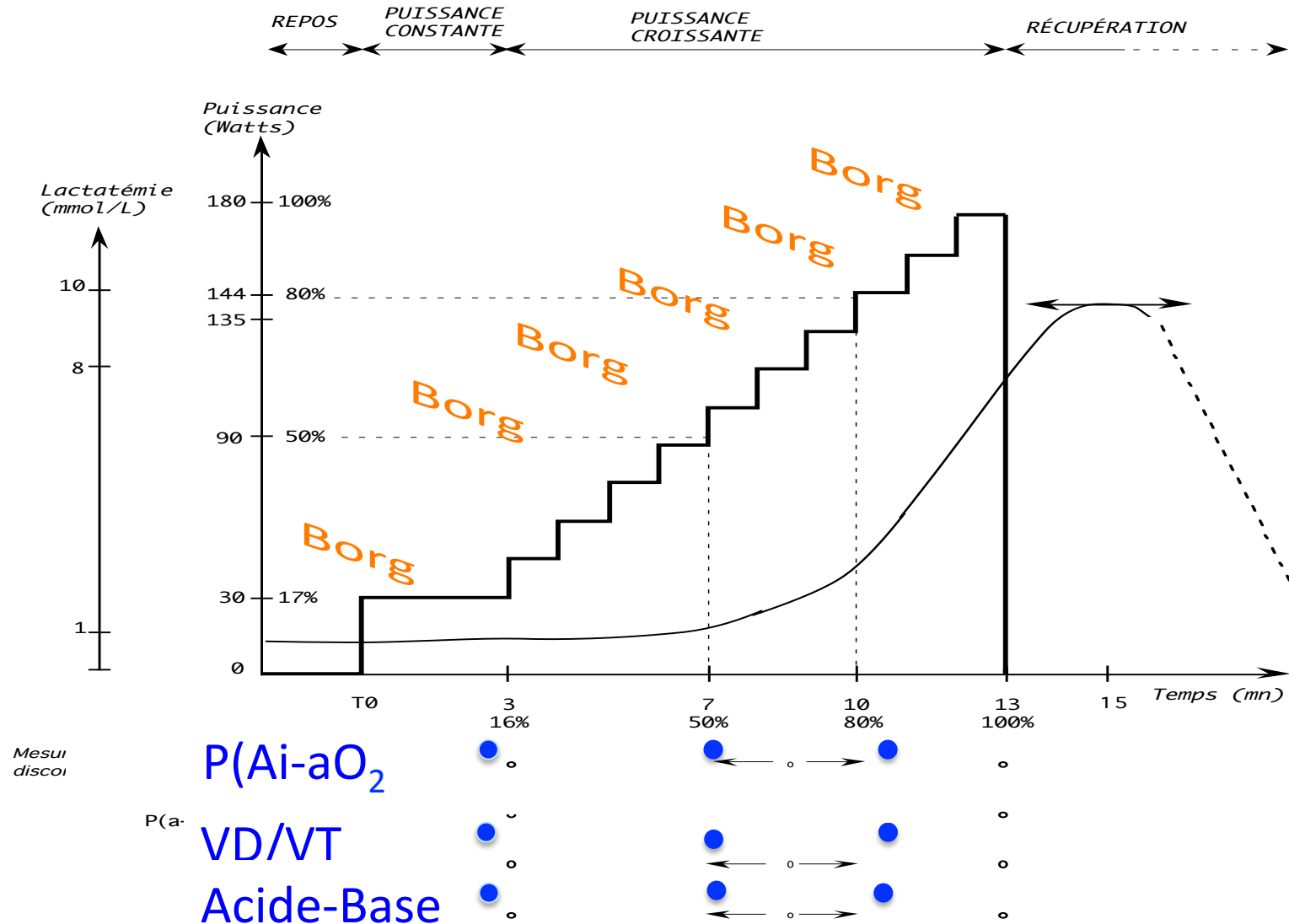
Exploration Fonctionnelle à l'exercice (EFX)



Situation de contrainte standardisée
au cours de laquelle sont évaluées :

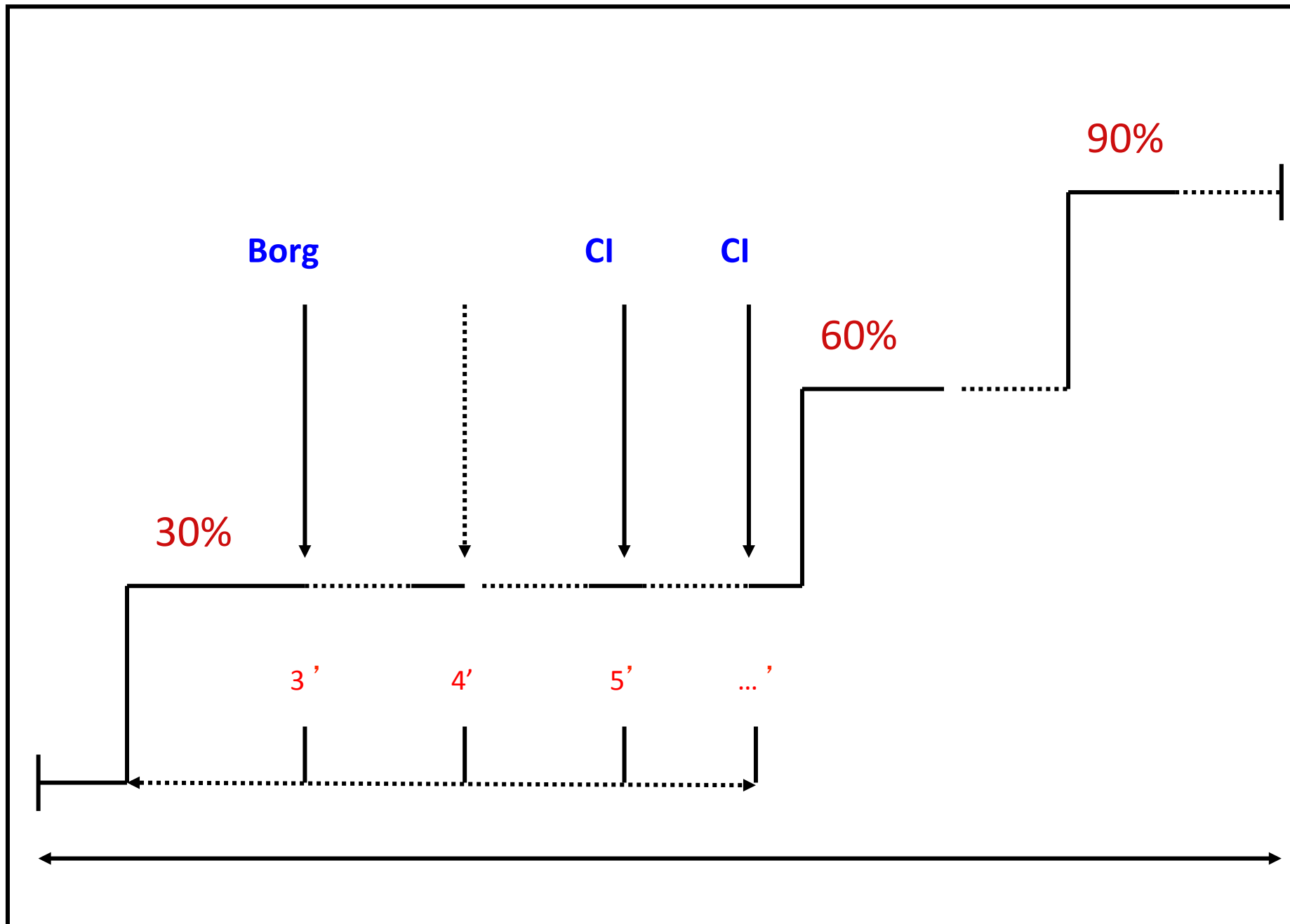
1. Les symptômes (Borg)
2. Les réponses Physiologiques :
 - 1- Électrophysiologique
 - 2- cardio-circulatoire
 - 3- Ventilatoire
 - 4- Échanges gazeux pulmonaires
 - 5- Acido-basique
3. Les relations entre elles ++

Déroulement d'une EFX incrémentale

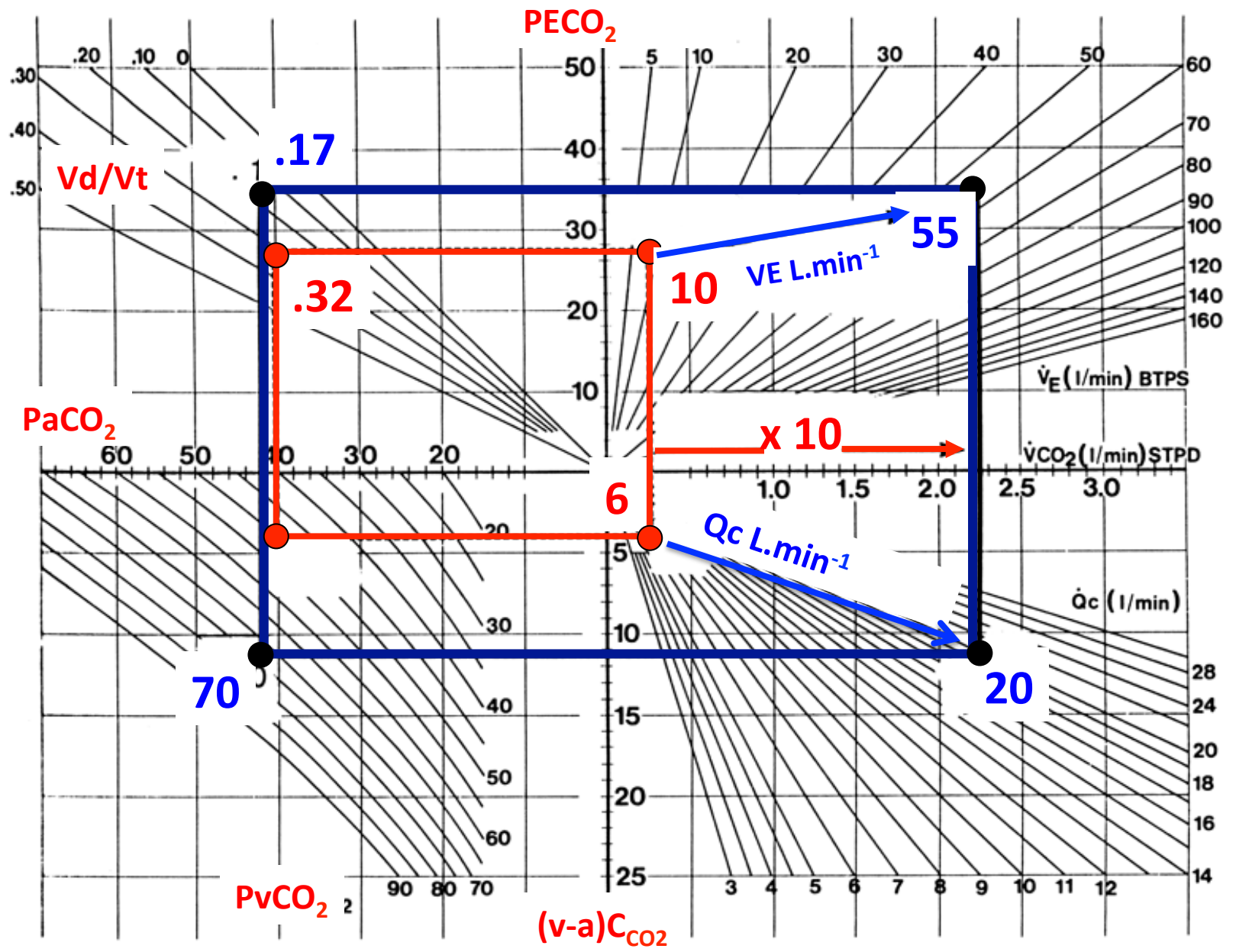


Les exercices à charges constantes

1. Pour l'étalonnage de l'ensemble du système de mesure (Vélo + Ergo spiromètre)
 - $VO_{2SS} =$
2. Pour les mesures de distension dynamique du thorax
3. Pour reconnaître et quantifier une dysfonction mitochondriale
4. Pour les mesures non invasives du débit cardiaque



Mesurées	Calculées	Estimées
VE	VO_2	Q_c
V_T	VCO_2	VES
FR	VE/VO_2	$\Delta (A-v)O_2$
FC	RER	QR
$F_{E}O_2$	$P_{ET}O_2$	PAO_2
$F_{I}O_2$	$P_{ET}CO_2$	P_aCO_2
$F_{E}CO_2$	PA_iO_2	
$F_{ET}CO_2$	$P(A_i-a)O_2$	
$F_{EMix}CO_2$	$P_{EMix}CO_2$	Vd/Vt



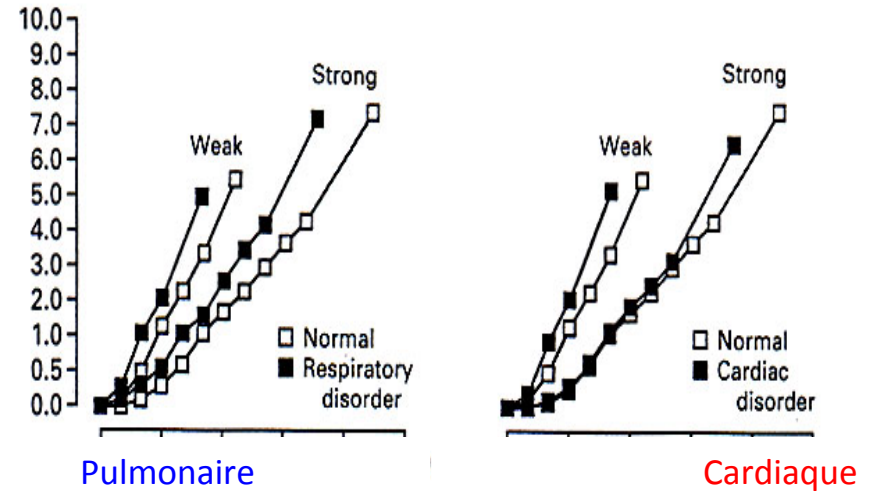
Graphique de Margaria 1937

Rationnel

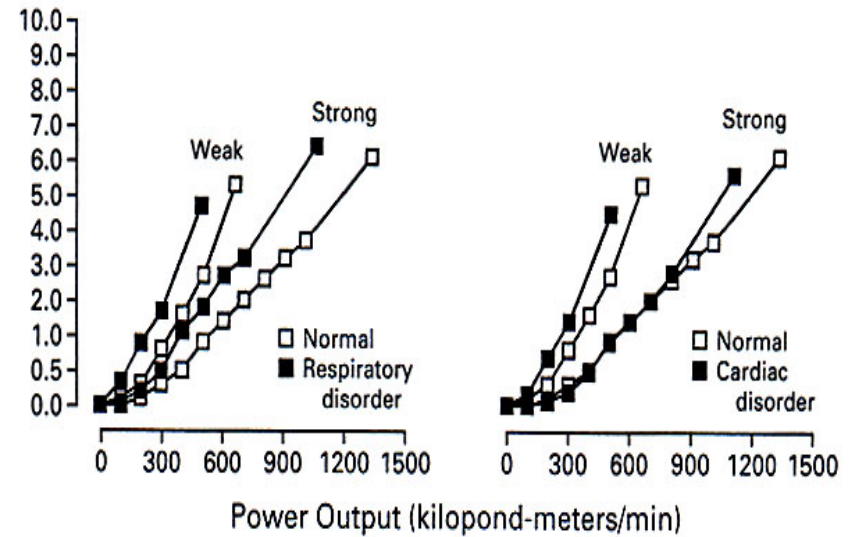
1. Evaluation des symptômes
2. Puissance mécanique/métabolique
3. Rendement métabolique et pente VO_2/Watt
4. RER
5. Hyperpnée – Hyperventilation
6. Seuil ventilatoire
7. $P(\text{A}_i\text{-a})\text{O}_2$ et VD/VT
8. Astuces ou Pièges liées à l'informatique

Evaluer les symptômes

FATIGUE



DYSPNEE



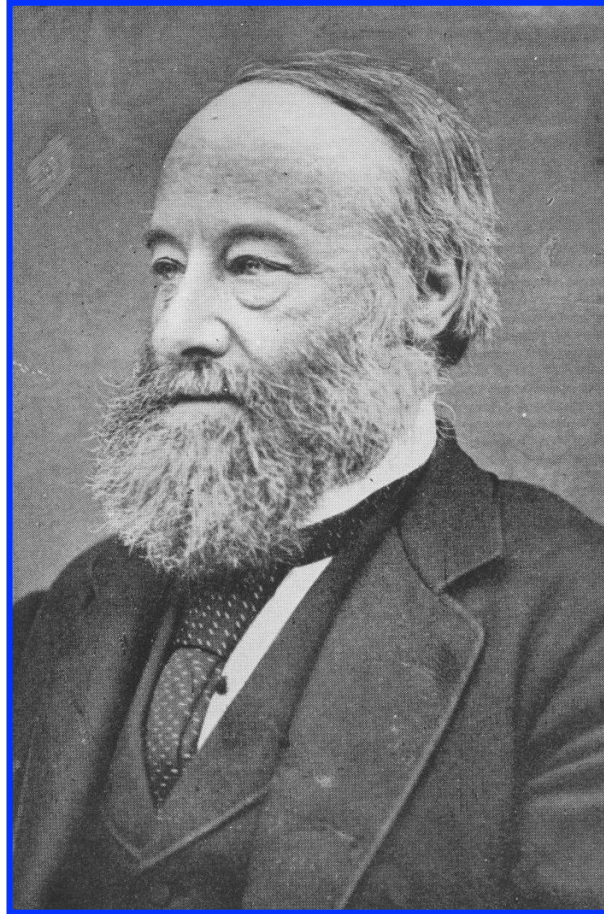
Rationnel

1. Evaluation des symptômes
2. Puissance mécanique/métabolique
3. Rendement métabolique et pente VO_2/Watt
4. RER
5. Hyperpnée – Hyperventilation
6. Seuil ventilatoire
7. $P(\text{A}_i\text{-a})\text{O}_2$ et VD/VT
8. Astuces ou Pièges liées à l'informatique

Le Joule est une unité d'énergie

L'**énergie** est définie en physique comme la capacité d'un système à produire un travail, entraînant un mouvement ou produisant par exemple de la lumière, de la chaleur ou de l'électricité.

1 kJ = 239,2 calories

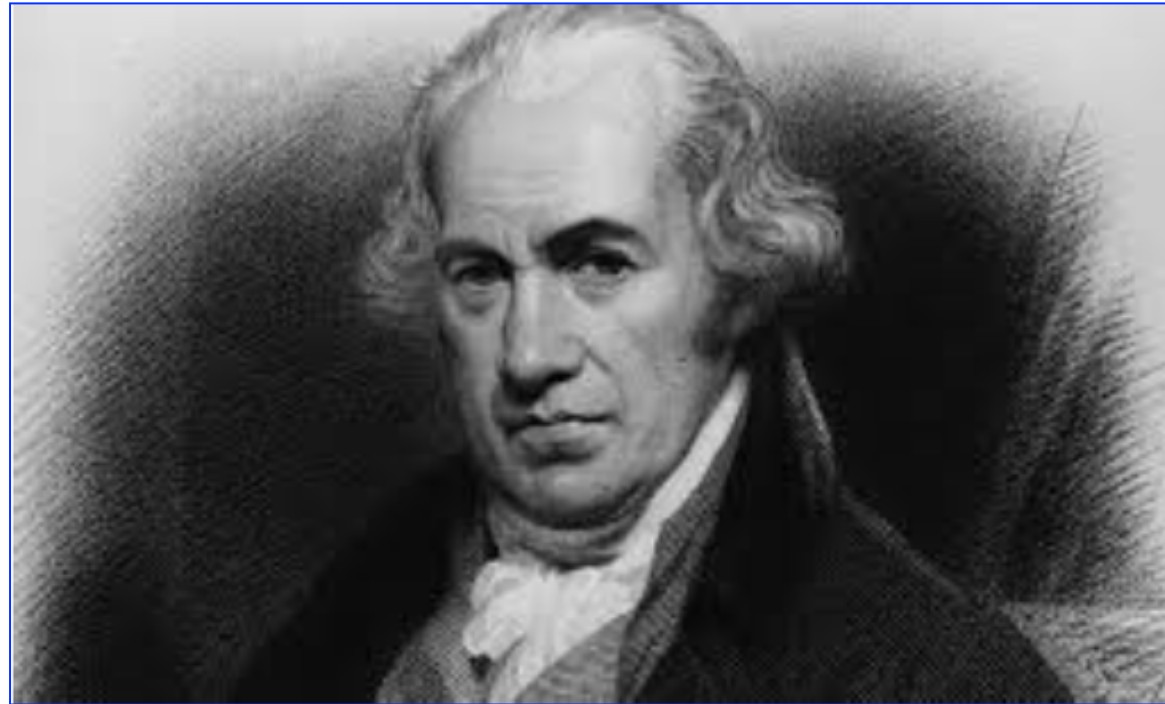


1 cal = 4,18 joules

James Prescott Joules

24 décembre 1818-11 octobre 1889

Puissance est exprimée en Watt



James Watt 17 janvier 1736 – 25 aout 1819

Puissance est exprimée en Watt



James Watt 17 janvier 1736 – 25 aout 1819

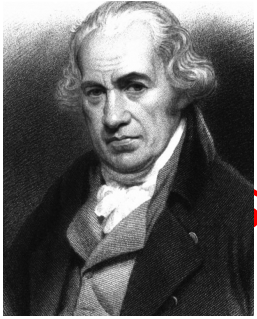
Puissance est exprimée en Watt

1 Watt = 1 Joule par seconde

Autres modes d'expression :

1 Cal = 4,18 J

1 Kcal.min⁻¹ = 4,18 x 1000 / 60 sec = 70 Watts



issance est exprimée en Watt

1 Watt = 1 Joule par seconde

Autres modes d'expression :

$VO_2 : L.O_2.min^{-1}$

L'équivalent énergétique (coefficient thermique) de l'O₂ varie avec la situation nutritionnelle et physiologique (ex : Exercice)

au repos (RER = 0,82)

$VO_2 = 1 L.min^{-1} = 20,4 kJ = 5 Kcal$

Tableau II Vie quotidienne : charges métaboliques totales (métabolisme de repos inclus) correspondant à quelques activités

	$W.kg^{-1}$	$mLO_2.min^{-1}.kg^{-1}$	MET
Toilette, habillage, déshabillage	2,7	8,0	2
Marche, 4,0 km.h ⁻¹ (3,30 J.kg ⁻¹ .m ⁻¹)	3,9	14,0	3
Activités ménagères,			
légères, peu de déplacements	3,2	9,5	3
lourdes, grands nettoyages	5,4	16,0	5
Faire les courses	3,7	11,0	3
Bricolage, avec déplacements	5,4	16,0	4
Jardinage	3,0 - 6,0	9,0 - 18,0	3 - 5

Valeurs approximatives des charges métaboliques totales.

Tableau III Vie professionnelle : charges métaboliques totales (métabolisme de repos inclus) liées à quelques activités professionnelles

	$W.kg^{-1}$	$mLO_2.min^{-1}.kg^{-1}$	MET
Immobile (bureau, précision)	2,0	6,0	2
Bureau, avec déplacements	3,2	9,5	3
Debout, avec déplacements	4,0	12,0	3
Mécanique, avec déplacements	5,4	16,0	5
Terrassement (pelle, pic)	9,2	27,5	8
Escalier (1 étage en 15 s)	11,2	33,5	10

Valeurs approximatives des charges métaboliques totales.

Rendement métabolique

Puissance mécanique / Puissance métabolique

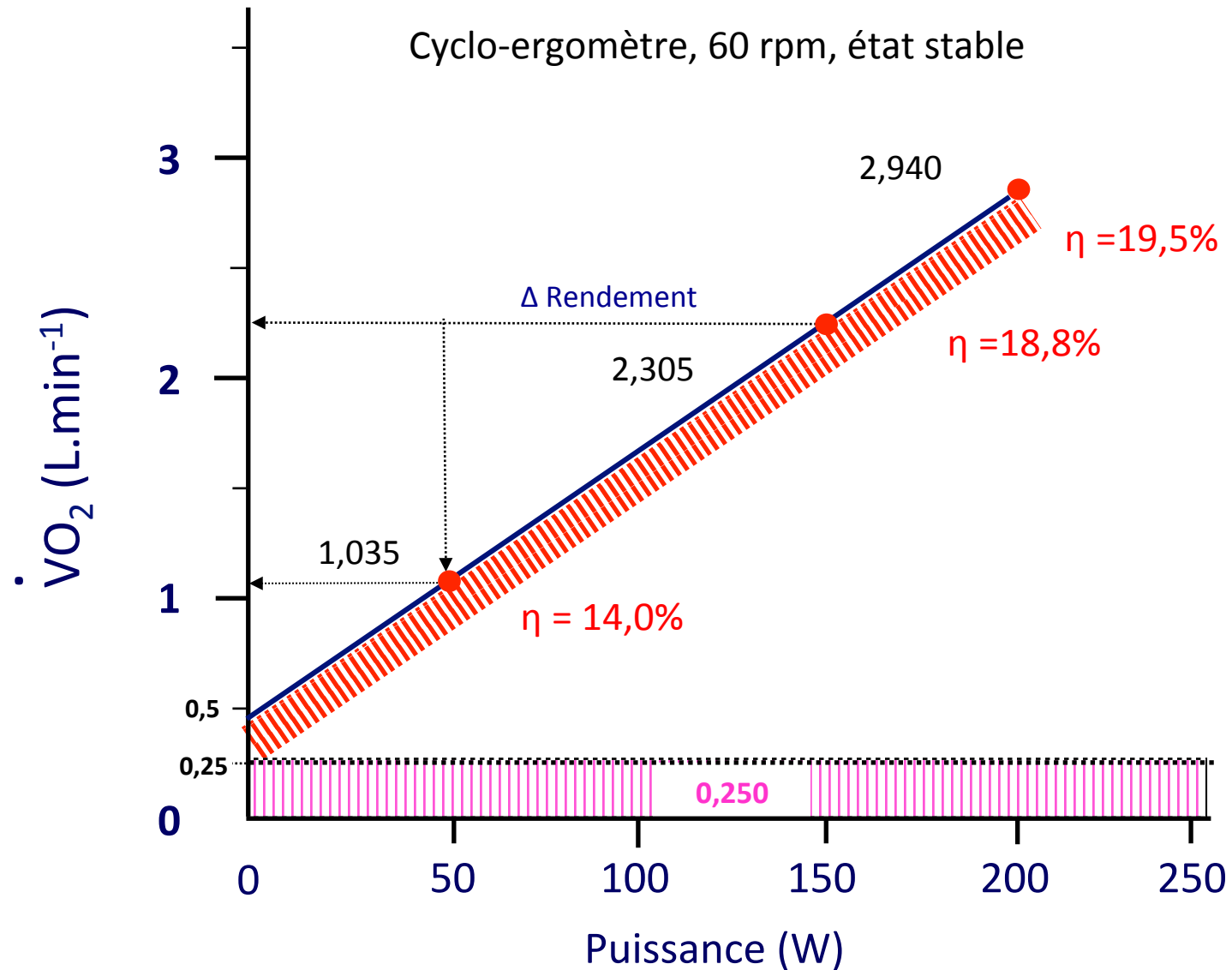
Exprimé dans la même unité : watt

Exemple : Si un sujet BPCO développe sur cyclo ergomètre une puissance mécanique de 100 W, la puissance MB est de :

500 W pour un R de 20 %

400 W pour un R de 25 %

Le Δ rendement s'affranchie du travail interne et du $\dot{V}O_2$ de repos

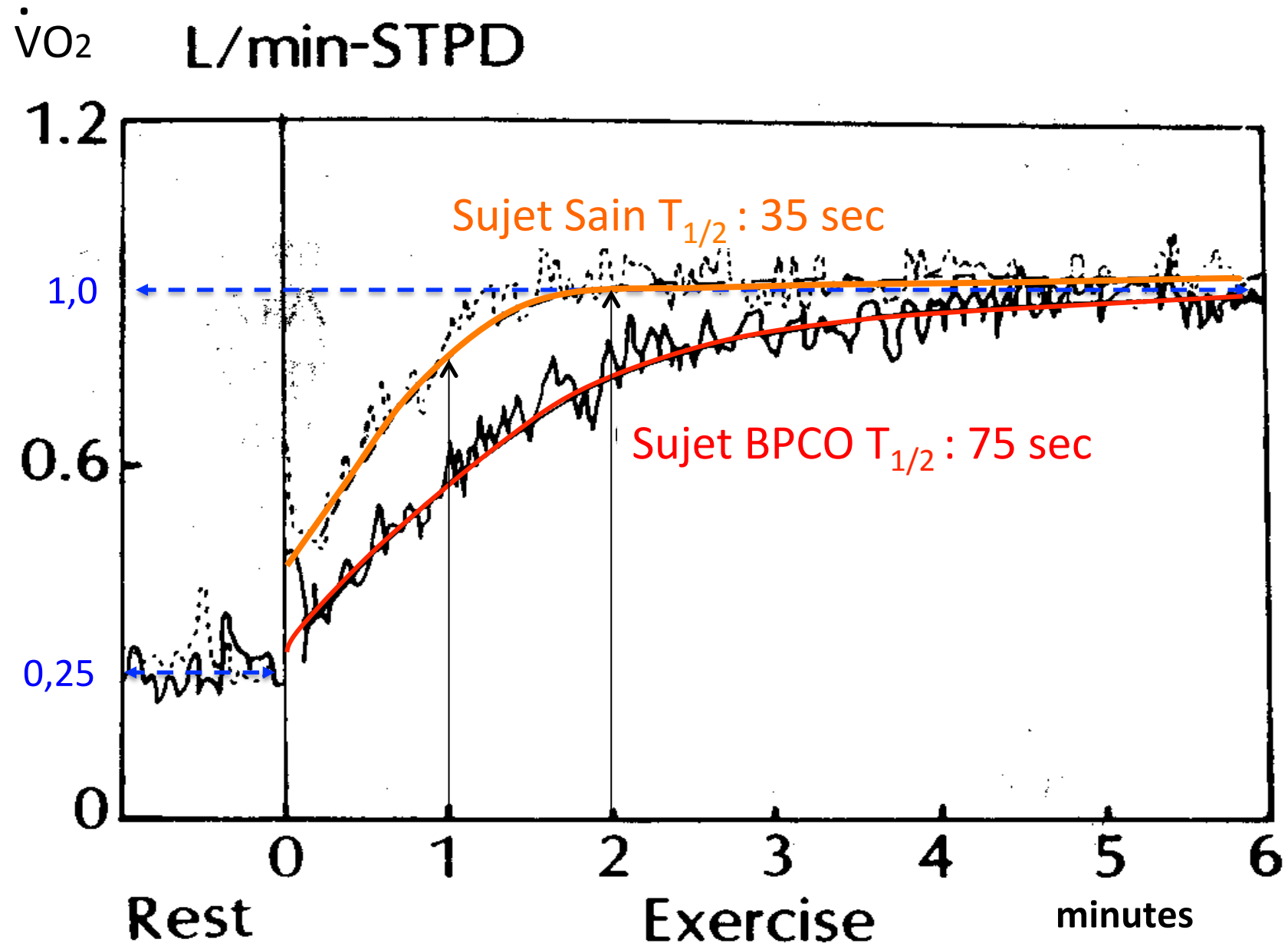


Cinétique de VO_2

(pente VO_2/watt)

Que savoir et quels repères pour juger :

- De la qualité de la mesure
- Permettre une interprétation fiable



1/2 vie	%plateau	sain	COPD
1	50.0	25	75
2	75.0	50	150
3	87.5	75	225
4	93.8	100	300
5	96.9	125	375
6	98.4	150	450
7	99.2	175	525

Tableau II Estimations du $\dot{V}O_2$ observé en fonction de la puissance de travail (W) et pour diverses valeurs du rendement

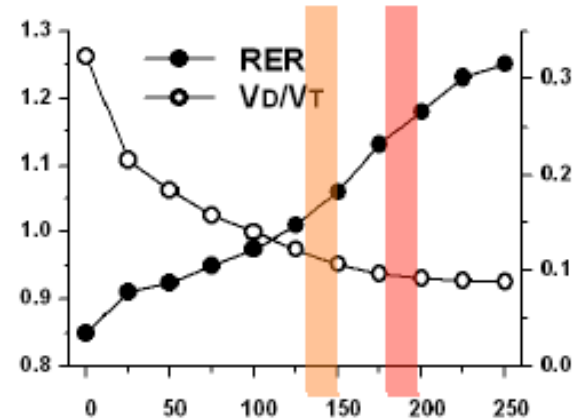
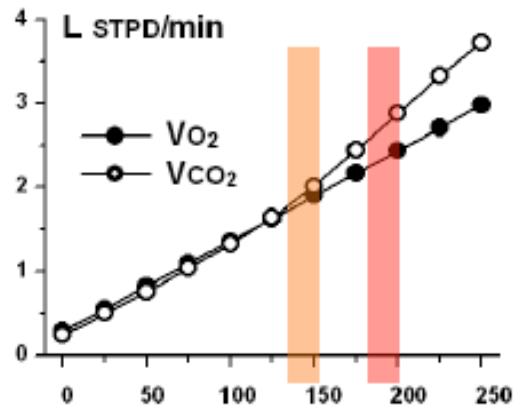
Puissance W	Exercice à puissance constante Δ de rendement (%)				Exercice incrémental $\dot{V}O_2$ (mL O_2 .min $^{-1}$) / W		
	24	22	20	18	8	10	12
0	350	350	350	350	350	350	350
10	469	480	493	509	435	455	470
20	588	610	636	668	520	560	590
30	707	740	779	827	605	665	710
40	826	870	922	986	690	770	830
50	945	1000	1065	1145	775	875	950
60	1064	1130	1208	1304	860	980	1070
70	1183	1260	1351	1463	945	1085	1190
80	1302	1390	1494	1622	1030	1190	1310
90	1421	1520	1637	1781	1115	1295	1430
100	1540	1650	1780	1940	1200	1400	1550
110	1659	1780	1923	2099	1285	1505	1670
120	1778	1910	2066	2258	1370	1610	1790
130	1897	2040	2209	2417	1455	1715	1910
140	2016	2170	2352	2576	1540	1820	2030
150	2135	2300	2495	2735	1625	1925	2150
160	2254	2430	2638	2894	1710	2030	2270
170	2373	2560	2781	3053	1795	2135	2390
180	2492	2690	2924	3212	1880	2240	2510
190	2611	2820	3067	3371	1965	2345	2630
200	2730	2950	3210	3530	2050	2450	2750
220	2968	3210	3496	3848	2220	2660	2990
240	3206	3470	3782	4166	2390	2870	3230
260	3444	3730	4068	4484	2560	3080	3470
280	3682	3990	4354	4802	2730	3290	3710
300	3920	4250	4640	5120	2900	3500	3950
350	4515	4900	5355	5915	3325	4025	4550
400	5110	5550	6070	6710	3750	4550	5150

Comment déterminer la pente VO_2/watt ?

$$Y_2 - Y_1 / X_2 - X_1$$

Détermination graphique

**Échanges gazeux
CO₂: VCO₂ et QR ou RER ?**



glucose + acides gras + protéines + O₂ → CO₂ + H₂O + urée + Énergie chimique (P (W) chimique)

dans la mitochondrie	VCO ₂ /VO ₂ = QR (quotient respiratoire)	glucose	QR = 1,0
		acides gras	QR = 0,7
		protéines	QR ~ 0,843

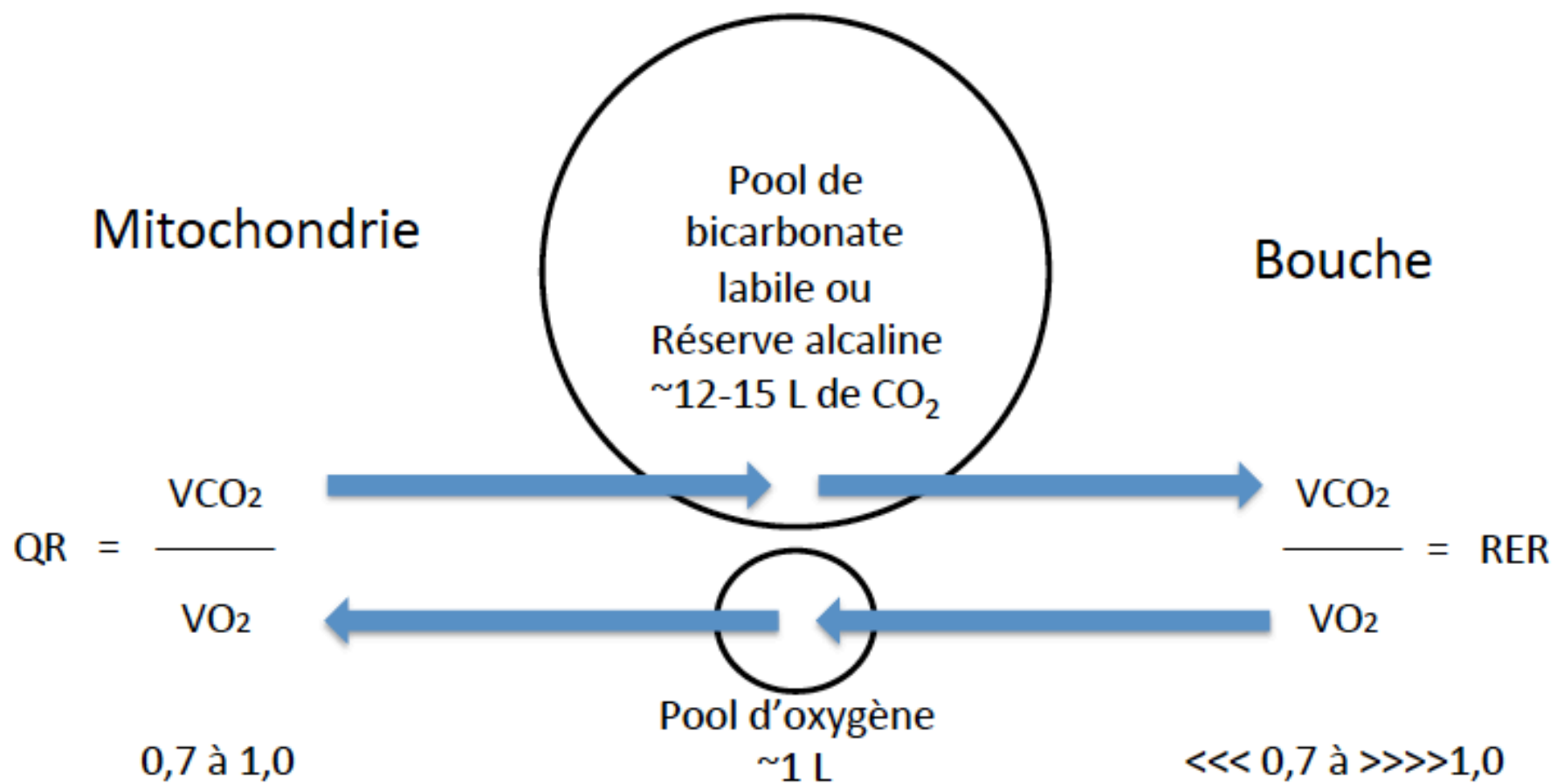
Repos (post absorptive) ~17% protéines; ~42% glucose; ~42 % acides gras QR ~0,85

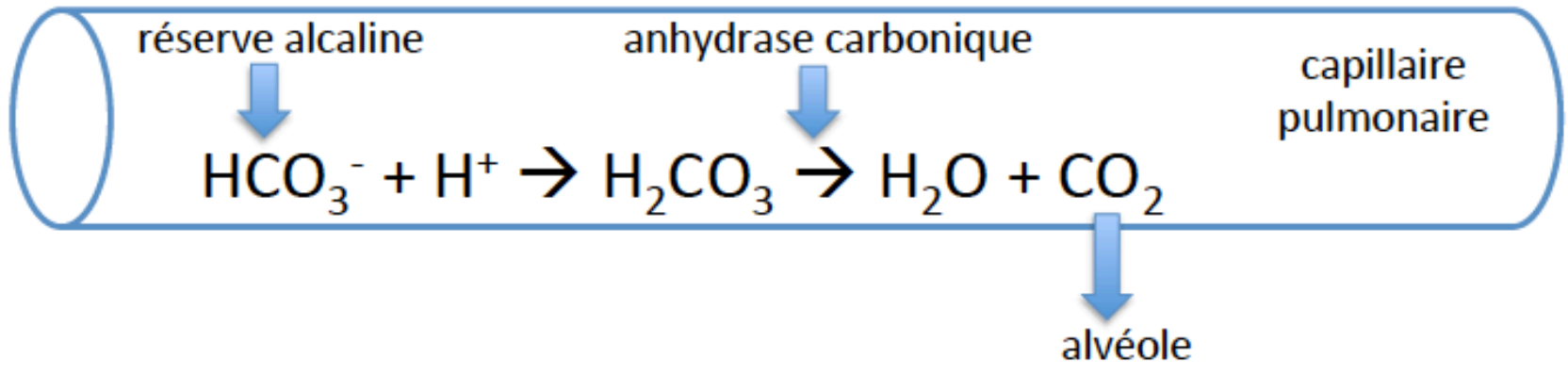
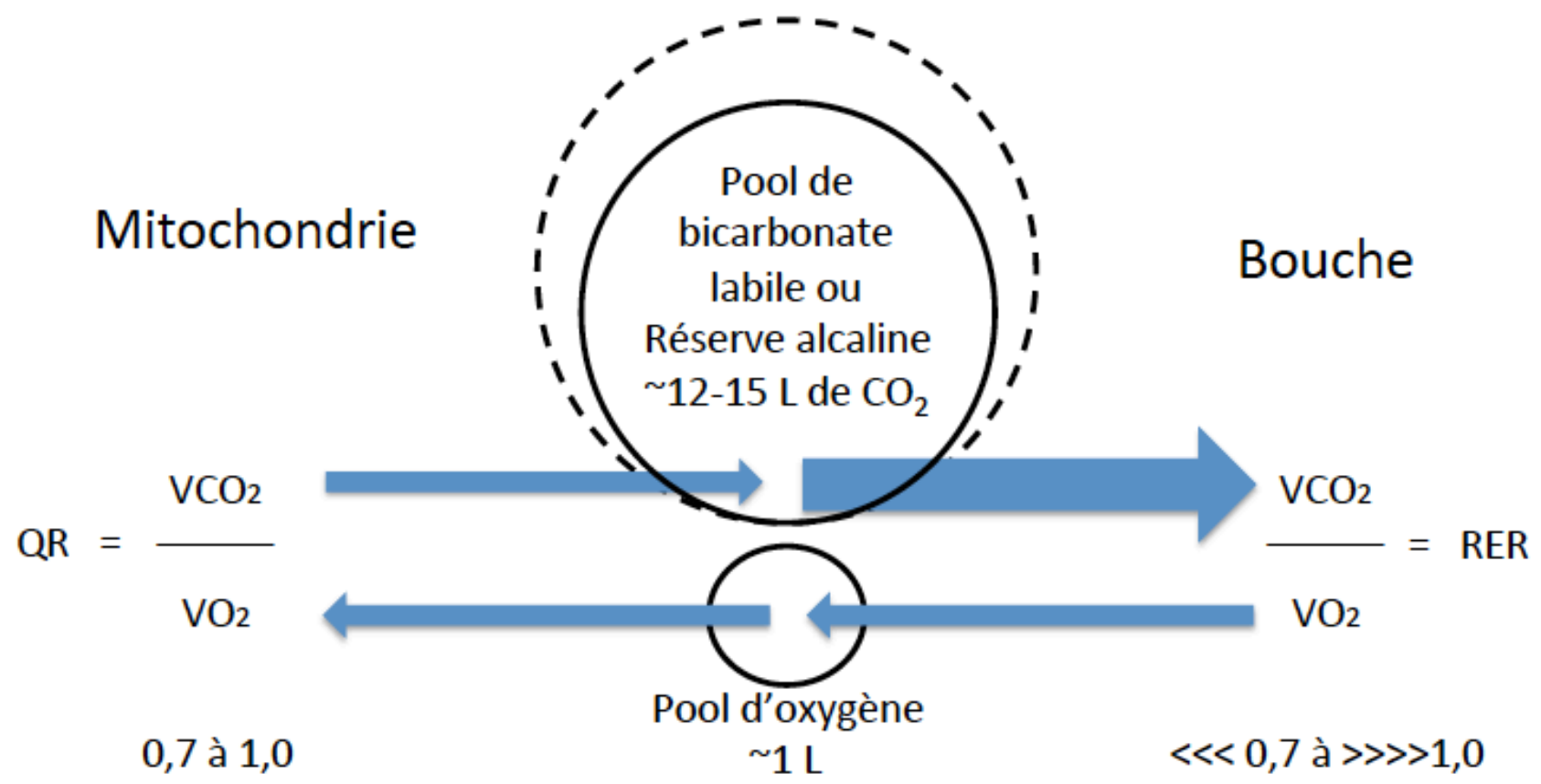
Exercice → 100 % de glucose P > ~80 % P_{max} ou avant QR → 1,0

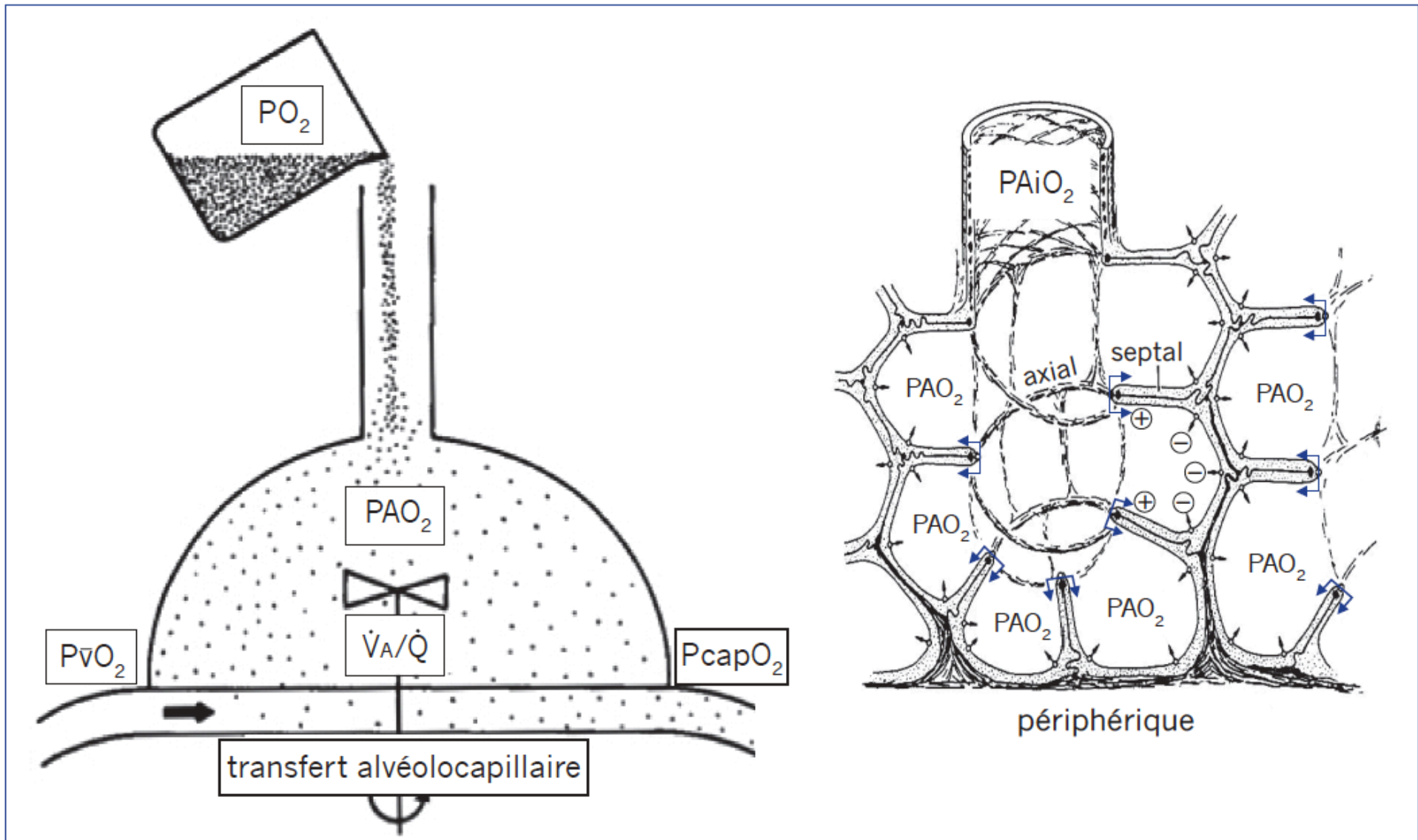
à la bouche VCO₂/VO₂ = RER (Respiratory Exchange Ratio) RER → >>>> 1,0

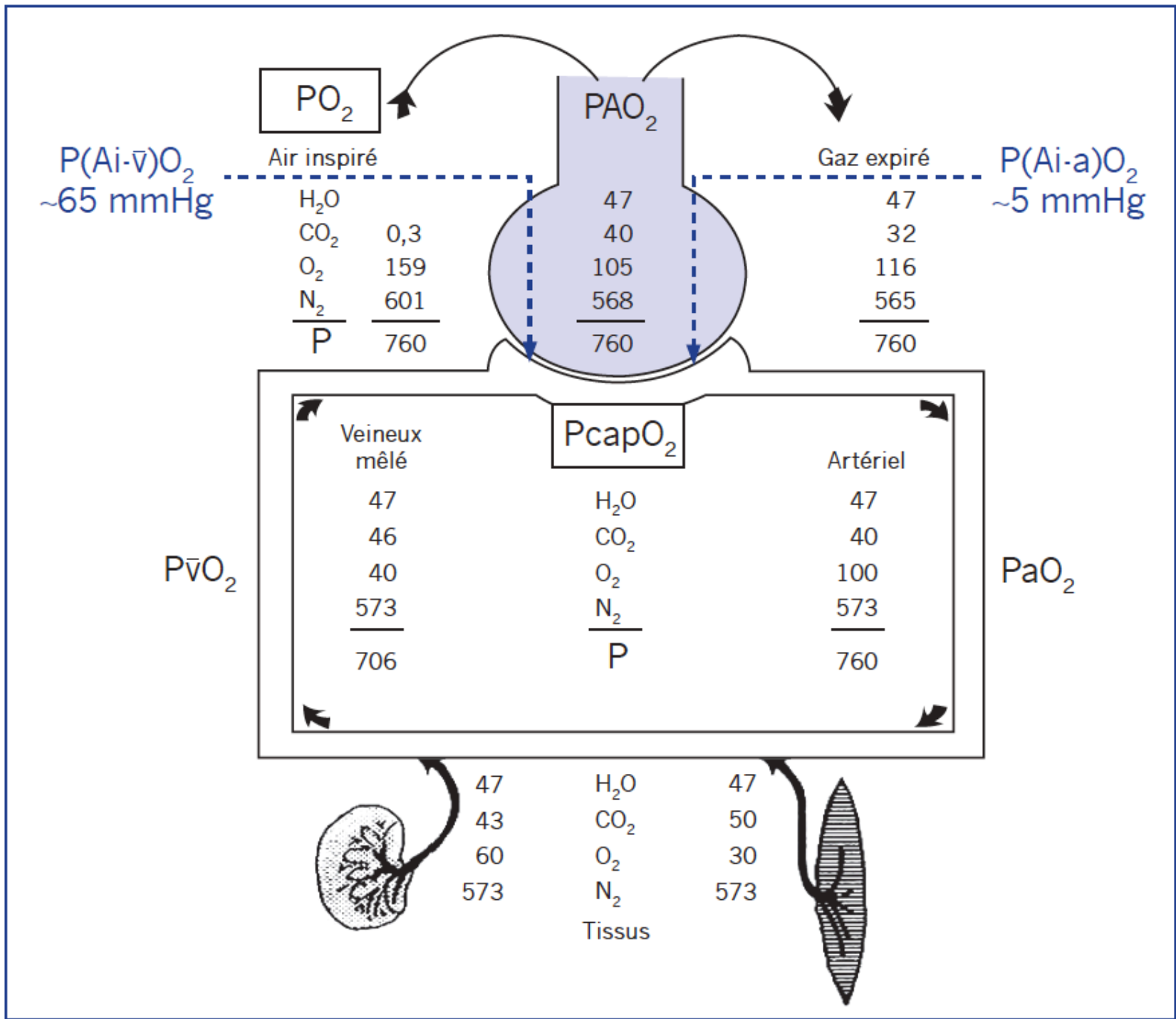
O₂ consommé est de l'O₂ métabolique: pour l'oxydation des substrats (réserve < 1 L)

CO₂ produit est du CO₂ métabolique: produit par l'oxydation des substrats
du CO₂ non-métabolique provenant de la réserve alcaline (bicarbonate)









$$\text{PAiO}_2 = \text{PIO}_2 - (\text{PaCO}_2 / \text{RER})$$
$$\text{où } \text{PIO}_2 = \text{FIO}_2 \times (\text{PB} - 47)$$

Repos $\text{PAiO}_2 = [0,2093 (760 - 47)] - (39,7 / 0,85) = 102 \text{ mmHg}$

SV_1 $\text{PAiO}_2 = [0,2093 (760 - 47)] - (43 / 1) = 106 \text{ mmHg}$

Max $\text{PAiO}_2 = [0,2093 (760 - 47)] - (32,5 / 1,25) = 123 \text{ mmHg}$

$$P(Ai-a)O_2 = [0,33 \times \hat{\text{age}} (\text{ans})] + [5,5 \times \dot{V}O_2 (L O_2 \cdot \text{min}^{-1})]$$

Âge	P(Ai-a)O ₂ mmHg		ṠO ₂ L O ₂ .min ⁻¹		
	Repos	1	1,5	2	2,5
20	7,9	12,1	14,9	17,6	20,4
25	9,6	13,8	16,5	19,3	22,0
30	11,2	15,4	18,2	20,9	23,7
35	12,9	17,1	19,8	22,6	25,3
40	14,5	18,7	21,5	24,2	27,0
45	16,2	20,4	23,1	25,9	28,6
50	17,8	22,0	24,8	27,5	30,3
55	19,5	23,7	26,4	29,2	31,9
60	21,1	25,3	28,1	30,8	33,6
65	22,8	27,0	29,7	32,5	35,2
70	24,4	28,6	31,4	34,1	36,9
75	26,1	30,3	33,0	35,8	38,5
80	27,7	31,9	34,7	37,4	40,2
85	29,4	33,6	36,3	39,1	41,8

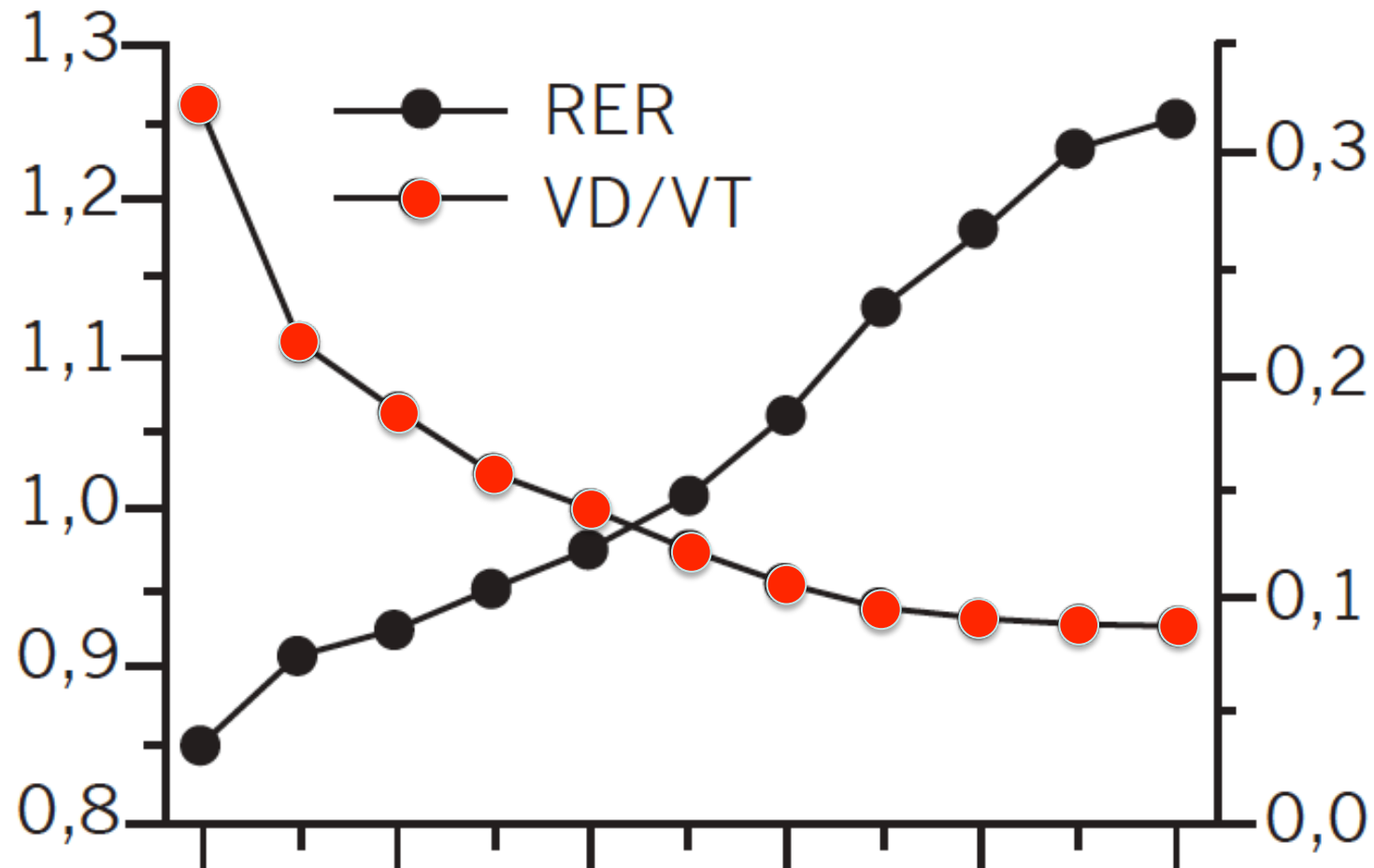
$$VD/VT = (PACO_2 - PEmix CO_2) / PACO_2$$

$$PACO_2 = PaCO_2 \quad (\text{et pas } P_{ET}CO_2)$$

PEmix CO₂ est calculé

par le moyennage de l'intégrale FECO₂ au cours
de l'expiration de chaque cycle respiratoire

L'espace mort : VD/VT



$$VD/VT = (PACO_2 - PEmix CO_2) / PACO_2$$

En Pratique

Avant l'EFX

1. Etalonnages ergospiromètre : Avant l'entrée du patient
2. Préparation du prélèvement capillaire
3. Explication du déroulement de l'examen
4. Etalonnage Borg 0 et Borg 10
5. Mesure de la spirométrie
6. Les 5 phases

5 phases

1. Repos assis sur le vélo
2. Puissance constante faible (3')
3. Incrémentation de la charge chaque 1'
4. L'exercice maximal
5. En récupération

Au cours de chacune des 5 phases

1. Contrôler la **cohérence** des enregistrements
2. Quelles **mesures** doit on faire ?
3. Que doit on **observer** ?
4. Quelle **attitude** avoir ?

Phase 1 : Repos assis sur le vélo

1. Cohérence

- VO_2 (mLO₂.min⁻¹) \approx 5,8 x poids (kg) + 151
- RER \approx 0.85 Jamais < 0,75

2. Mesures

- Aucune

3. Observer

- ECG
- Mode ventilatoire
- Signaux VE et FECO₂ et FEO₂

4. Attitude

- Ne pas parler et s'agiter

Phase 2 : Puissance constante

1. Cohérence

– $VO_2 \approx 5,8 \times \text{poids (kg)} + 151 + (10,1 \times P)$

mais rendement $\approx 28\%$!

– RER ≈ 0.85

2. Mesures

– Fin 3' : BORG puis Gaz

3. Observer

– ECG

– La puissance affichée

– Le débit ventilatoire (fuite ?)

4. Attitude

– Respecter le silence

Phase 3 : Incrément

1. Cohérence

- $\text{VO}_{2\text{ INCR.}}$ par rapport à la charge (50 w. / 100 w.)
 $\approx \text{VO}_{2\text{ REST}} + 10,2 \text{ mlO}_2 \cdot \text{W}^{-1} (\pm 2) \approx 350 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1} + 10,2 \text{ mlO}_2 \cdot \text{W}^{-1} (\pm 2)$
- Voir tableau
- RER ≈ 1 avant le SV et > 1 après le SV

2. Mesures

- PAS/PAD
au début de l'incrément après de le prélèvement.
Vers le SV
Un peu avant le max ou plus souvent si HTA
- BORG Dyspnée-Fatigue *au minimum SV et Max*
- Gaz Intermédiaire et Max

3. Observer

- Le patient – l'ECG et la réponse ventilatoire

4. Attitude

- Mettre en confiance (face au patient)
- Corriger une mauvaise position
- Encouragement standard
- Ne pas parler à un tiers (excepter une consigne)

Tableau II Estimations du $\dot{V}O_2$ observé en fonction de la puissance de travail (W) et pour diverses valeurs du rendement

Puissance W	Exercice à puissance constante Δ de rendement (%)				Exercice incrémental $\dot{V}O_2$ (mL O_2 .min $^{-1}$) / W		
	24	22	20	18	8	10	12
0	350	350	350	350	350	350	350
10	469	480	493	509	435	455	470
20	588	610	636	668	520	560	590
30	707	740	779	827	605	665	710
40	826	870	922	986	690	770	830
50	945	1000	1065	1145	775	875	950
60	1064	1130	1208	1304	860	980	1070
70	1183	1260	1351	1463	945	1085	1190
80	1302	1390	1494	1622	1030	1190	1310
90	1421	1520	1637	1781	1115	1295	1430
100	1540	1650	1780	1940	1200	1400	1550
110	1659	1780	1923	2099	1285	1505	1670
120	1778	1910	2066	2258	1370	1610	1790
130	1897	2040	2209	2417	1455	1715	1910
140	2016	2170	2352	2576	1540	1820	2030
150	2135	2300	2495	2735	1625	1925	2150
160	2254	2430	2638	2894	1710	2030	2270
170	2373	2560	2781	3053	1795	2135	2390
180	2492	2690	2924	3212	1880	2240	2510
190	2611	2820	3067	3371	1965	2345	2630
200	2730	2950	3210	3530	2050	2450	2750
220	2968	3210	3496	3848	2220	2660	2990
240	3206	3470	3782	4166	2390	2870	3230
260	3444	3730	4068	4484	2560	3080	3470
280	3682	3990	4354	4802	2730	3290	3710
300	3920	4250	4640	5120	2900	3500	3950
350	4515	4900	5355	5915	3325	4025	4550
400	5110	5550	6070	6710	3750	4550	5150

Phase 4 : Exercice maximal

1. Cohérence

- rien

2. Mesures

- PAS/PAD un peu avant
- BORG Dyspnée-Fatigue Max à demander juste après le max
- Gaz au Max ou juste avant si difficulté

3. Observer

- Le patient – l'ECG et la réponse ventilatoire

4. Attitude

- Encourager
- Rassurer
- Informer
- Aider le pédalage pour faciliter la prise de sang

Phase 5 : En récupération

1. Cohérence

- Pas de mesure ergospiromètre sauf protocole

2. Mesures

- PAS/PAD 1' – 3' – 6'
- Pas de Borg ni gaz sauf consigne ou protocole
- Pas de mesure VO_2/VE sauf consigne ou protocole

3. Observer

- Le patient ++
- l'ECG pendant 4' ou plus si ATCD ou doute cardiologique

4. Attitude

- Enlever l'embout dès que possible
- Féliciter et rassurer
- Demander les impressions selon histoire clinique
- Mettre Charge $\approx 30\%$ de puissance max pendant 2' puis cesser le pédalage (à modifier si protocole)

Age	25	VEMS	3,86	VMM	154
Poids	61	CV max	4,58	V. Capillaire	90
Taille	1,75	DIco	30		
			Stable	Intermédiaire	Max
					V. Max Attendues
Puissance Mécanique		<i>watts</i>	40	240	280
Dyspnée		<i>Borg</i>	0	4	7
Fatigue		<i>Borg</i>	0	2	4
Réponse Métabolique					
VO ₂	<i>lO₂.min⁻¹</i>	0,89	3,04	3,566	2,83
VO ₂	<i>mlO₂.min⁻¹.kg⁻¹</i>	16,6	52,1	58,5	126%
RER		0,94	0,97	1,08	
pH		7,5	7,45	7,4	
Lactatémie	<i>mmol.L⁻¹</i>	1,2		7,4	
Réponse Ventilatoire					
VE	<i>L.min⁻¹</i>	28	77	105	137
VE/VO ₂		31	25	29	72
VE/VCO ₂		33	26	27	
RV	<i>%</i>	82%	50%	32%	> 15
VT	<i>ml</i>	1273	2484	2561	
VT/CV _{MAX}		28%	54%	56%	60-70
FR	<i>cpm</i>	22	31	41	
Echanges Gazeux					
PAiO ₂	<i>mmHg</i>	109	108	112	
PaO ₂	<i>mmHg</i>	89	72	69	
P(Ai-a)O ₂	<i>mmHg</i>	20	36	43	26
SaO ₂	<i>%</i>	97	95	93	
PaCO ₂	<i>mmHg</i>	36	38	38	
VD/VT	<i>%</i>	17	7	13	10
Réponse Cardio-Circulatoire					
TAS/TAD	<i>mmHg</i>	150/70	160/80	180/90	
FC	<i>bpm</i>	88	178	186	194
VO ₂ /FC	<i>mlO₂.FC⁻¹</i>	10,1	17,1	19,2	14,6
			Valeurs calculées		
ΔVO ₂ /Watt	<i>mlO₂.watt⁻¹</i>		11,2		10,2 ± 2
ΔFC/ΔVO ₂	<i>batt.L.O₂⁻¹</i>		37		< 50

BORG DYSPNEE

Hyperventilation

Mode Ventilatoire

Diffusion de l'O₂

Espace Mort

Transport Cardio-Circulatoire