

Le CO₂ en réanimation

Thierry Braun

Réanimation médicale Hautepierre



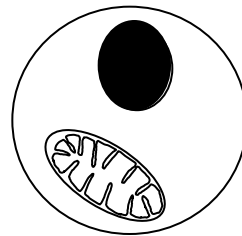
PLAN

- Métabolisme du CO₂
- ETCO₂ et évaluation de la précharge-dépendance
- Gradient veino-artériel et tissu-artériel en CO₂
- Capnographie volumétrique

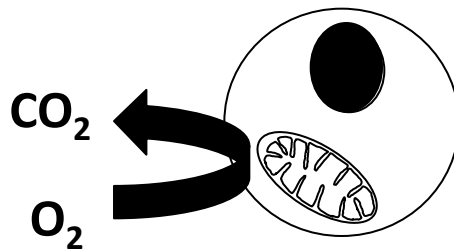
PLAN

- **Métabolisme du CO₂**
- ETCO₂ et évaluation de la précharge-dépendance
- Gradient veino-artériel et tissu-artériel en CO₂
- Capnographie volumétrique

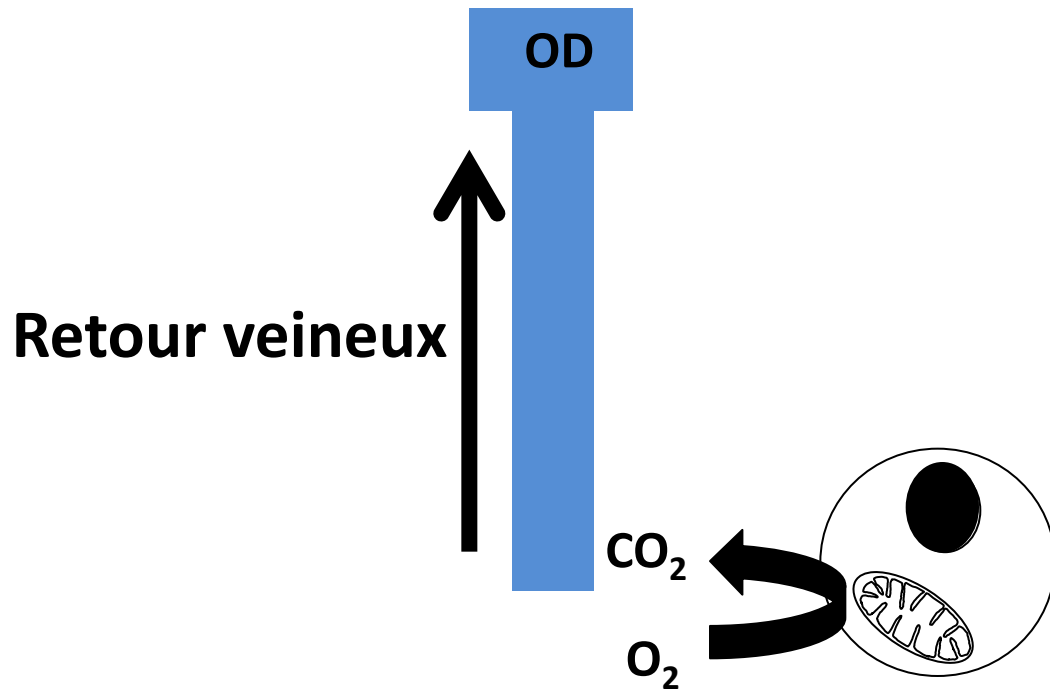
Métabolisme du CO₂



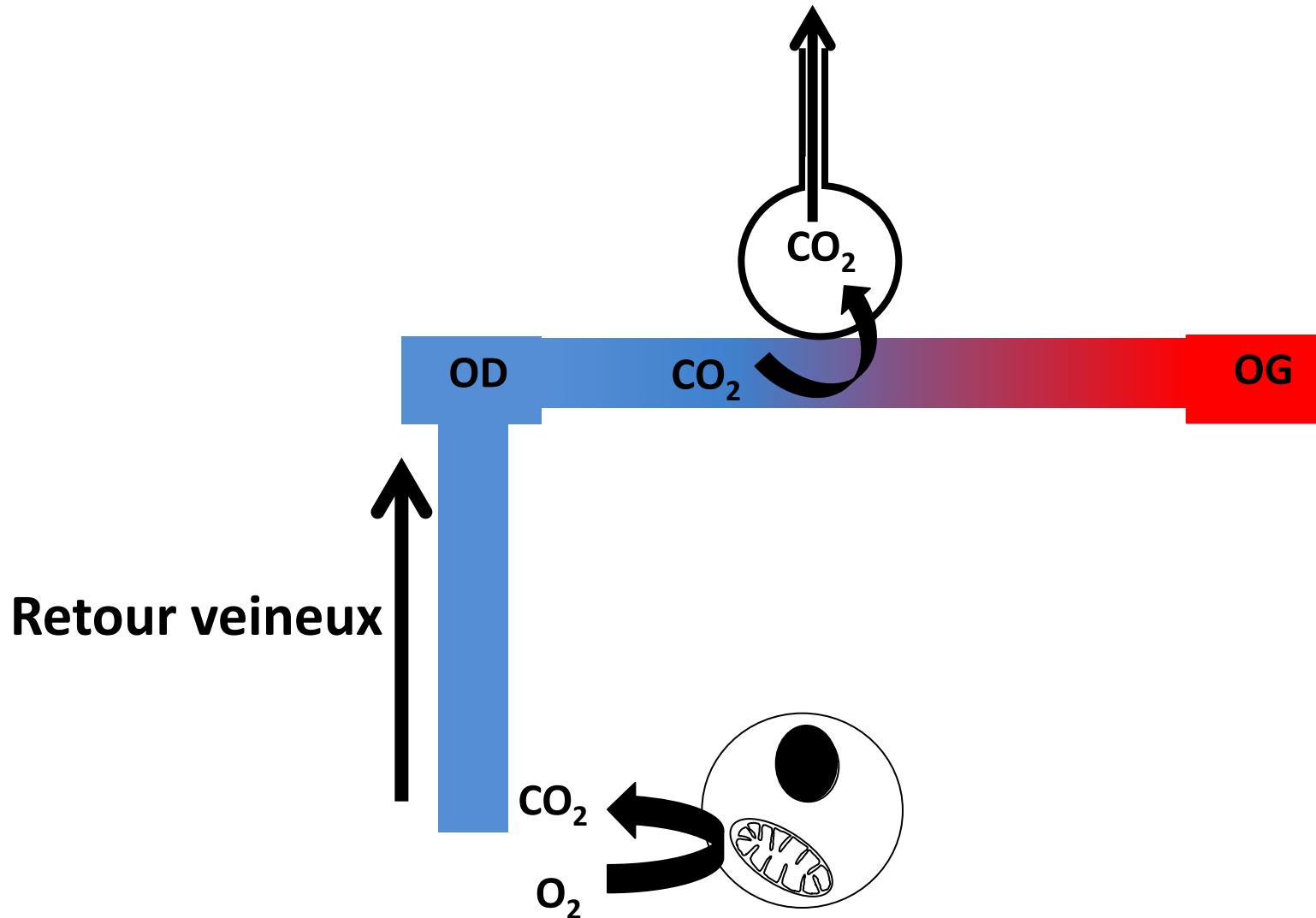
Métabolisme du CO₂



Métabolisme du CO₂



Métabolisme du CO₂



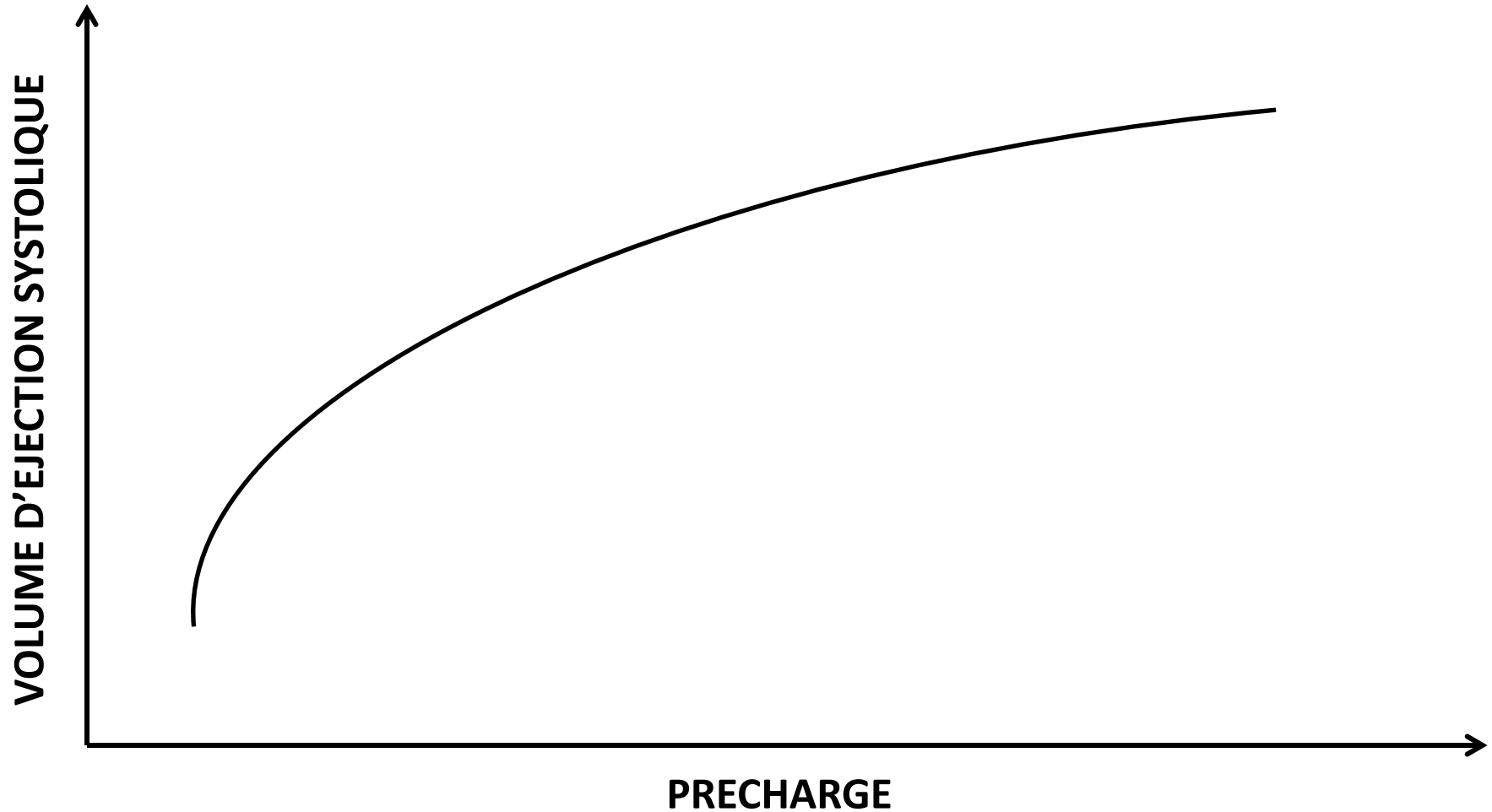
Formes de transport du CO₂

- Ion bicarbonate
- Forme dissoute
- Lié aux protéines plasmatiques (Hb ++)

PLAN

- Métabolisme du CO₂
- **ETCO₂ et évaluation de la précharge-dépendance**
- Gradient veino-artériel et tissu-artériel en CO₂
- Capnographie volumétrique

Courbe de Frank-Starling



ETCO₂ et précharge-dépendance



ETCO₂ et précharge-dépendance

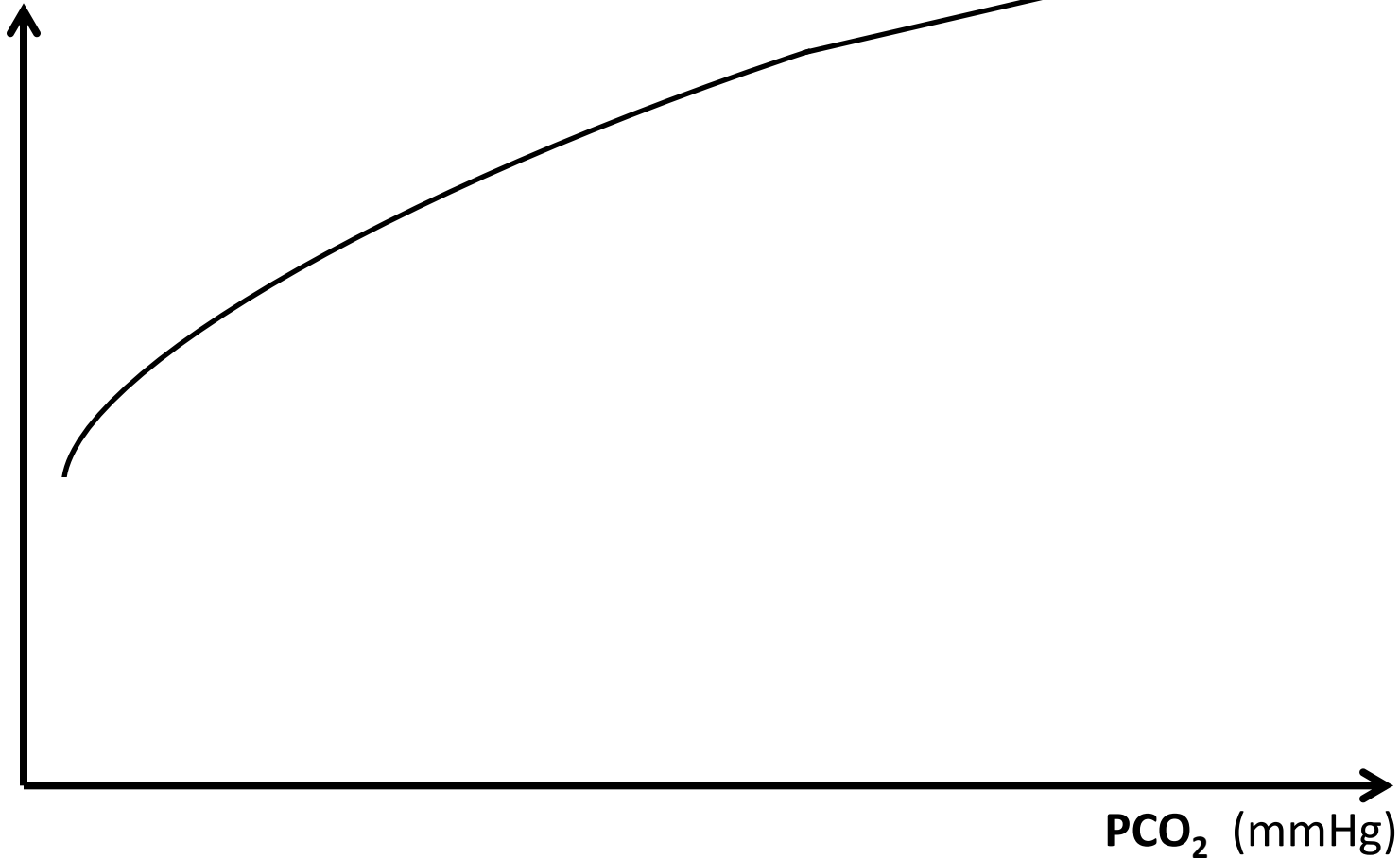
- Corrélation positive entre $\Delta_{LJP}IC$ et $\Delta_{LJP}ETCO_2$
- Corrélation positive entre $\Delta_{LJP}ETCO_2$ et $\Delta_{RV}IC$
- Une augmentation d'ETCO₂ $\geq 5\%$ lors d'un LJP prédit une augmentation significative de l'IC suite au RV avec une Se = 71 % et une Sp = 100 %
- Limite: absence de mouvement respiratoire spontané

PLAN

- Métabolisme du CO₂
- ETCO₂ et évaluation de la précharge-dépendance
- **Gradient veino-artériel et tissu-artériel en CO₂**
- Capnographie volumétrique

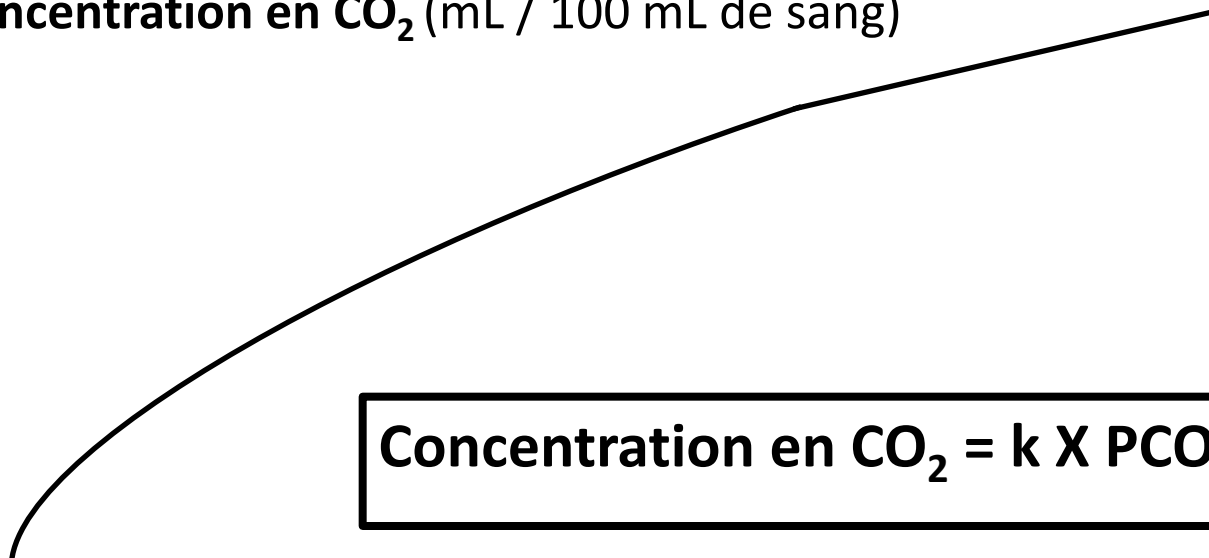
Relation PCO_2 / Concentration en CO_2

Concentration en CO_2 (mL / 100 mL de sang)



Relation PCO_2 / Concentration en CO_2

Concentration en CO_2 (mL / 100 mL de sang)

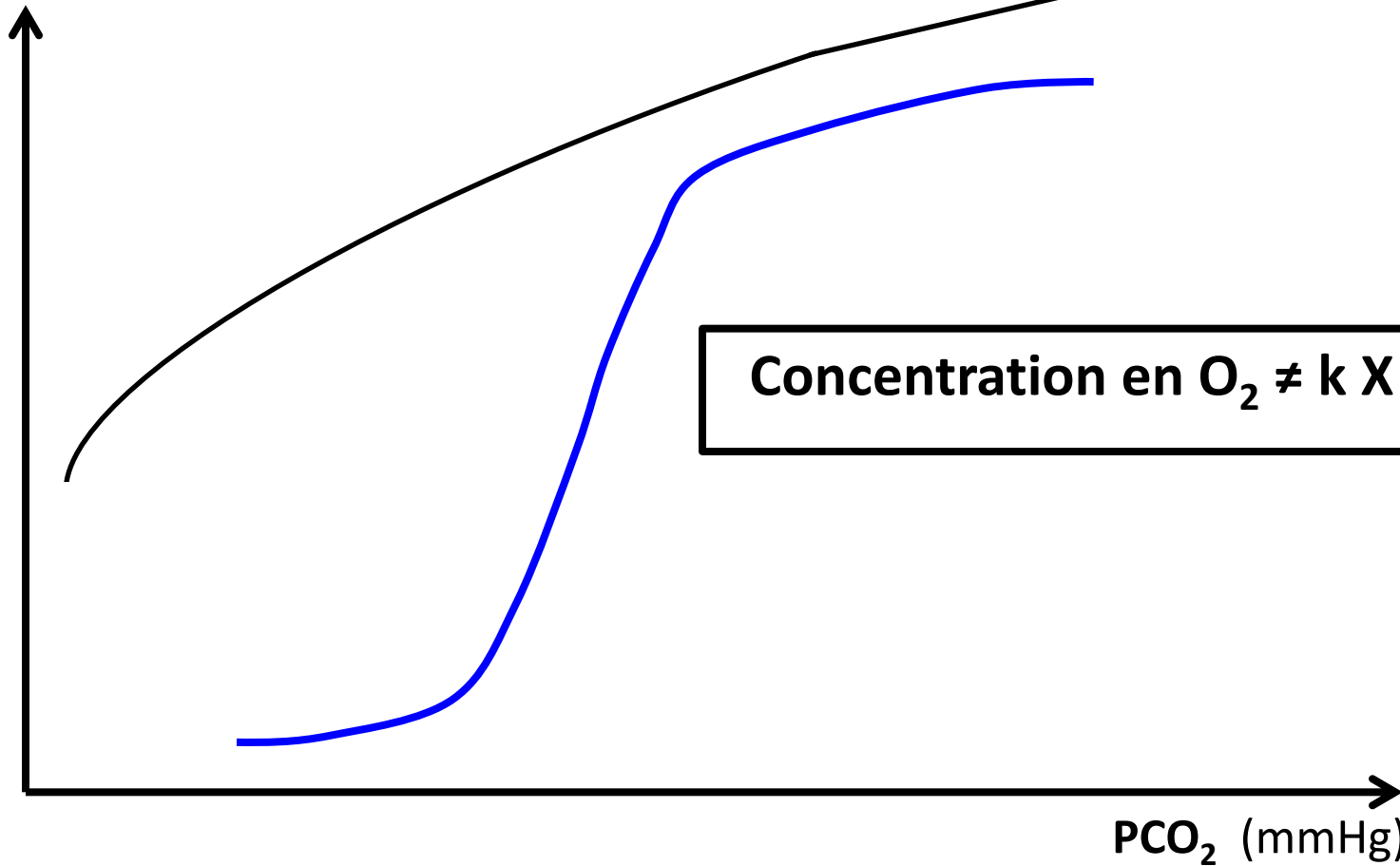


$$\text{Concentration en CO}_2 = k \times \text{PCO}_2$$

PCO_2 (mmHg)

Relation PCO_2 / Concentration en CO_2

Concentration en CO_2 (mL / 100 mL de sang)



Quelques formules ...

$$VCO_2 = DC \times (CaCO_2 - CvO_2)$$

Quelques formules ...

$$V\text{CO}_2 = \text{DC} \times (\text{CaCO}_2 - \text{CvO}_2)$$

$$V\text{CO}_2 = \text{DC} \times k \times P(\text{v-a})\text{CO}_2$$

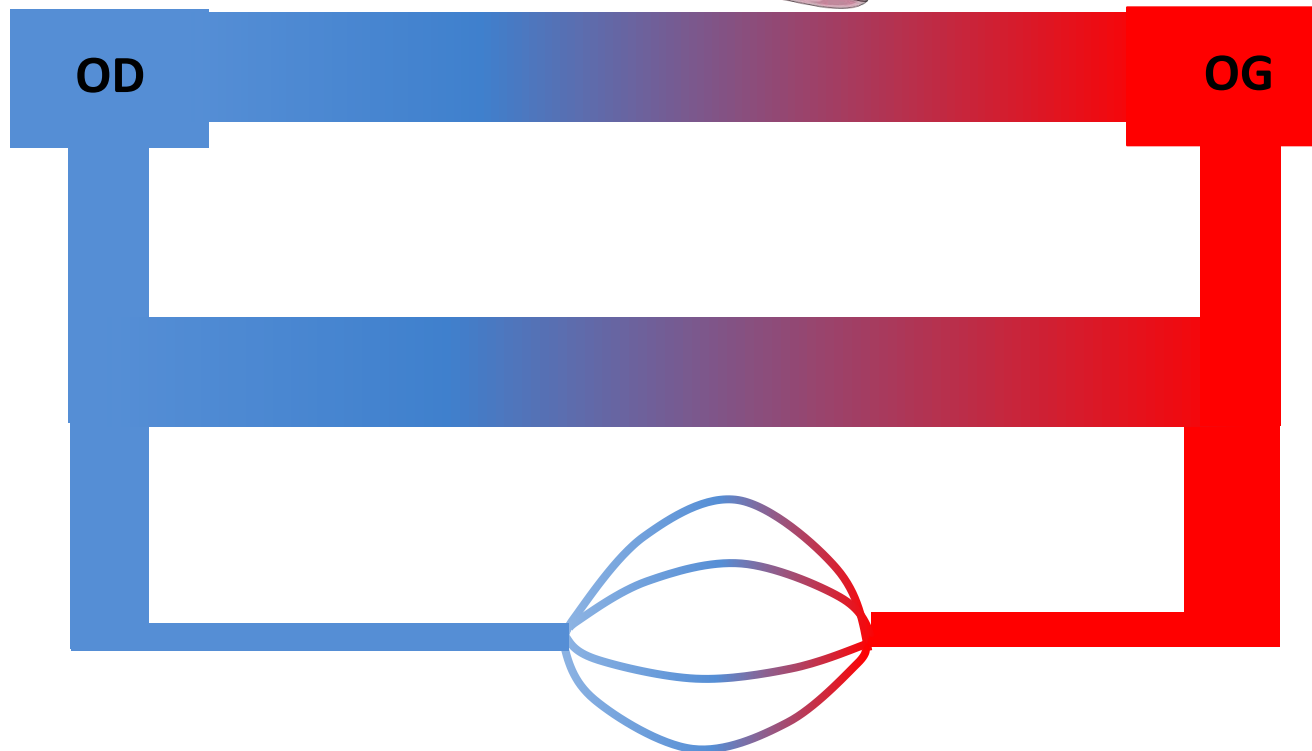
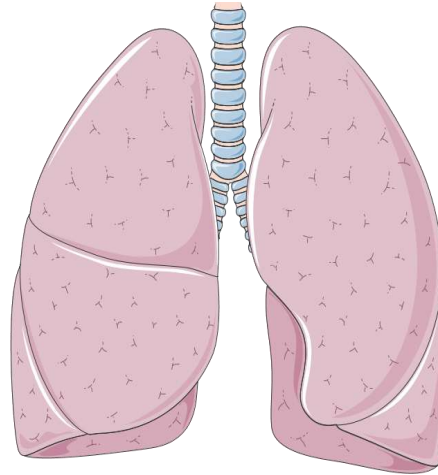
Quelques formules ...

$$VCO_2 = DC \times (CaCO_2 - CvO_2)$$

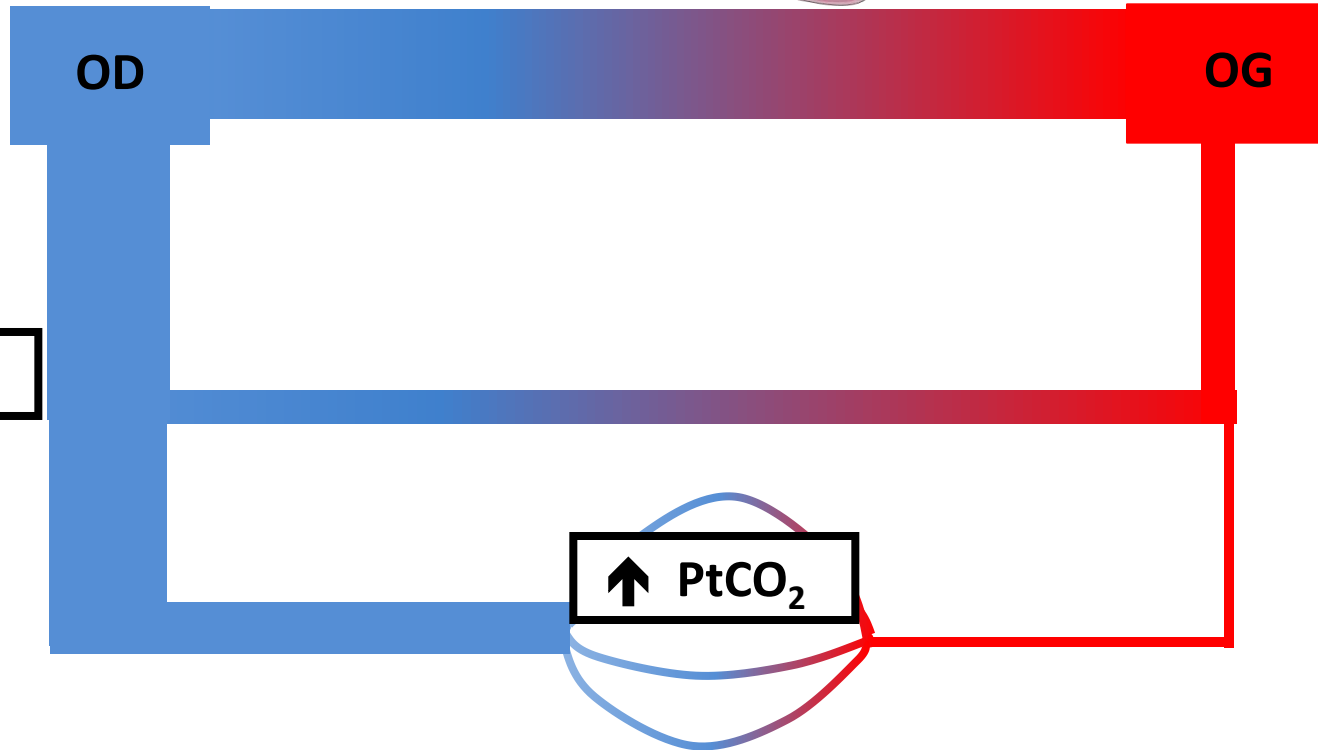
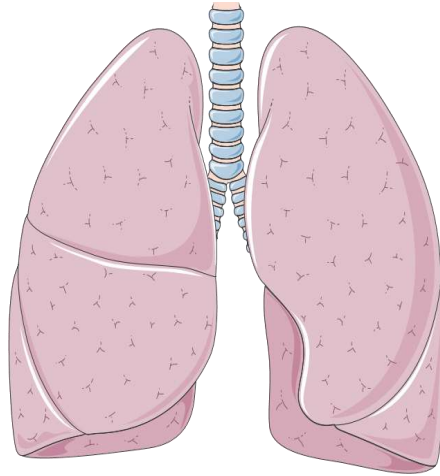
$$VCO_2 = DC \times k \times P(v-a)CO_2$$

$$P(v-a)CO_2 = VCO_2 / (DC \times k)$$

Patient hémodynamiquement stable



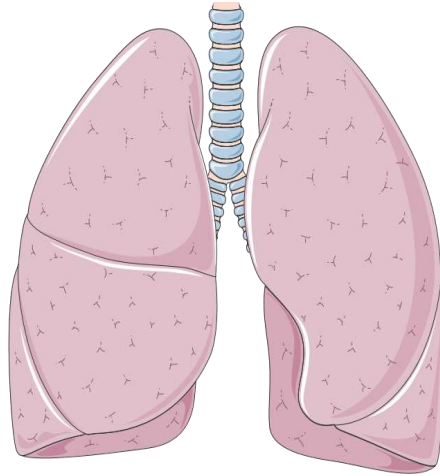
Choc avec bas DC



↑ PvCO₂

↑ PtCO₂

Choc avec bas DC



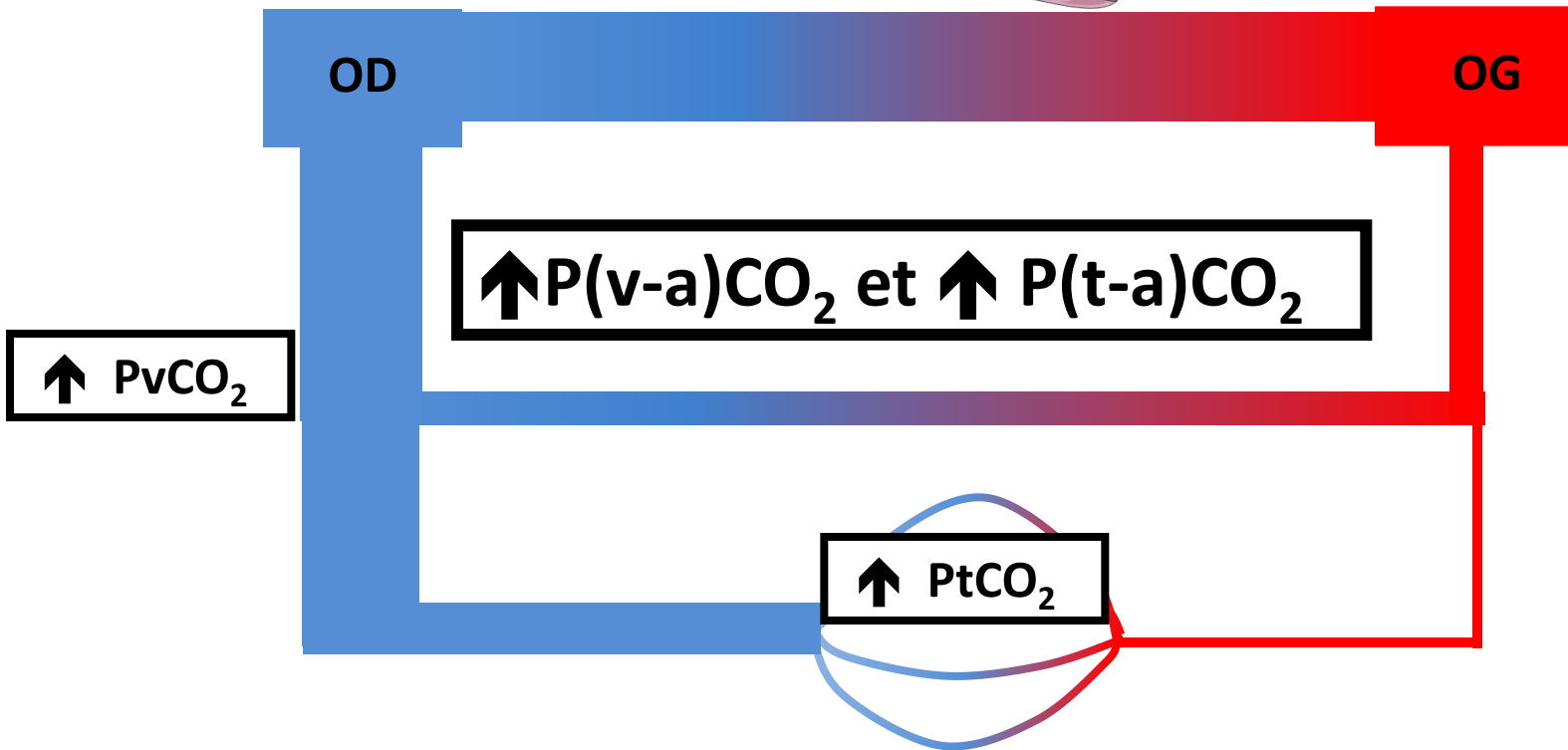
OD

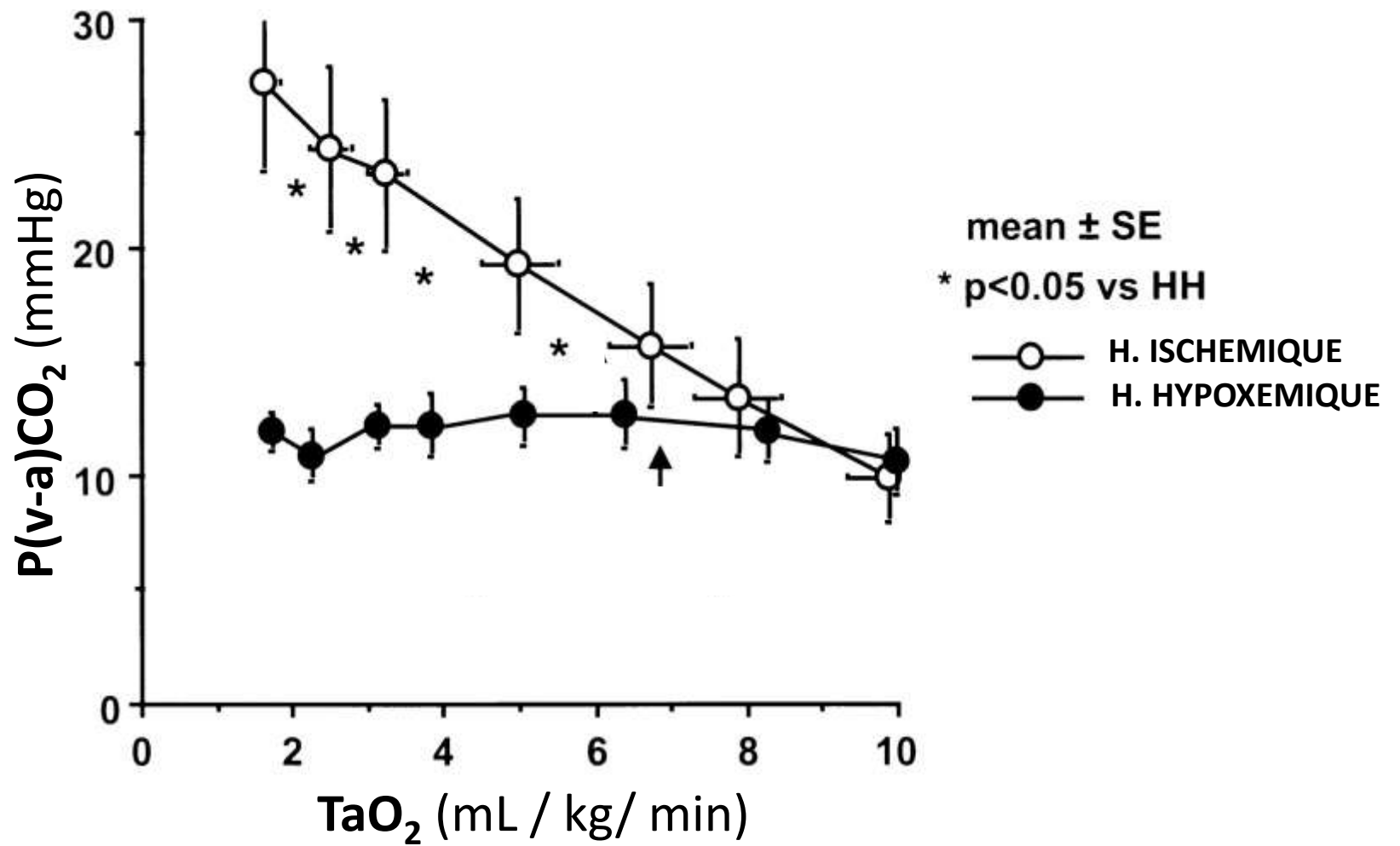
OG

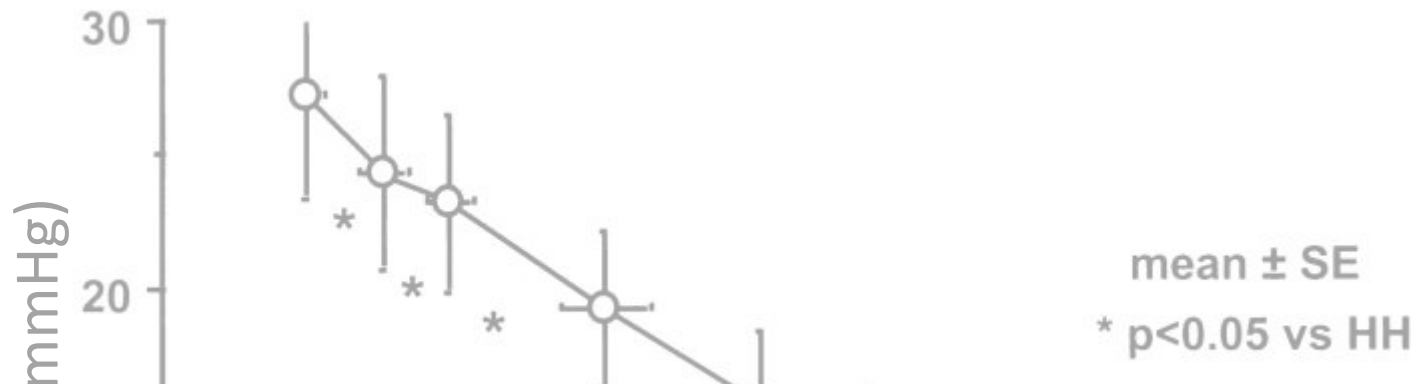
↑ $P(v-a)CO_2$ et ↑ $P(t-a)CO_2$

↑ $PvCO_2$

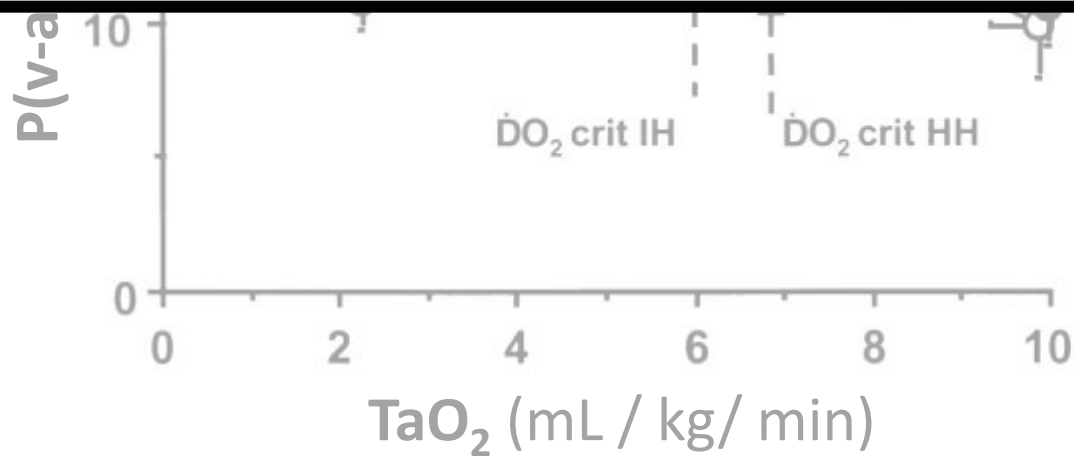
↑ $PtCO_2$



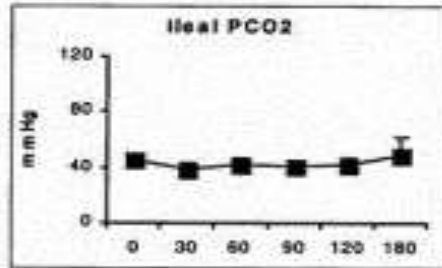




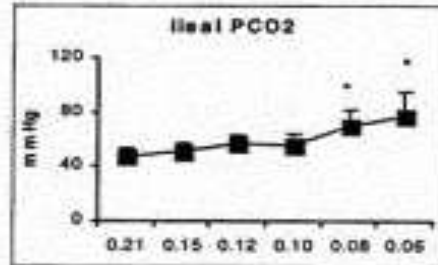
L'augmentation du gradient P(v-a)CO₂ s'explique par un défaut de perfusion tissulaire globale (bas DC)



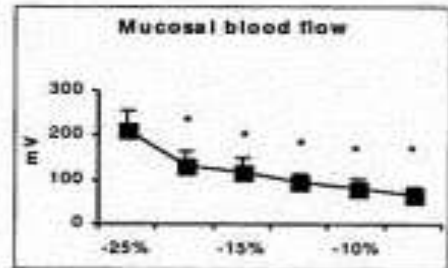
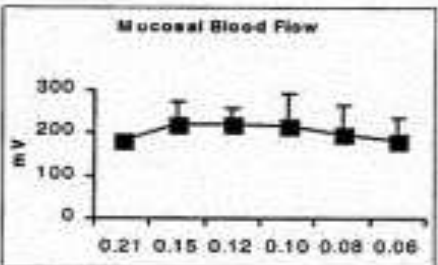
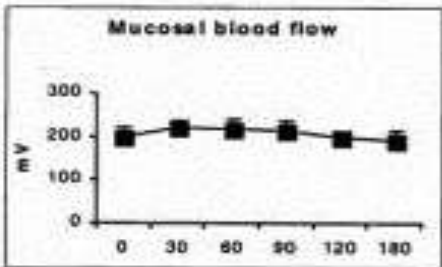
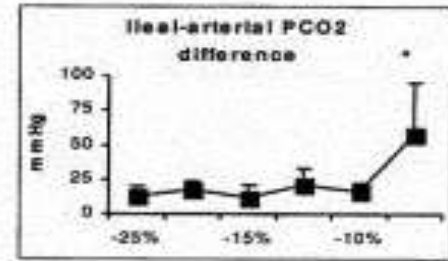
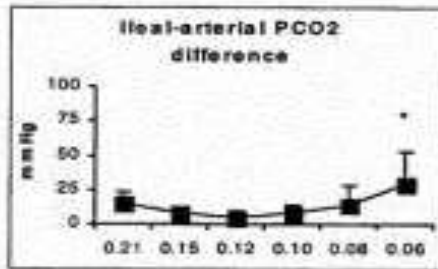
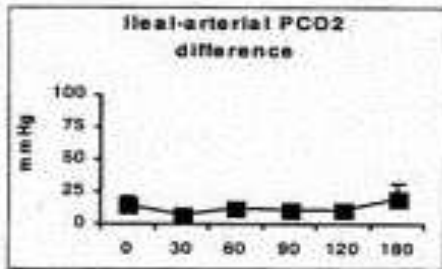
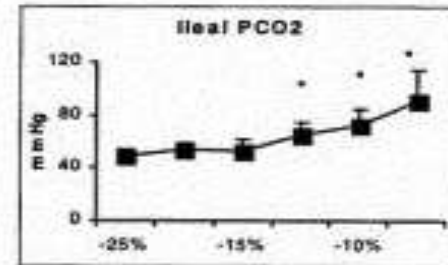
CONTRÔLE



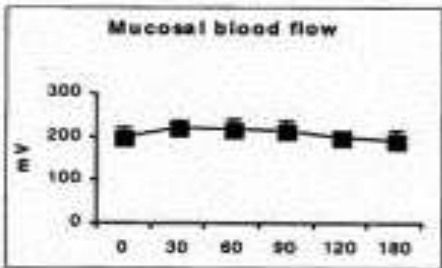
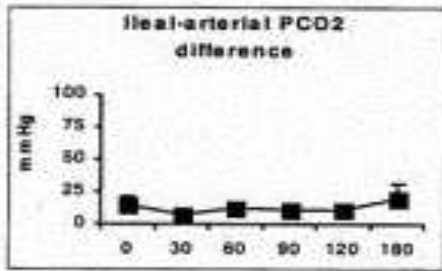
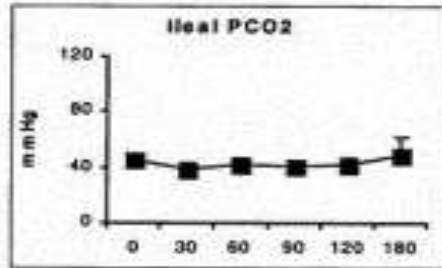
H. HYPOXEMIQUE



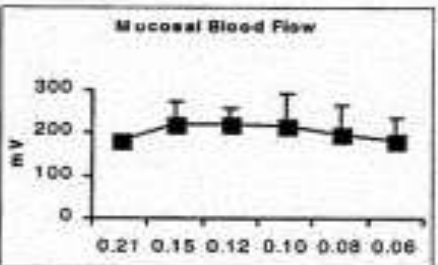
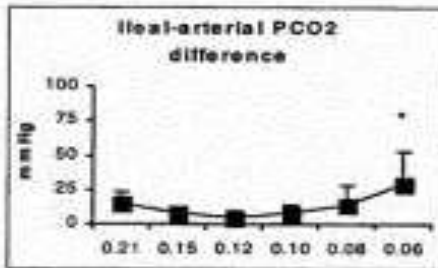
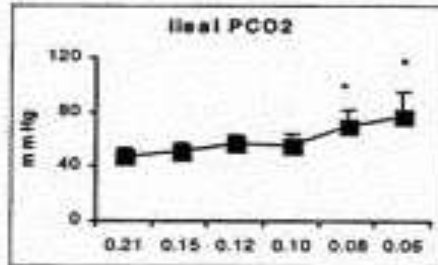
H. ISCHEMIQUE



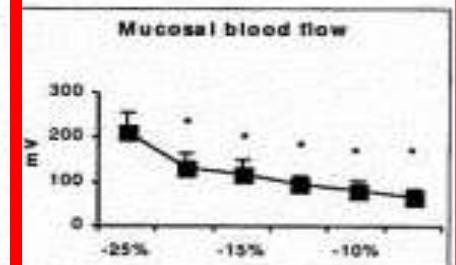
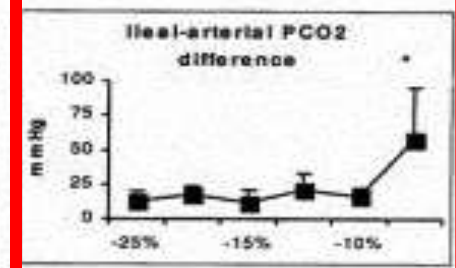
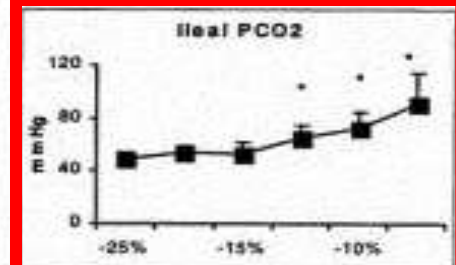
CONTRÔLE



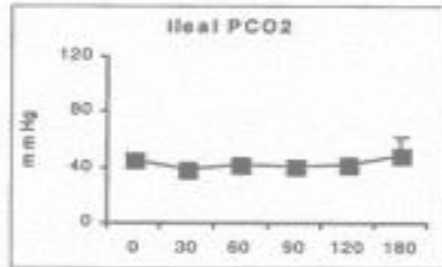
H. HYPOXEMIQUE



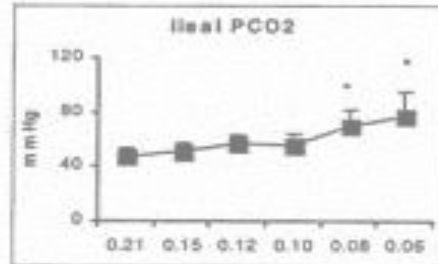
H. ISCHEMIQUE



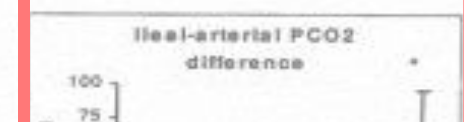
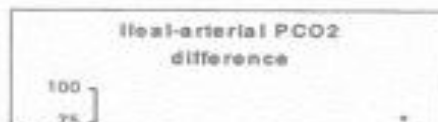
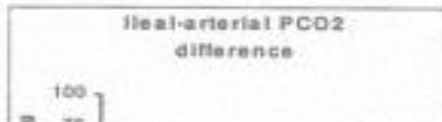
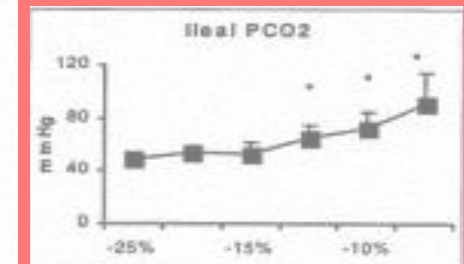
CONTRÔLE



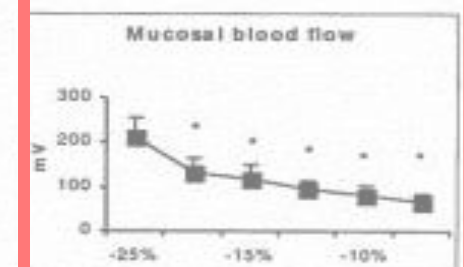
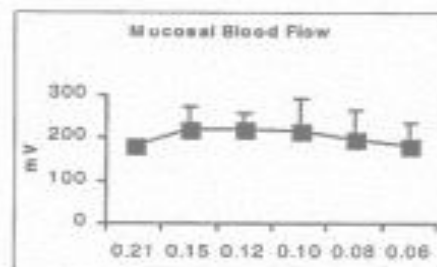
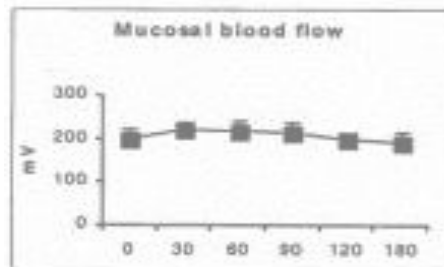
H. HYPOXEMIQUE



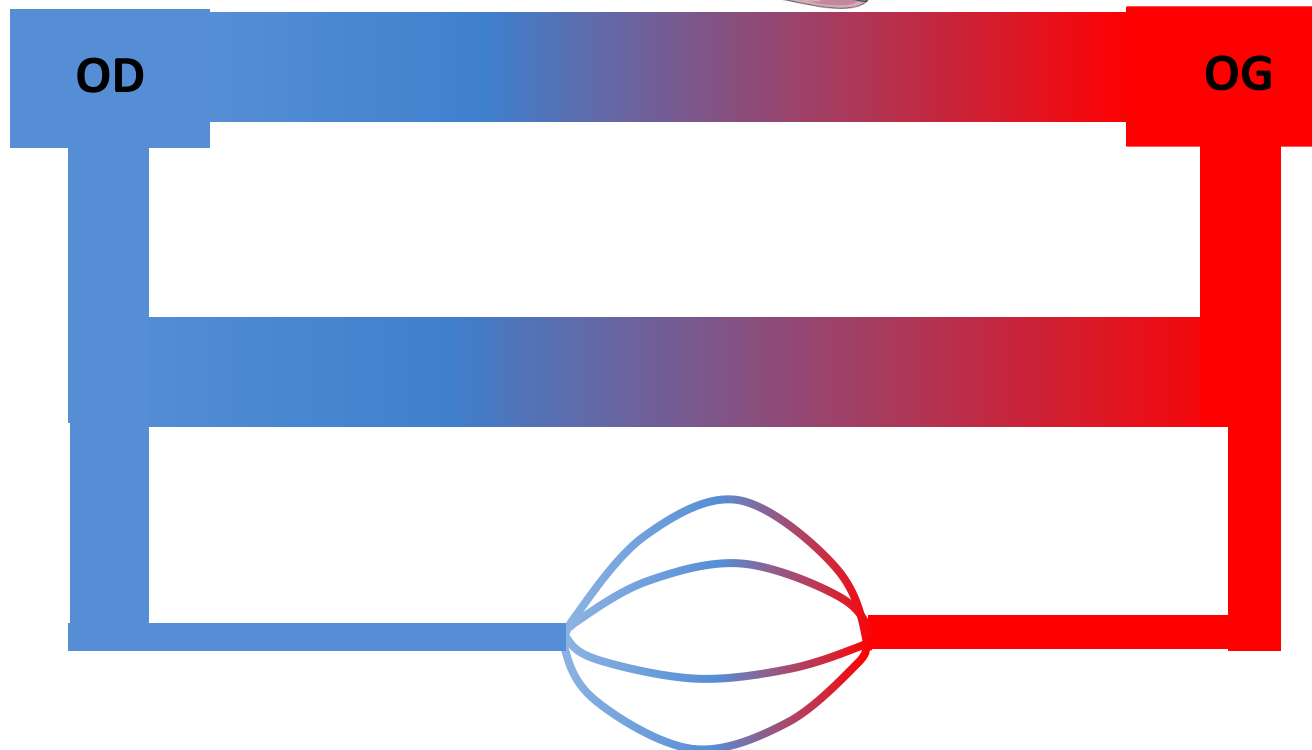
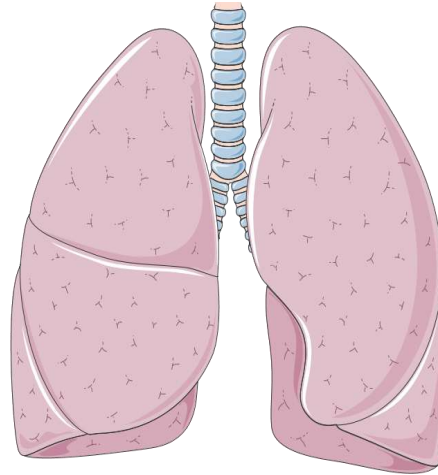
H. ISCHEMIQUE



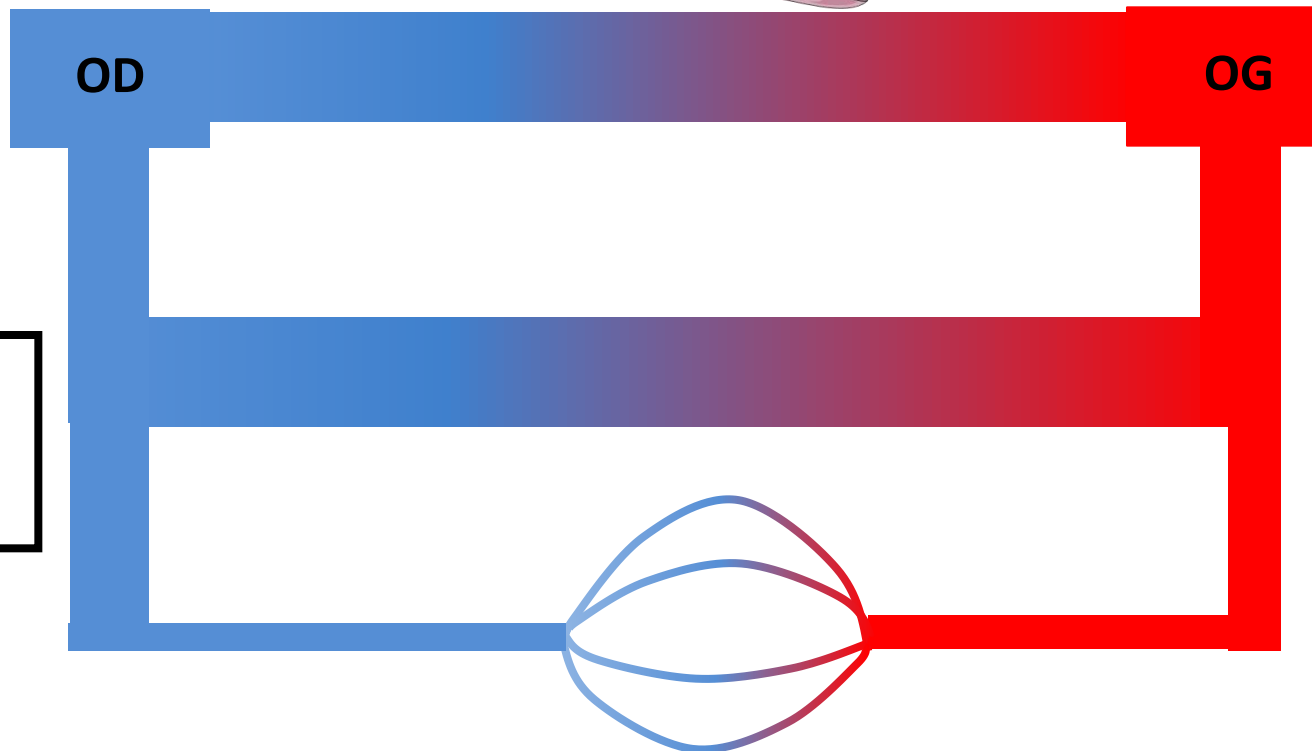
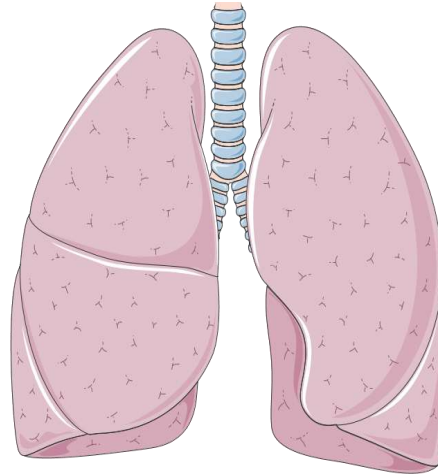
L'augmentation du gradient $P(t-a)CO_2$ s'explique par un défaut de perfusion tissulaire globale (bas DC)



Choc avec DC normal ou élevé

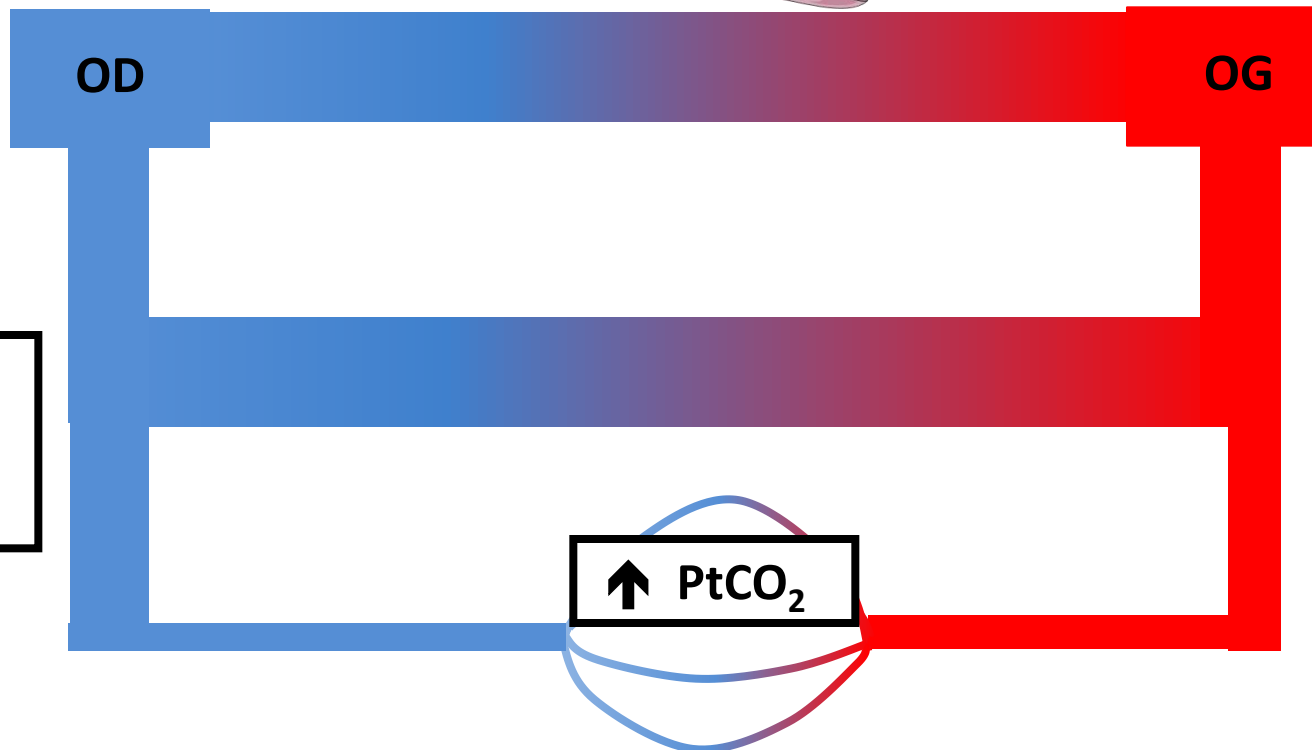
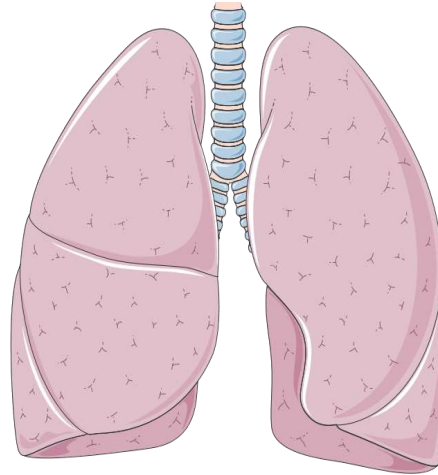


Choc avec DC normal ou élevé



PvCO₂
normale
ou ↑

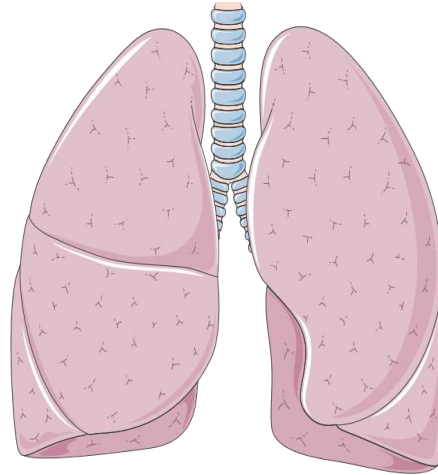
Choc avec DC normal ou élevé



PvCO₂
normale
ou ↑

↑ PtCO₂

Choc avec DC normal ou élevé



OD

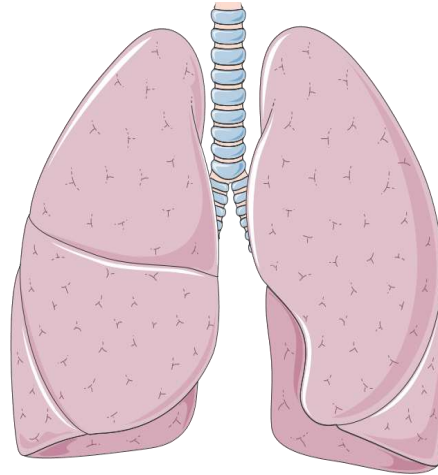
OG

$P(v-a)CO_2$ normale ou ↑ et ↑ $P(t-a)CO_2$

$PvCO_2$
normale
ou ↑

↑ $PtCO_2$

Choc avec DC normal ou élevé



OD

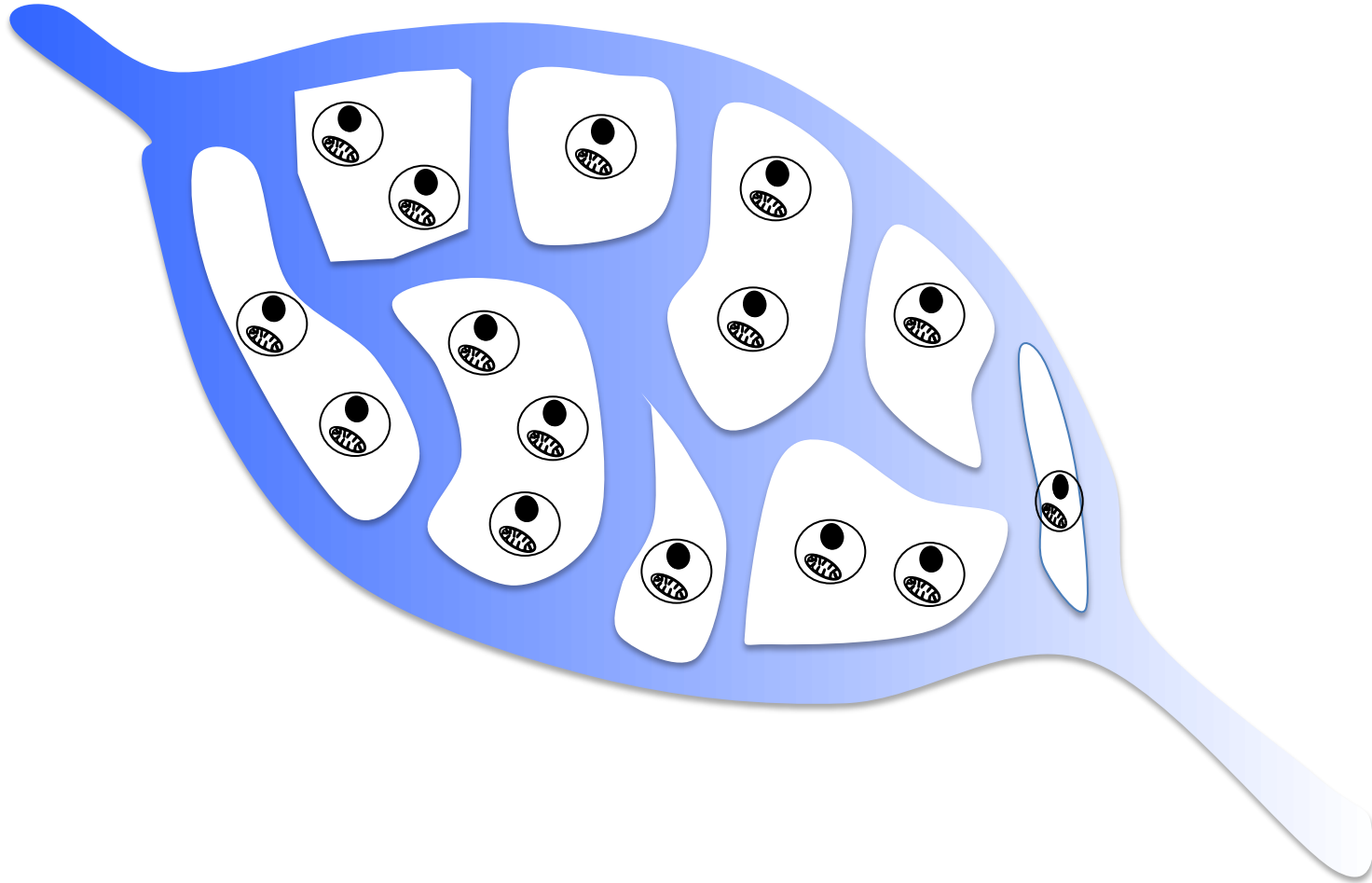
OG

$P(v-a)CO_2$ normale ou \uparrow et $\uparrow P(t-a)CO_2$

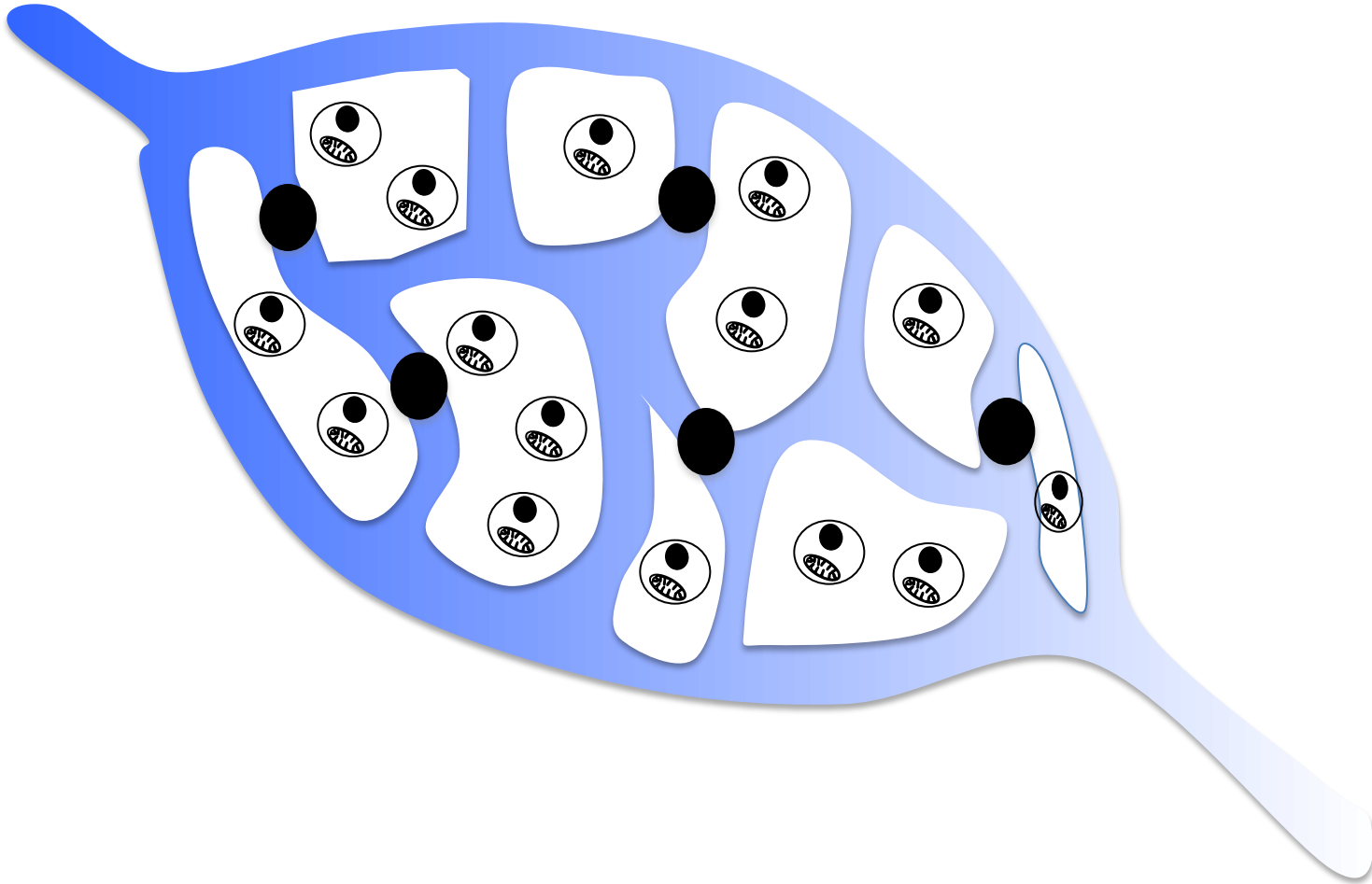
$PvCO_2$
normale
ou \uparrow

$\uparrow PtCO_2$

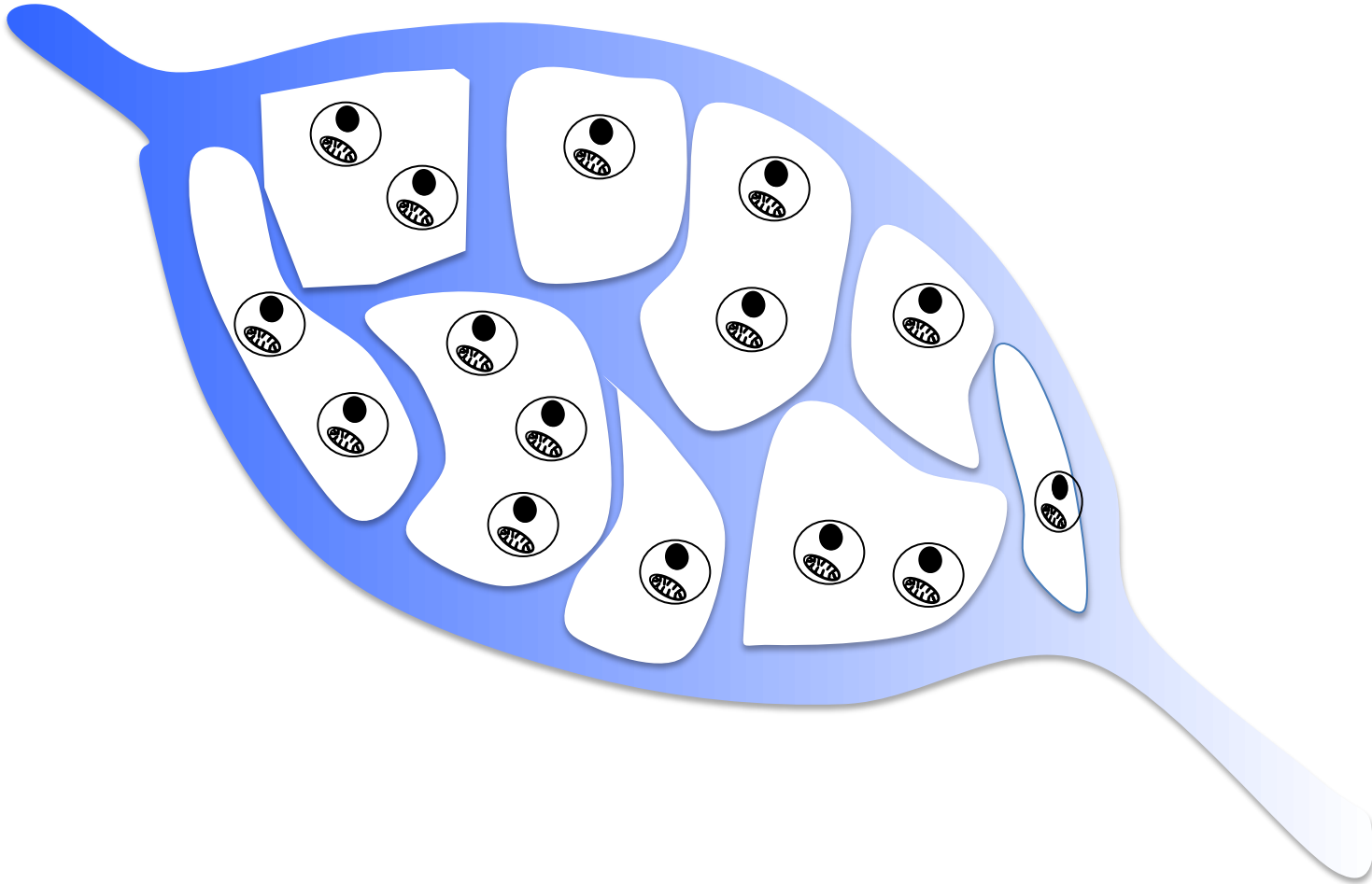
Atteinte de la microcirculation



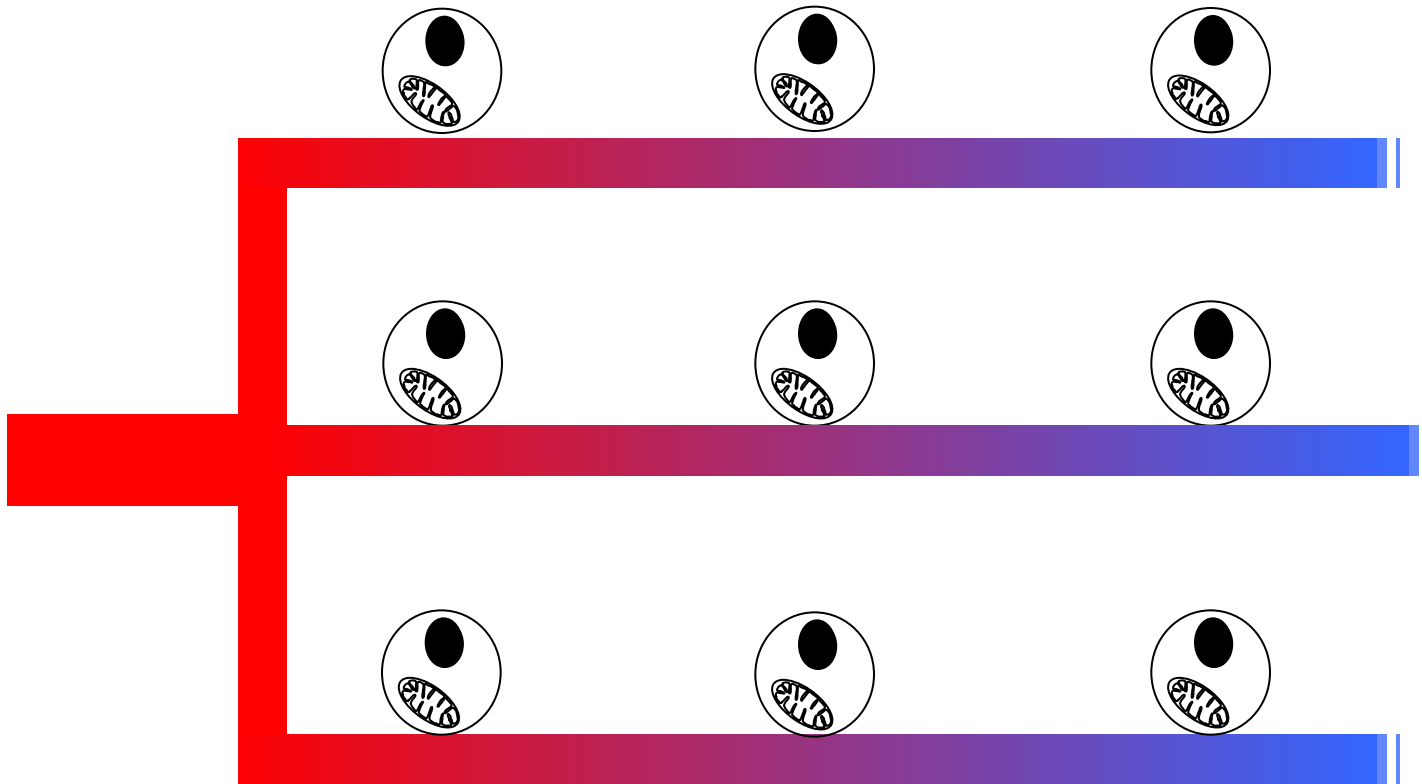
Atteinte de la microcirculation



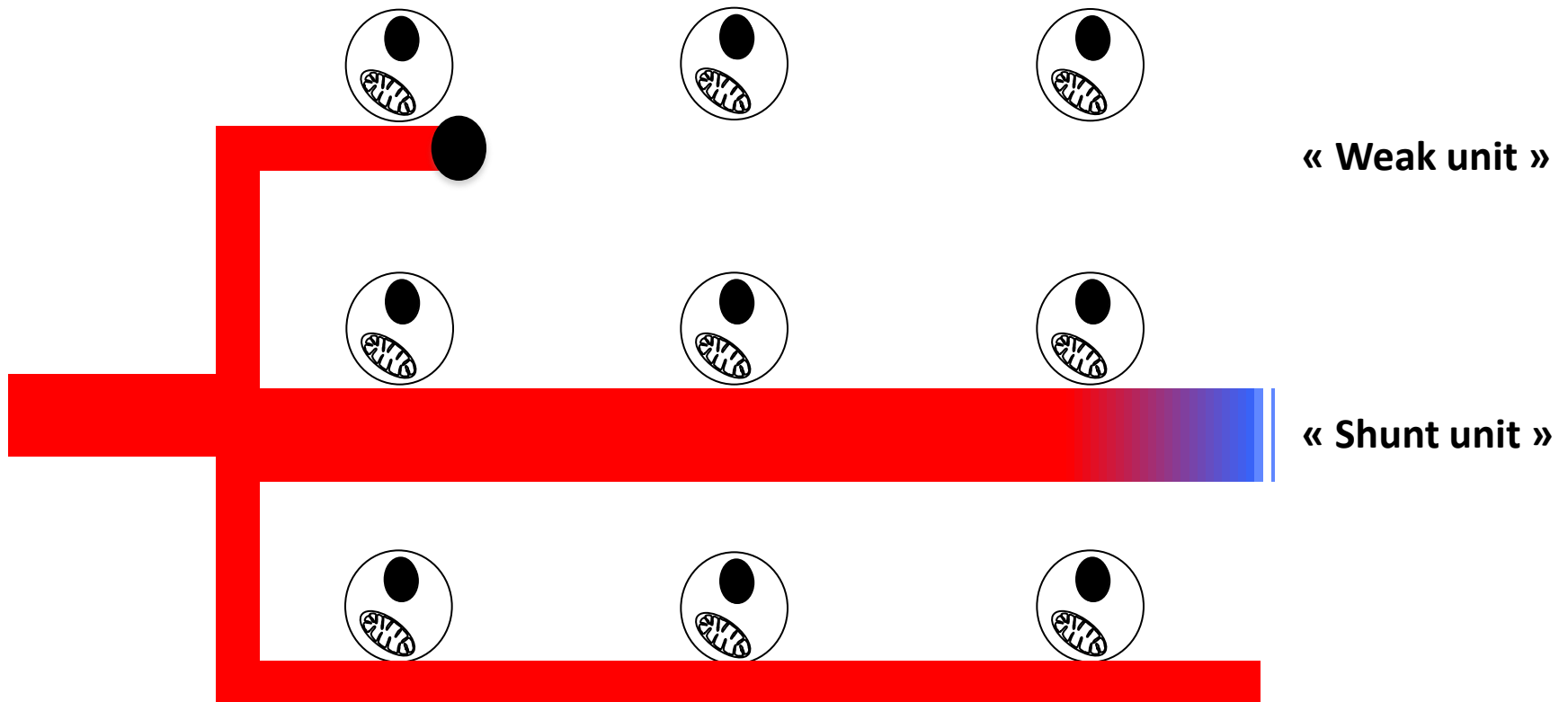
Atteinte de la microcirculation



Troubles de la microcirculation



Troubles de la microcirculation



	Base	H 12	H 24
Index cardiaque (mL /min / kg)	107	160*	162*
Débit portal (mL /min / kg)	22	26	26
Gradient iléo-artériel en CO₂ (mmHg)	15	18*	22*
Perfusion capillaire (perfusion normale/perfusion hétérogène/ non-perfusion)	60/0/0	33/1/23*	32/4/19*

	Base	H 12	H 24
Index cardiaque (mL /min / kg)	107	160*	162*
Débit portal (mL /min / kg)	22	26	26
L'augmentation du gradient P(t-a)CO₂ s'explique par un défaut de perfusion tissulaire régionale (microcirculation)			
Perfusion capillaire (perfusion normale/perfusion hétérogène/ non-perfusion)	60/0/0	33/1/23*	32/4/19*

Mesure de la PCO_2 tissulaire

- Tonométrie gastrique

Mesure de la PCO_2 de la muqueuse digestive (PgCO_2)

Calcul du gradient gastro-artériel $\text{PgCO}_2 - \text{PaCO}_2$

Calcul du pH intramuqueux à l'aide de l'équation d'Henderson-Hasselbach

Difficultés techniques (IPP, nutrition entérale)

- PCO_2 sublinguale (PslCO_2)

Fibre optique avec colorant fluorescent sensible au CO_2

Fluorescence proportionnelle à la quantité de CO_2

Calcul du gradient $\text{PslCO}_2 - \text{PaCO}_2$

- PCO_2 cutanée au lobe de l'oreille

Pression transcutanée en CO_2 (PtcCO_2) mesurée à 37°C

Calcul du gradient $\text{PtcCO}_2 - \text{PaCO}_2$

Mesure de la PCO_2 tissulaire

- Tonométrie gastrique

Mesure de la PCO_2 de la muqueuse digestive ($PgCO_2$)

Calcul du gradient gastro-artériel $PgCO_2 - PaCO_2$

Calcul du pH intramucosaux à l'aide d'Henderson-Hasselbach

Difficultés techniques (IPP, nutrition entérale)

Un gradient $PtCO_2 - PaCO_2 > 10$ mmHg témoigne d'une hypoperfusion tissulaire

Un gradient $PtCO_2 - PaCO_2 > 16-20$ mmHg à H12-24 d'un choc est un facteur indépendant de mauvais pronostic

- PCO_2 cutanée au lobe de l'oreille

Pression transcutanée en CO_2 ($PtcCO_2$) mesurée à $37^\circ C$

Calcul du gradient $PtcCO_2 - PaCO_2$

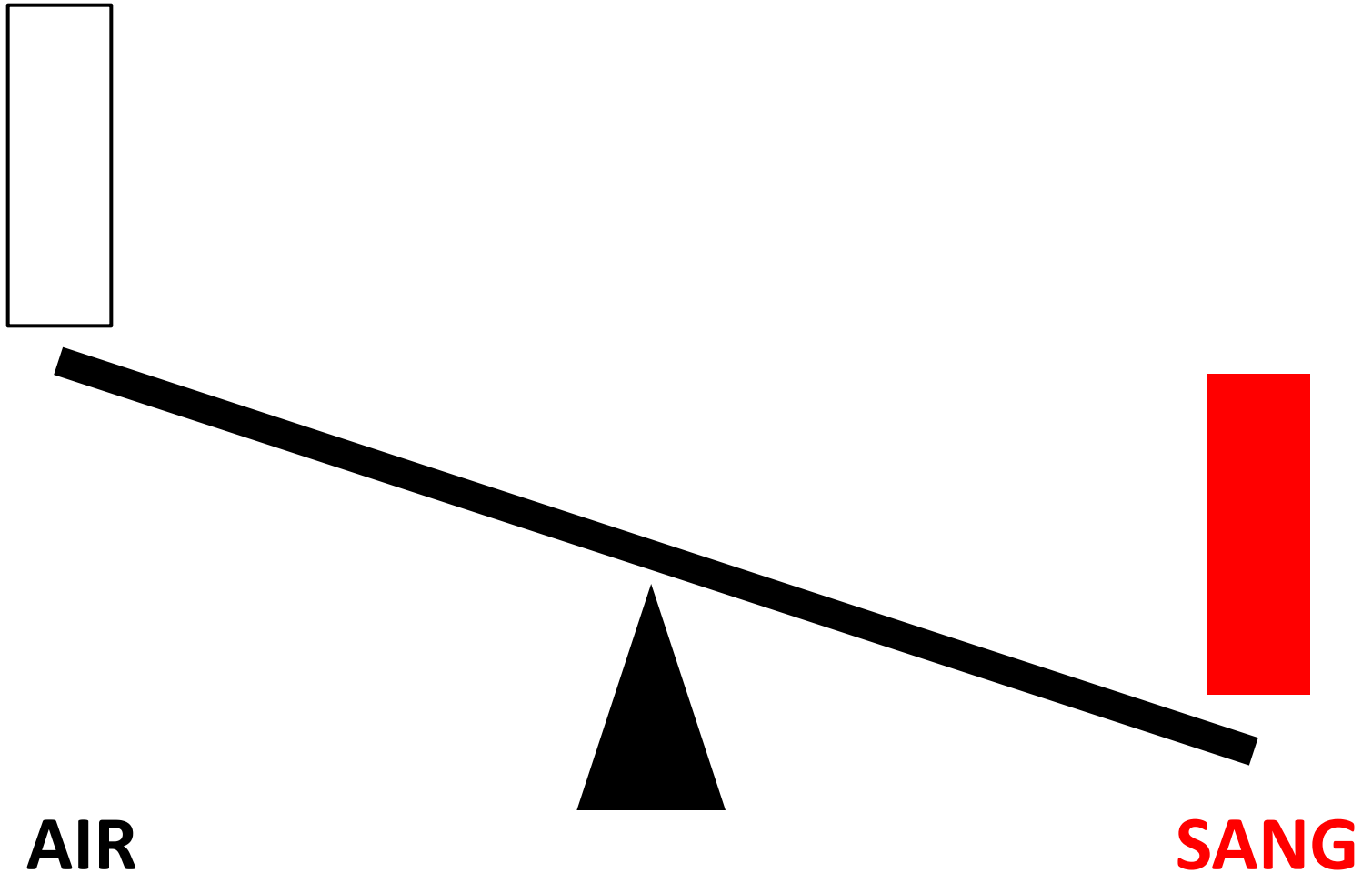
$P(v-a)CO_2$ et $P(t-a)CO_2$

- Elevation en cas de bas DC et / ou de malperfusion microcirculatoire locale
- Un gradient $P(v-a)CO_2$ élevé ($> 6\text{mmHg}$) malgré un DC normal et une $SvO_2 > 70\%$ peut inciter à majorer la posologie de dobutamine afin d'essayer d'améliorer la perfusion tissulaire et la clairance du CO_2 (« dobutamine challenge »)
- Un gradient $P(t-a)CO_2$ élevé témoigne d'une hypoperfusion tissulaire persistante
→ thérapeutiques ?

PLAN

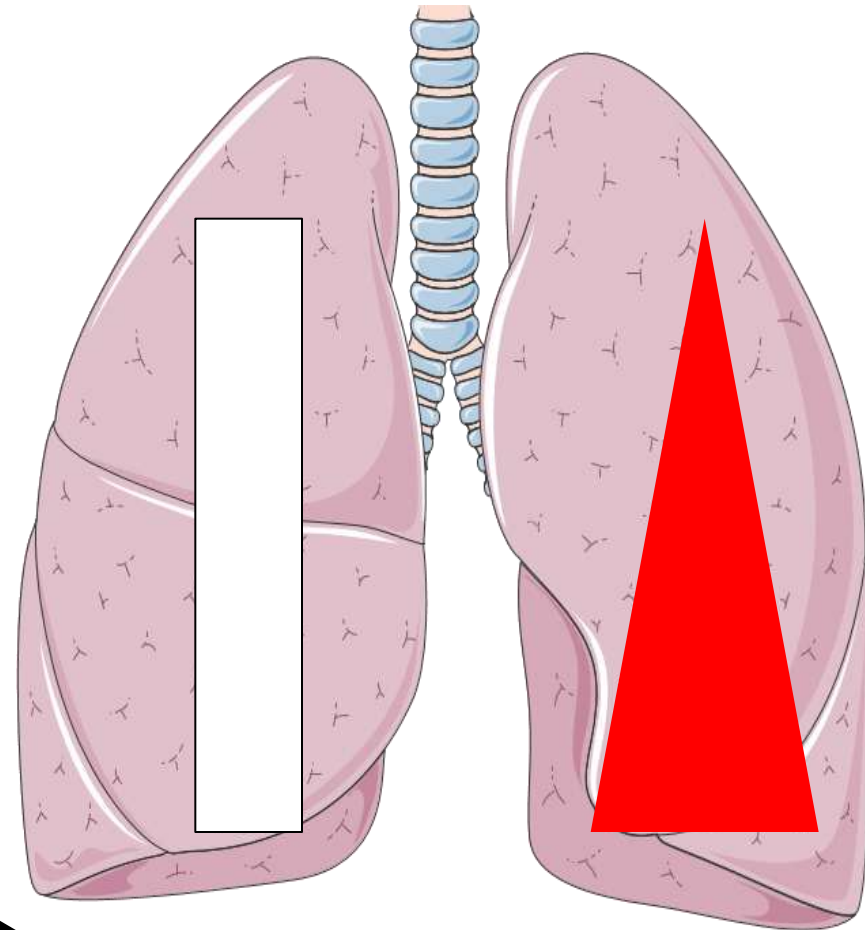
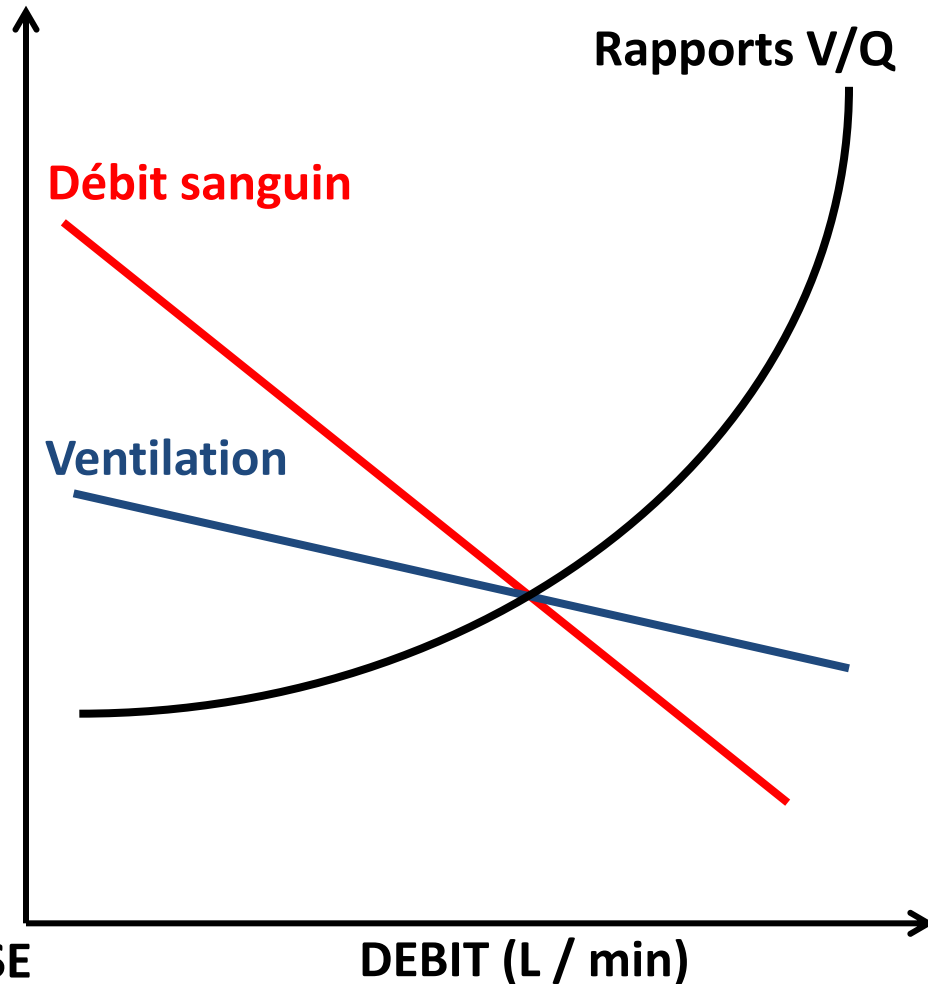
- Métabolisme du CO₂
- ETCO₂ et évaluation de la précharge-dépendance
- Gradient veino-artériel et tissu-artériel en CO₂
- **Capnographie volumétrique**

Rapports ventilation / perfusion

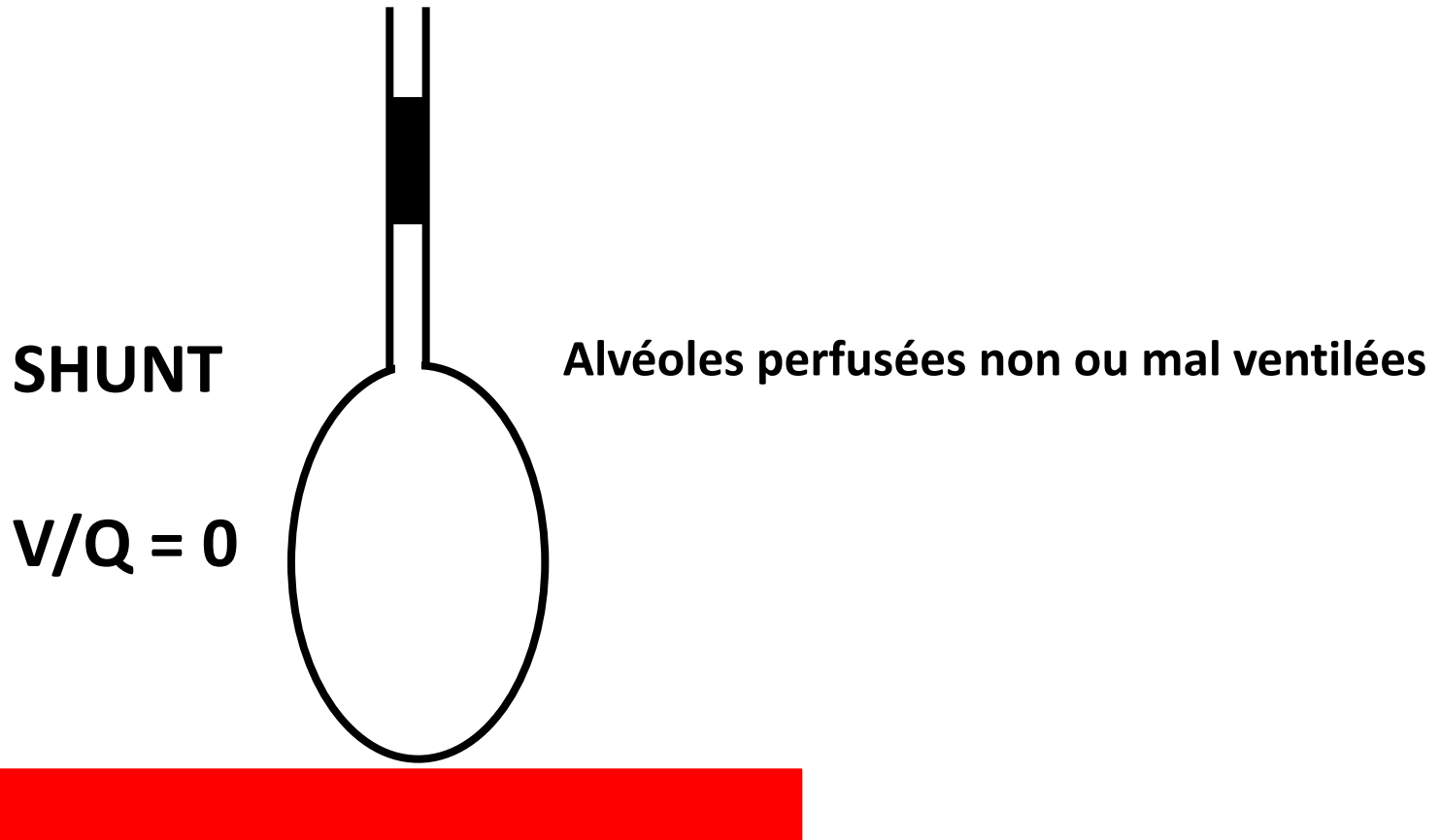


Rapports ventilation / perfusion

SOMMET



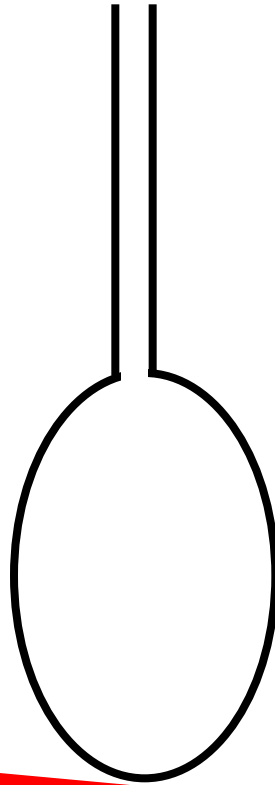
Rapports ventilation / perfusion



Rapports ventilation / perfusion

**ESPACE-MORT
(alvéolaire)**

$$V/Q = + \infty$$



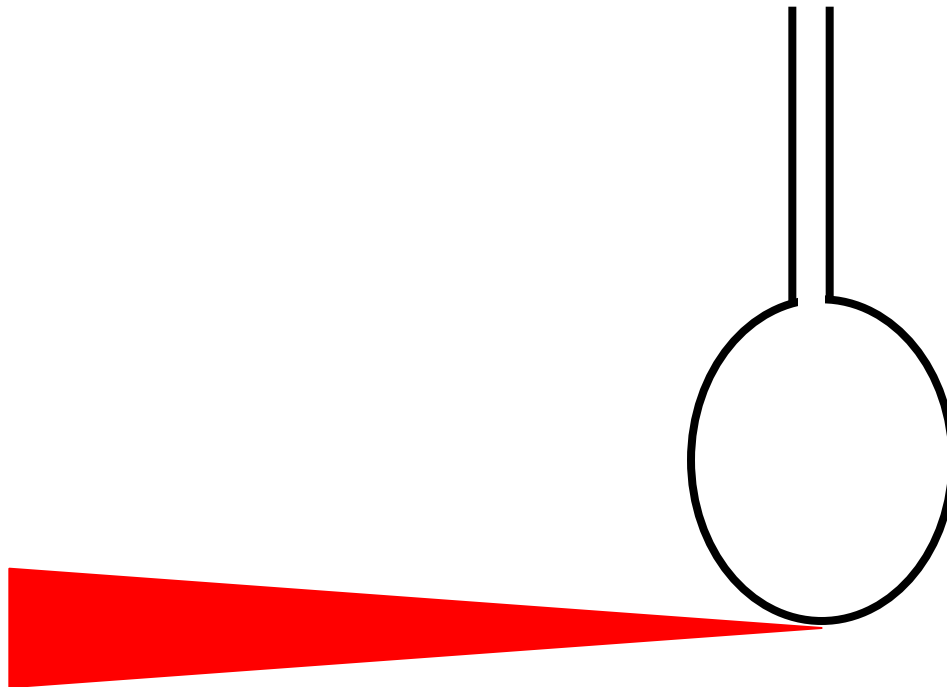
Alvéoles ventilées non ou mal perfusées

Espace-mort

- Zones pulmonaires ventilées mais non ou mal perfusées
- Différentes composantes

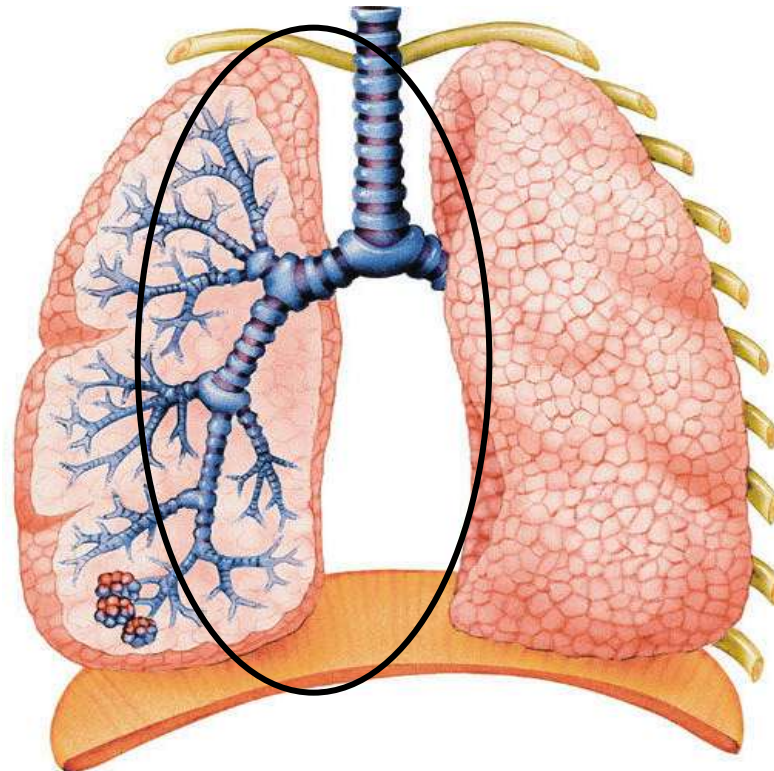
Espace-mort alvéolaire

- VD_{alv}
- Alvéoles ventilées mais non ou mal perfusées



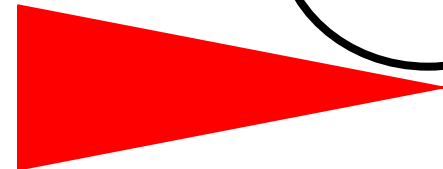
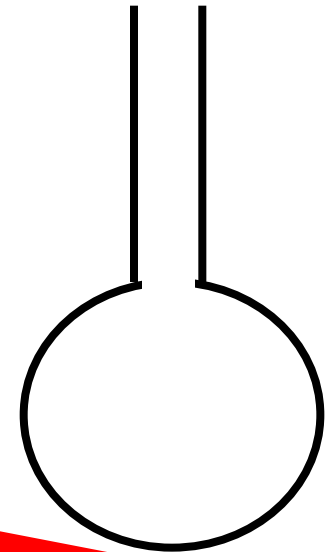
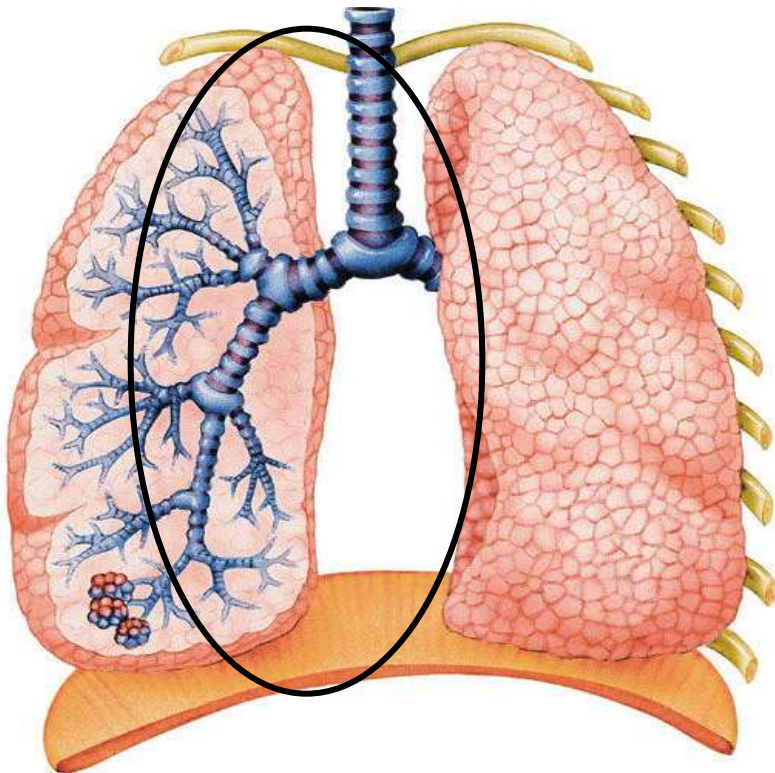
Espace-mort anatomique

- VD_{anat}
- Voies aériennes conductrices pures



Espace-mort physiologique

- VD_{phys}
- Somme de VD_{anat} et VD_{alv}



Calcul de l'espace-mort

$$VD_{\text{phys}} / VT = (FACO_2 - FECO_2) / FACO_2$$

Calcul de l'espace-mort

$$VD_{\text{phys}} / VT = (FACO_2 - FECO_2) / FACO_2$$

$$VD_{\text{phys}} / VT = (PACO_2 - PECO_2) / PACO_2$$

FORMULE DE BOHR

x P_{atm}



Calcul de l'espace-mort

$$VD_{\text{phys}} / VT = (FACO_2 - FECO_2) / FACO_2$$

$$VD_{\text{phys}} / VT = (PACO_2 - PECO_2) / PACO_2$$

FORMULE DE BOHR

x P_{atm}



COMMENT OBTENIR PACO₂ ET PECO₂ ?

Calcul de l'espace-mort

$$VD_{\text{phys}} / VT = (FACO_2 - FECO_2) / FACO_2$$

$$VD_{\text{phys}} / VT = (PACO_2 - PECO_2) / PACO_2$$

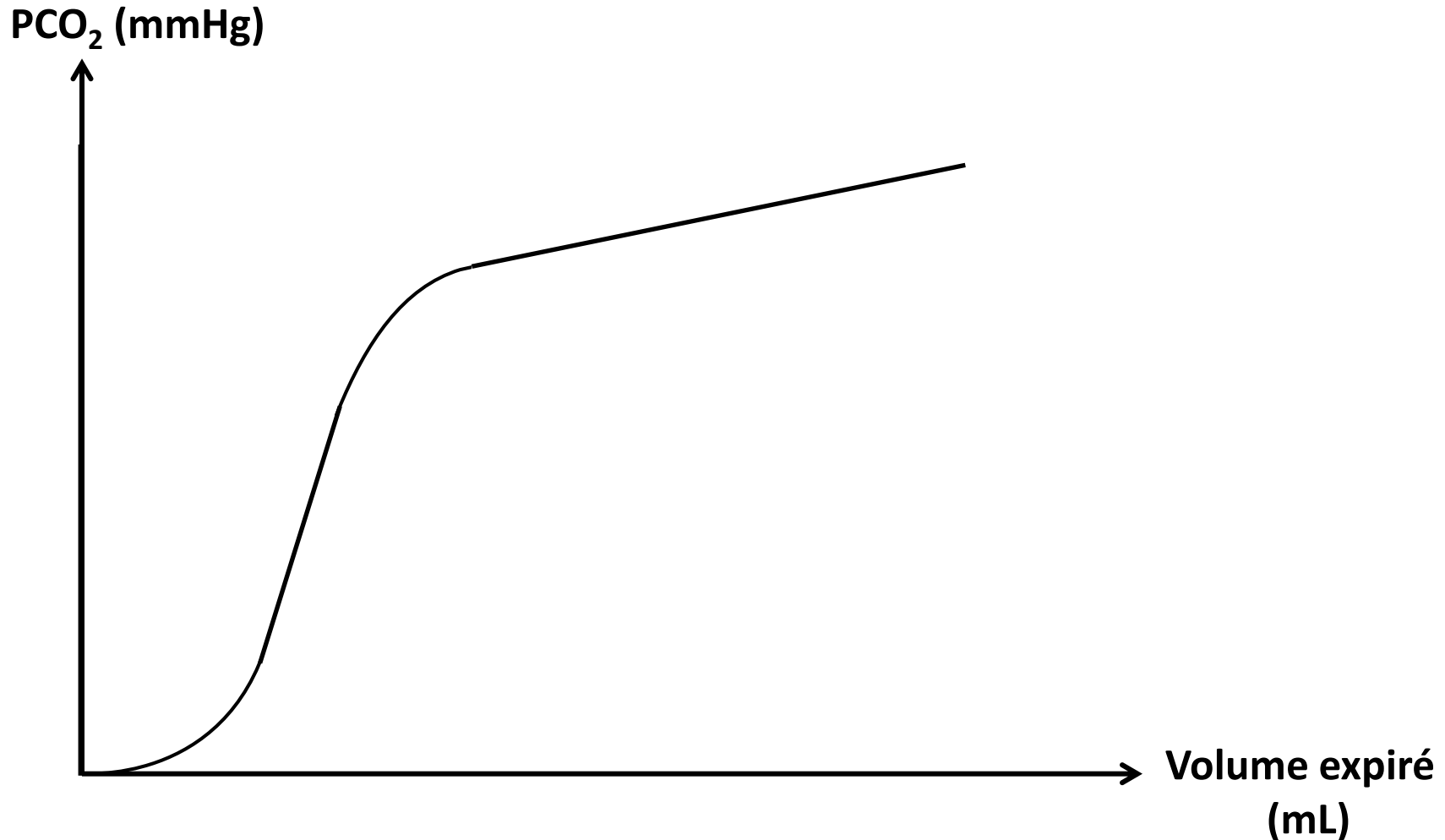
FORMULE DE BOHR

x P_{atm}

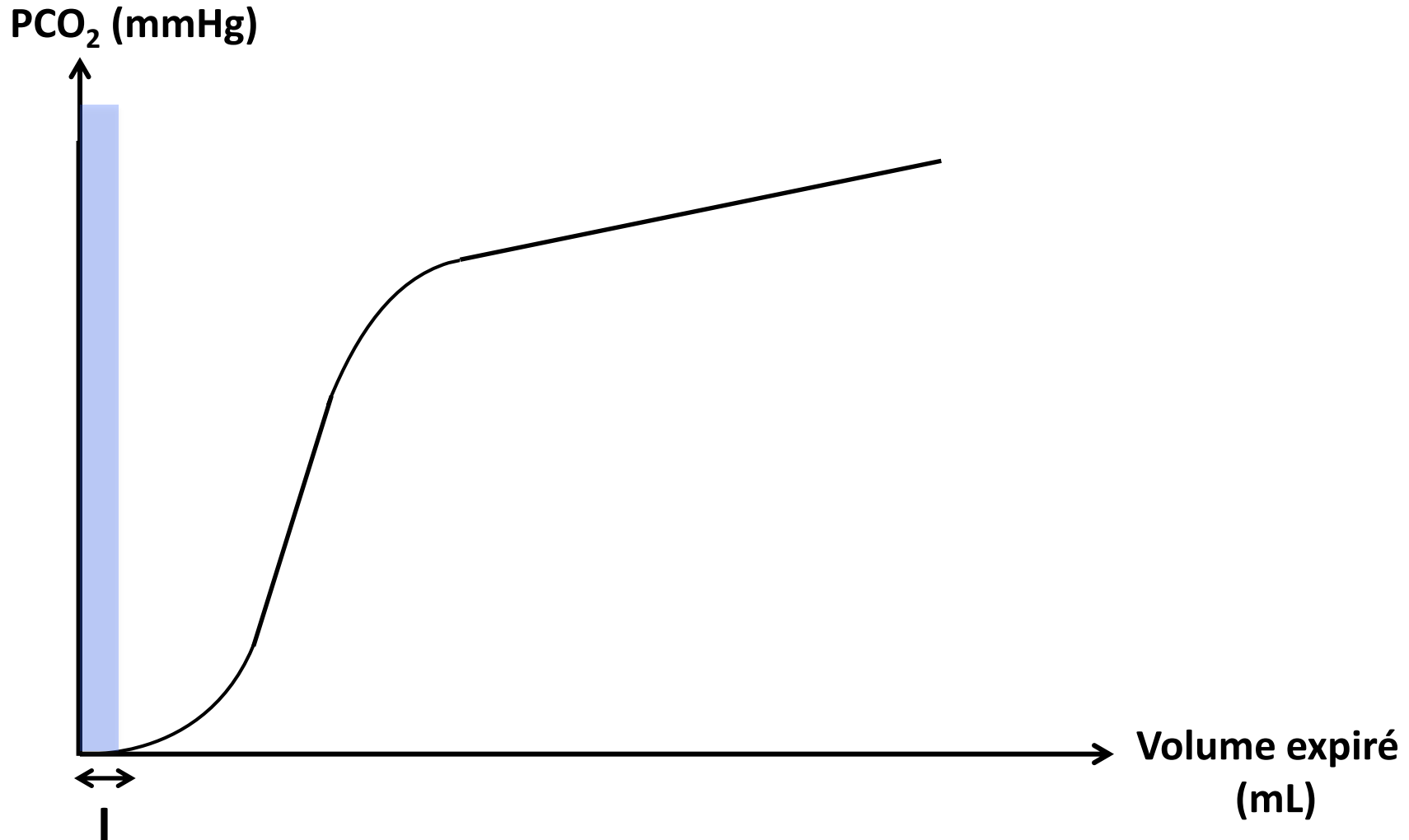


LA CAPNOGRAPHIE VOLUMETRIQUE

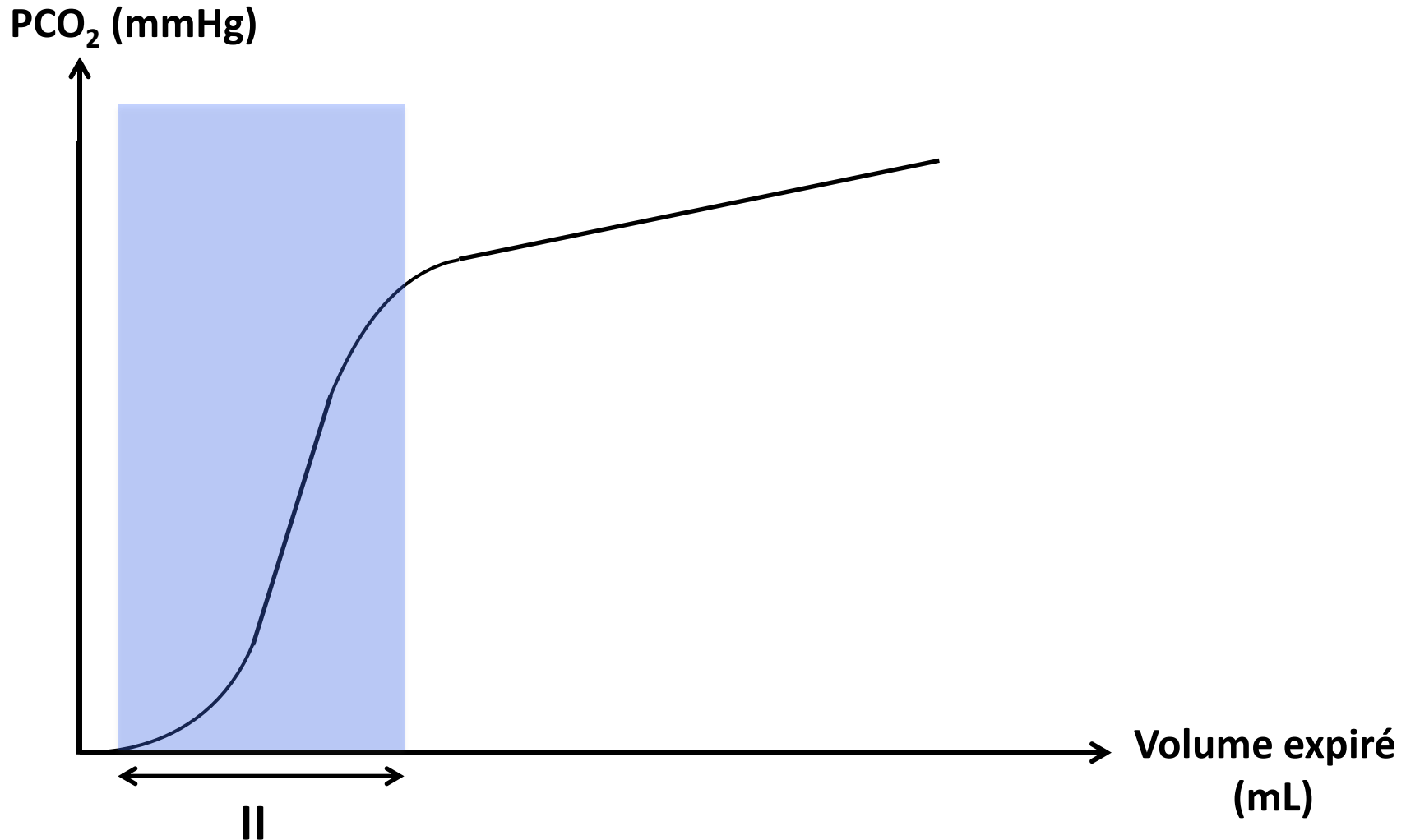
La capnographie volumétrique



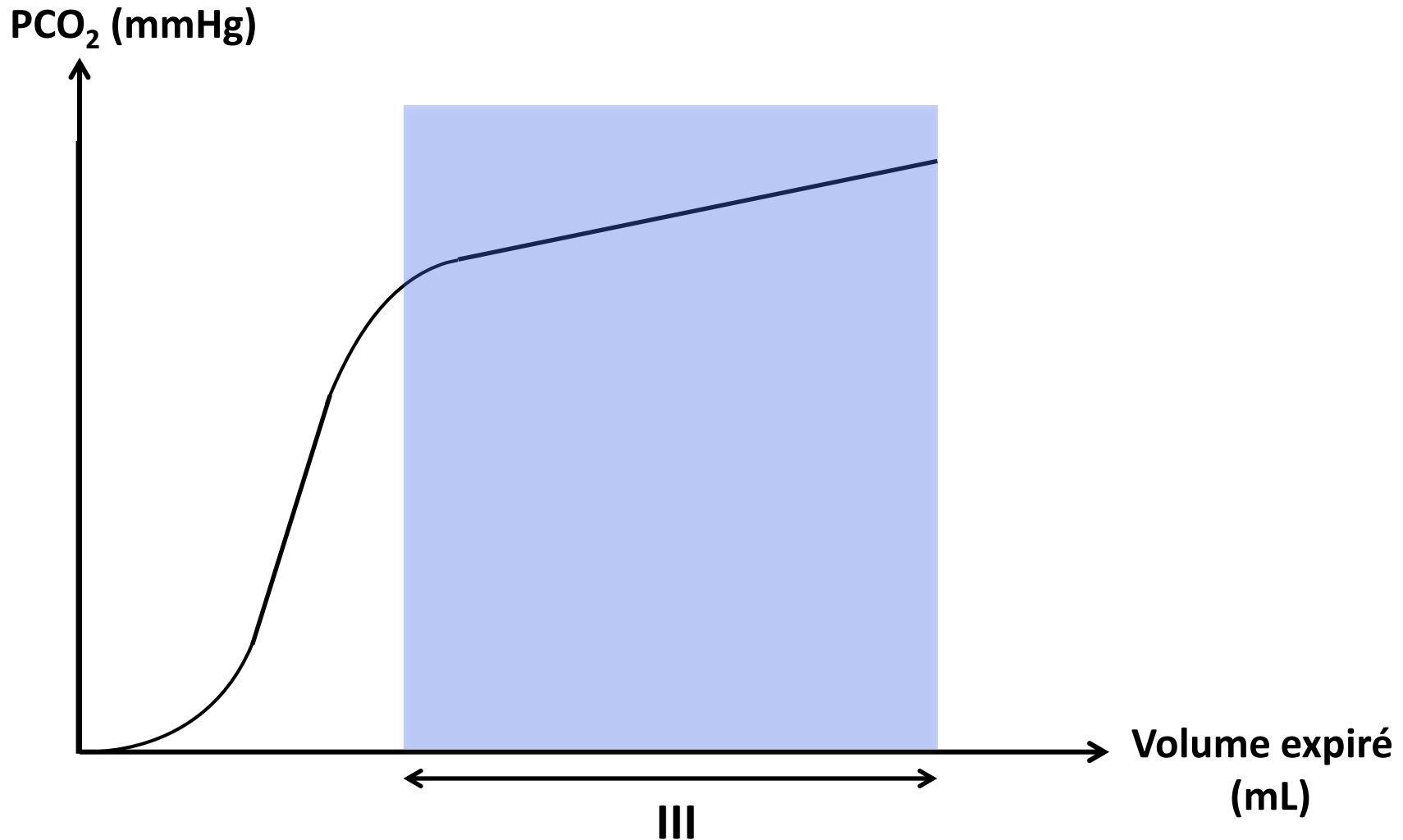
La capnographie volumétrique



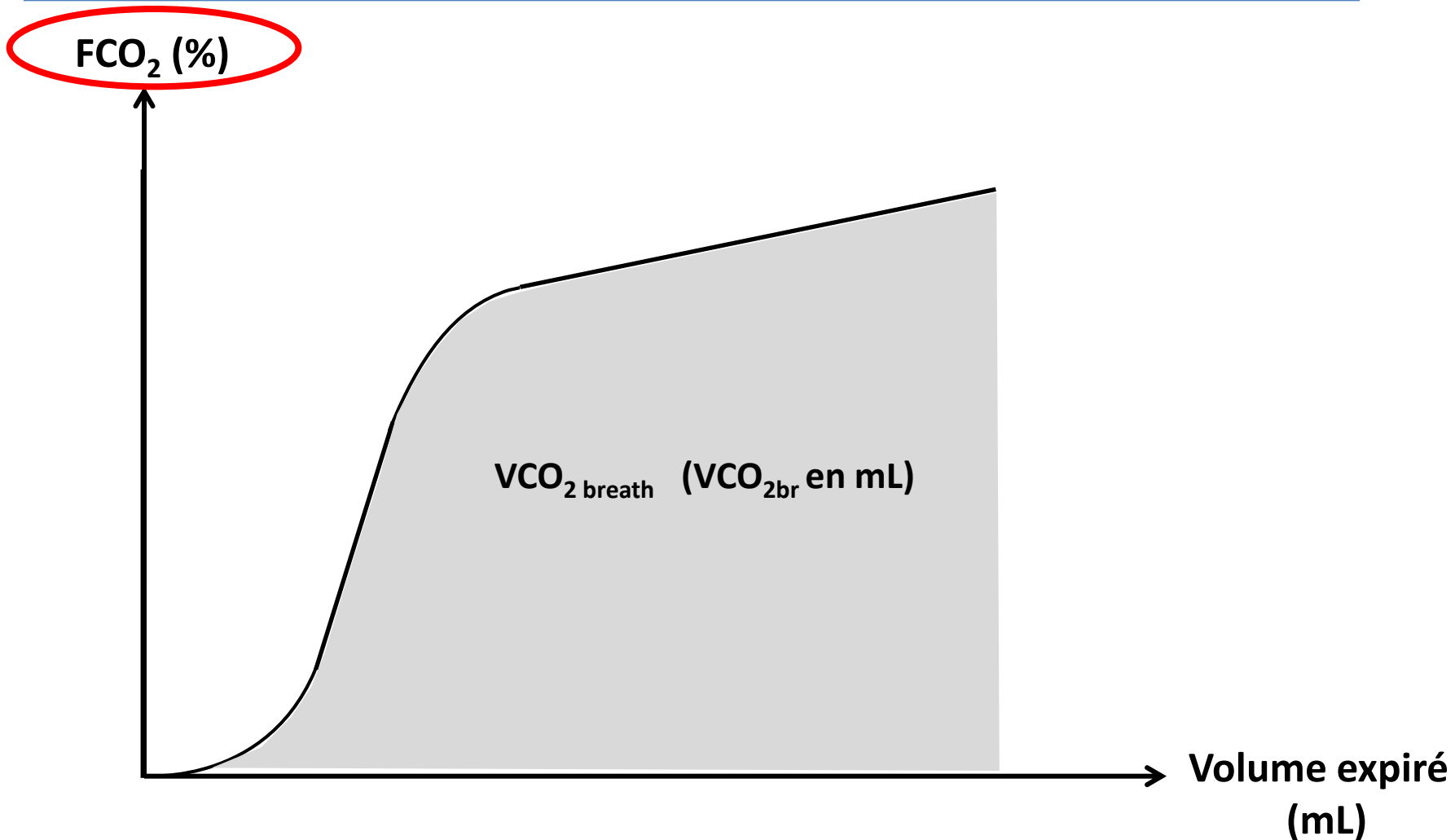
La capnographie volumétrique



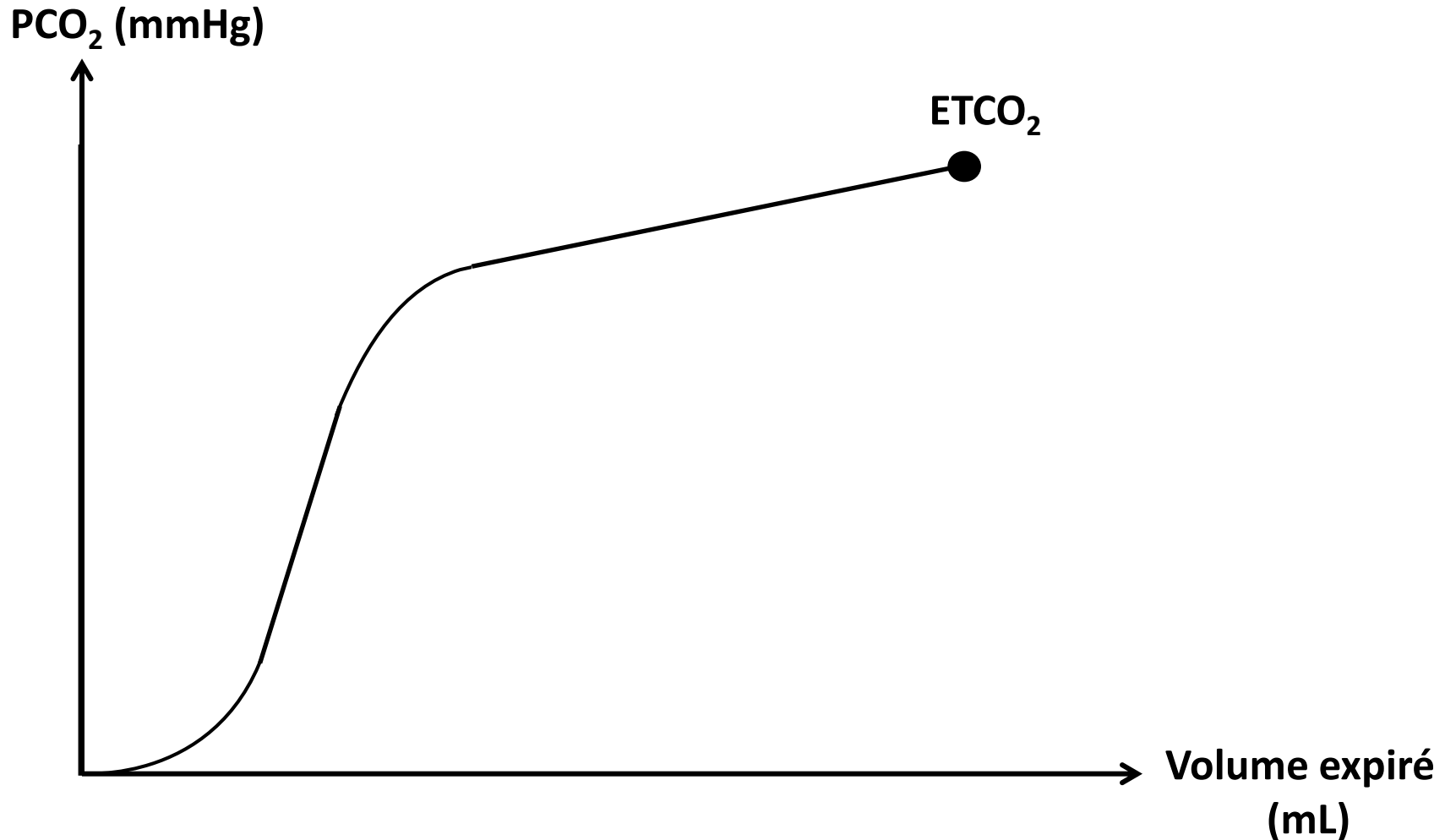
La capnographie volumétrique



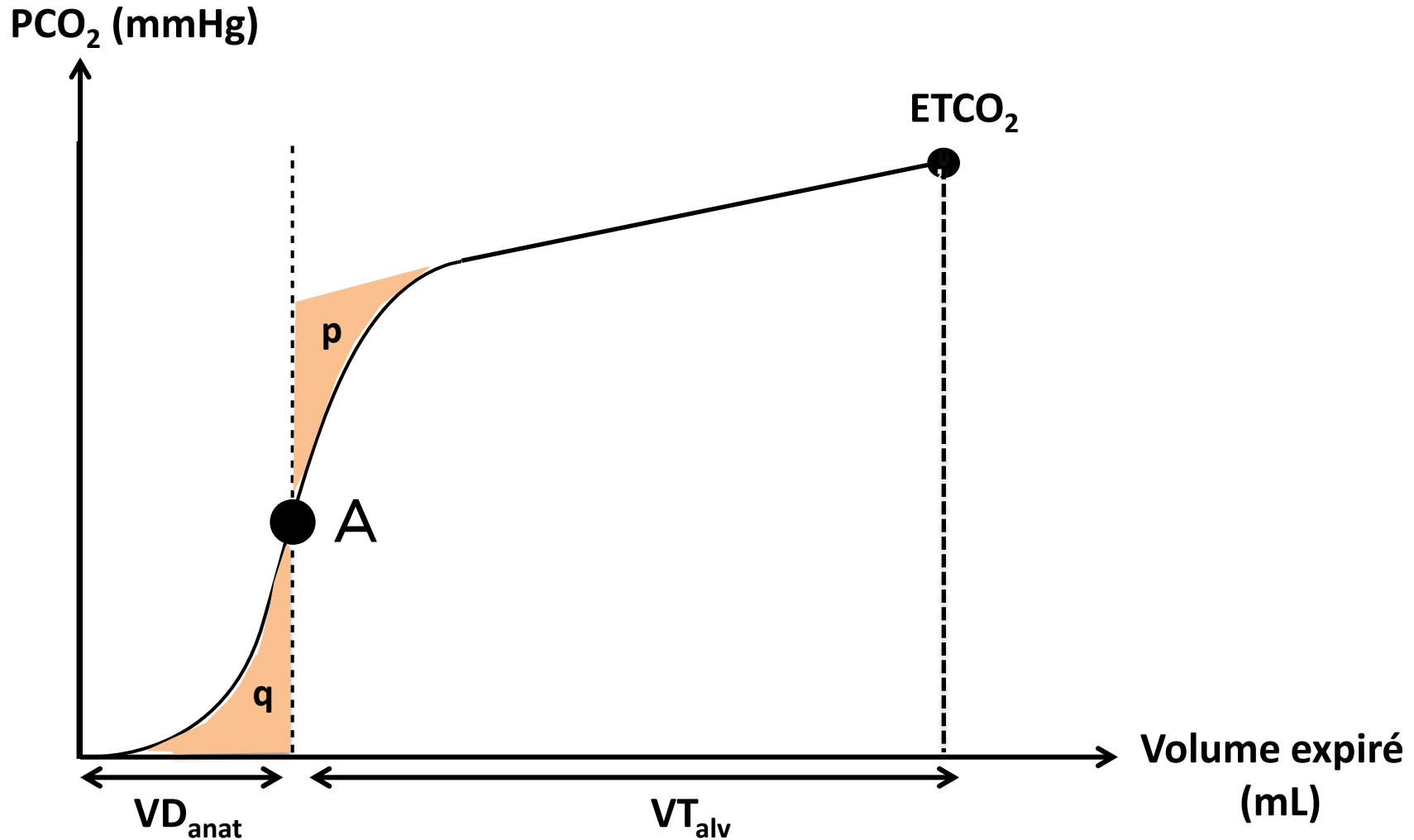
La capnographie volumétrique



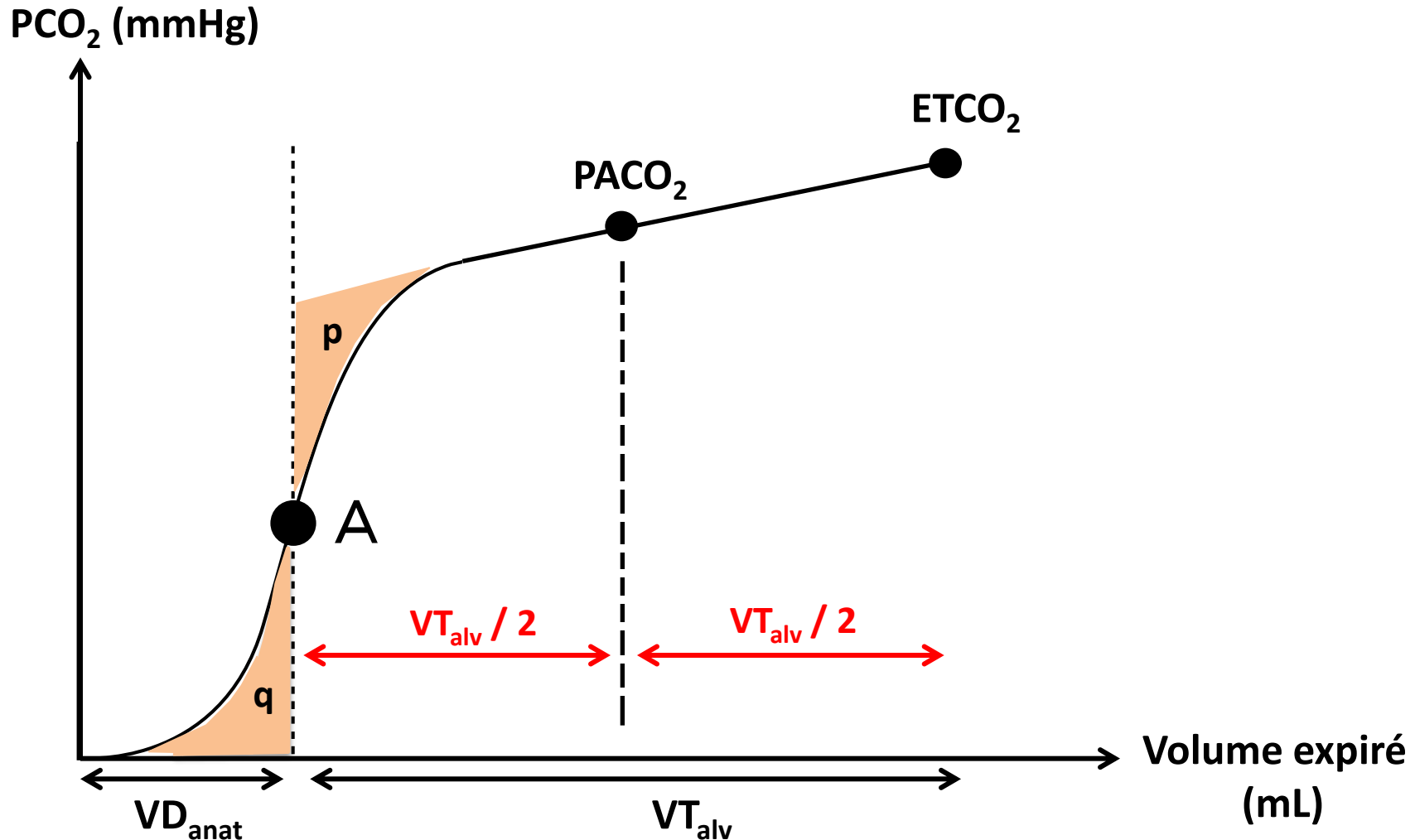
La capnographie volumétrique



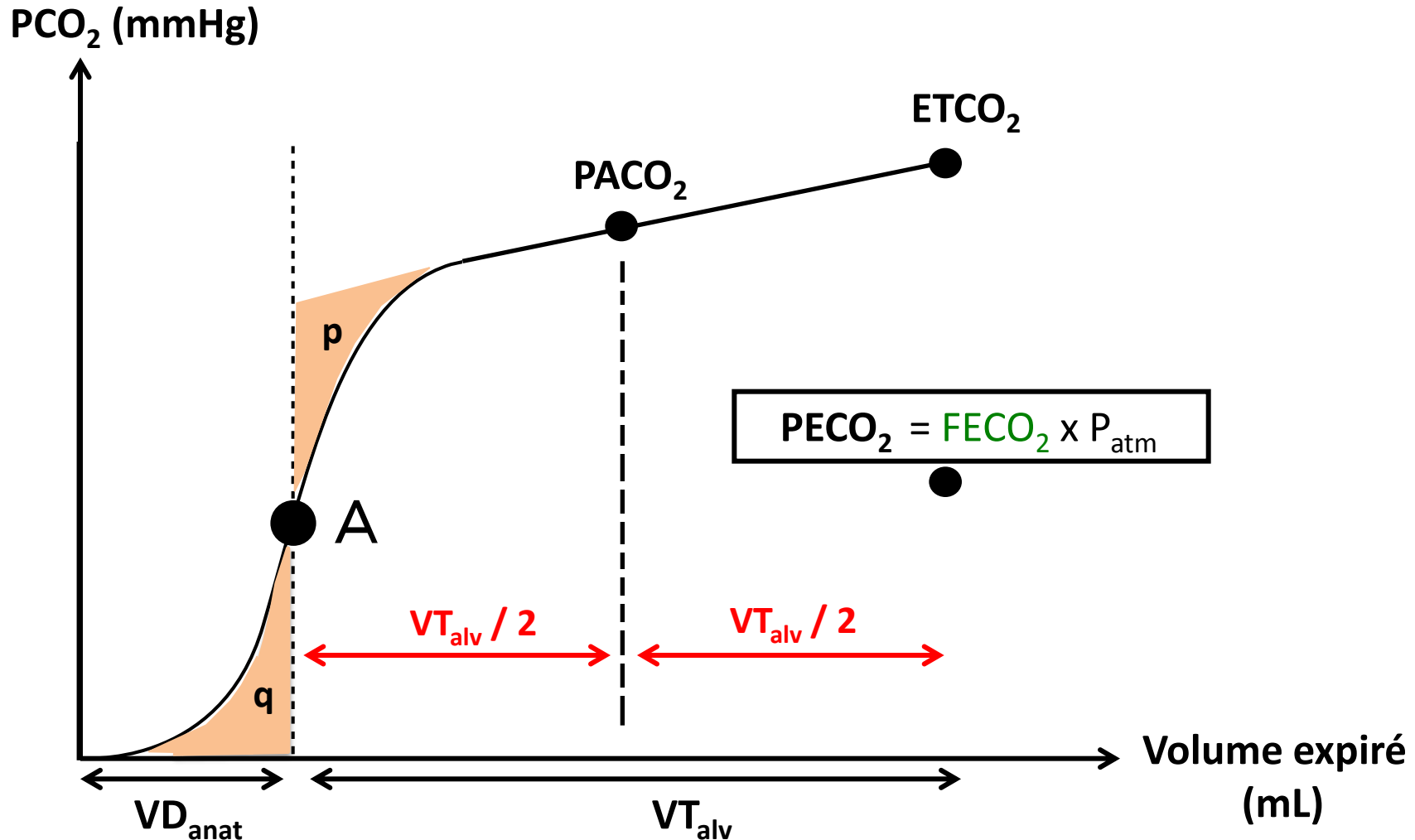
La capnographie volumétrique



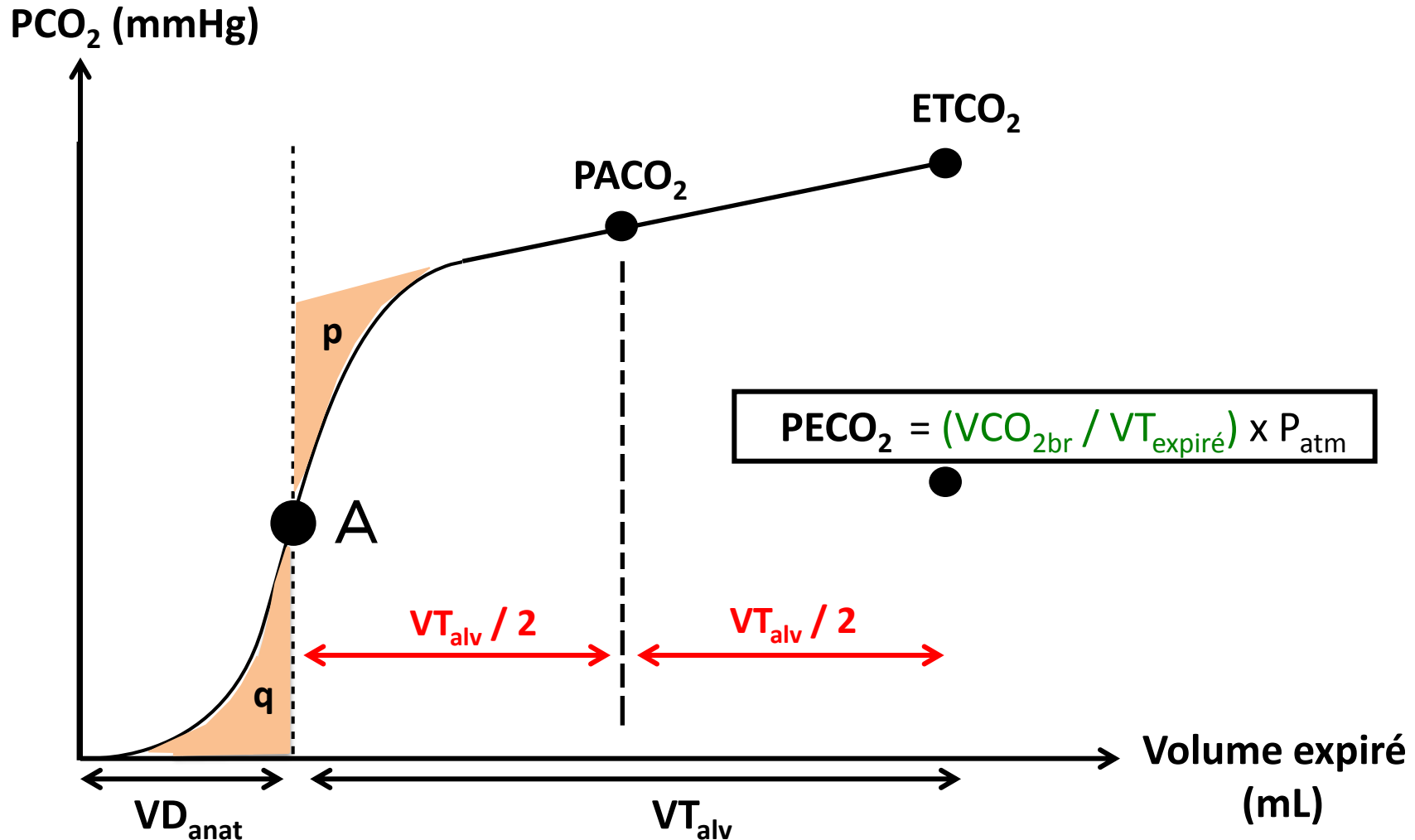
La capnographie volumétrique



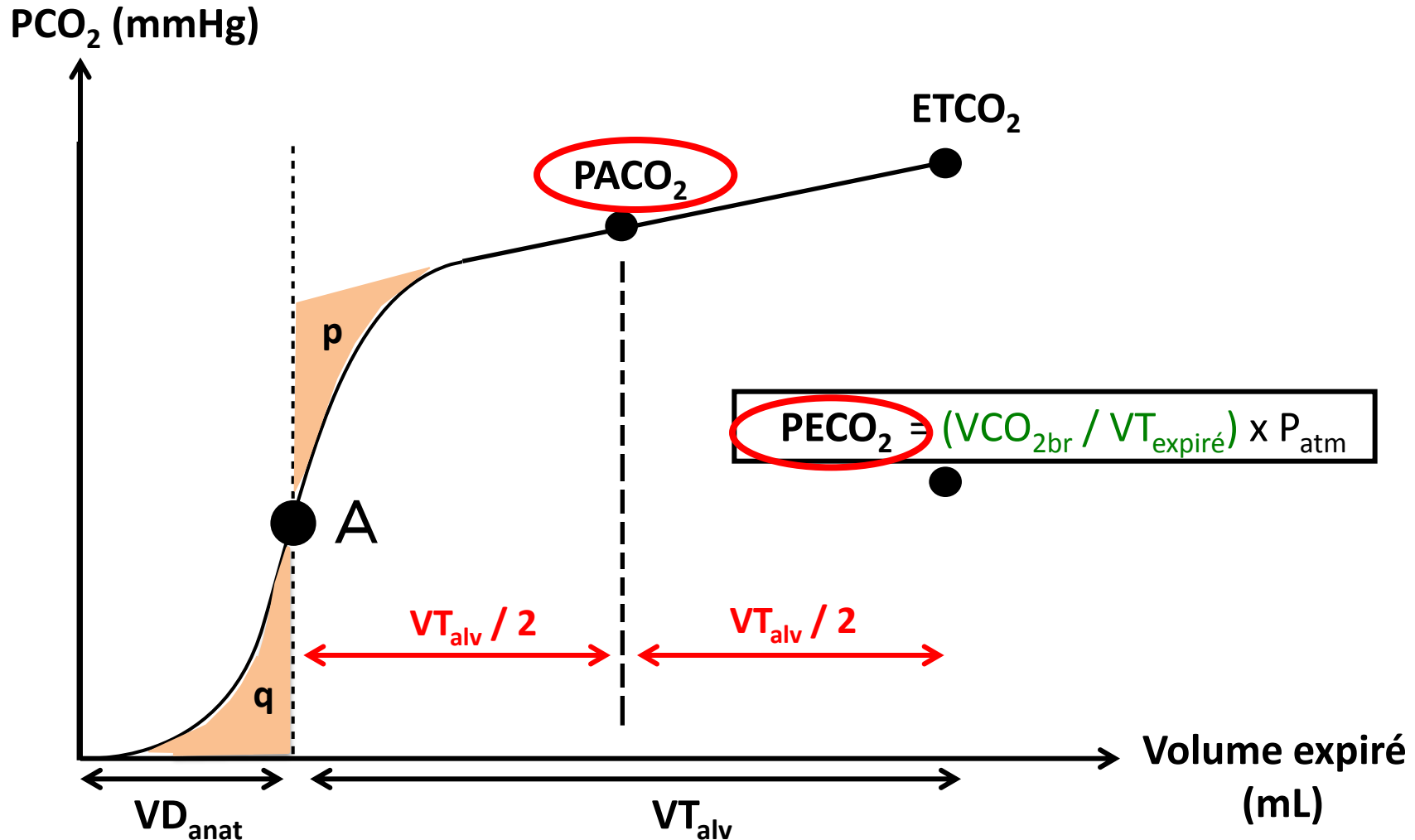
La capnographie volumétrique



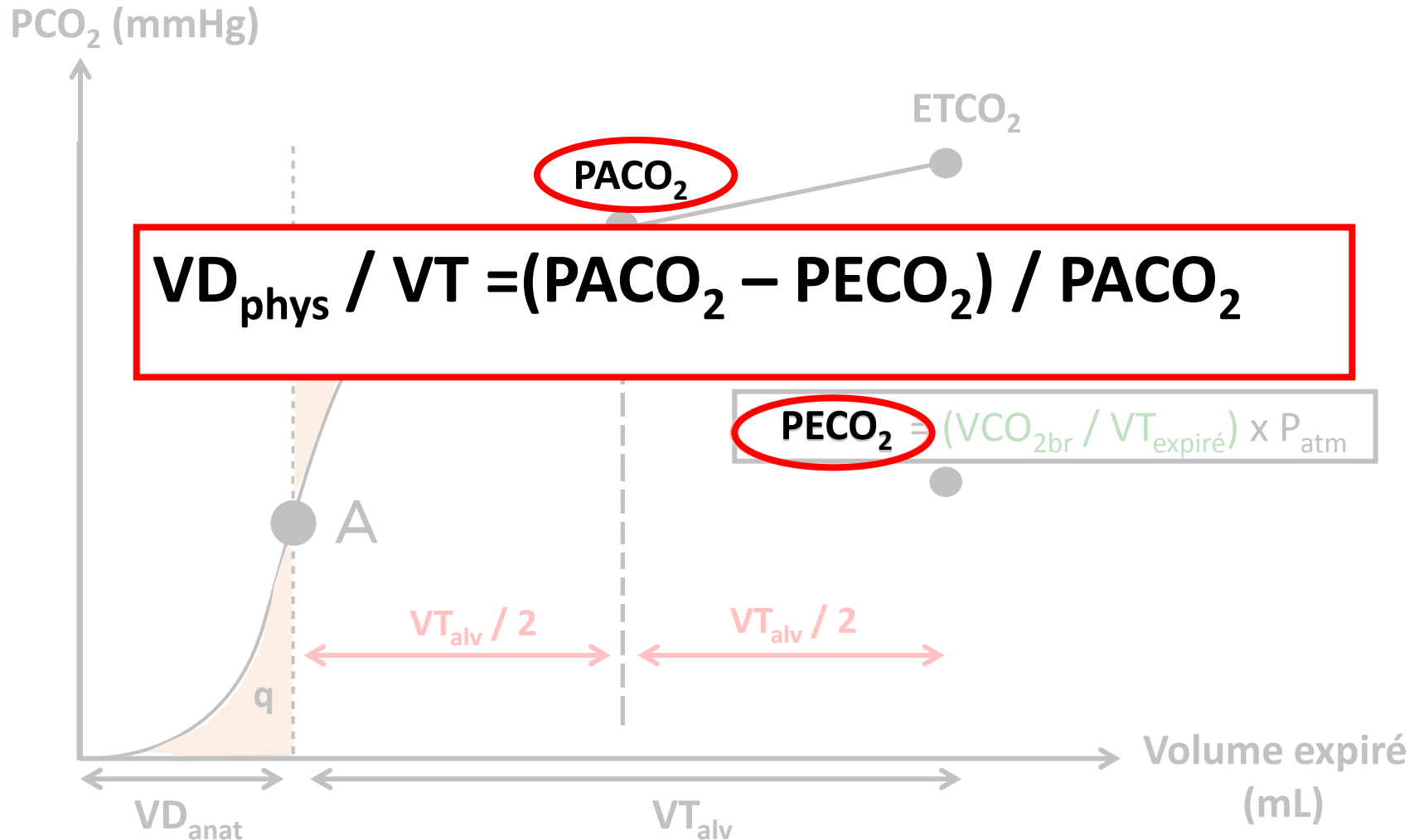
La capnographie volumétrique



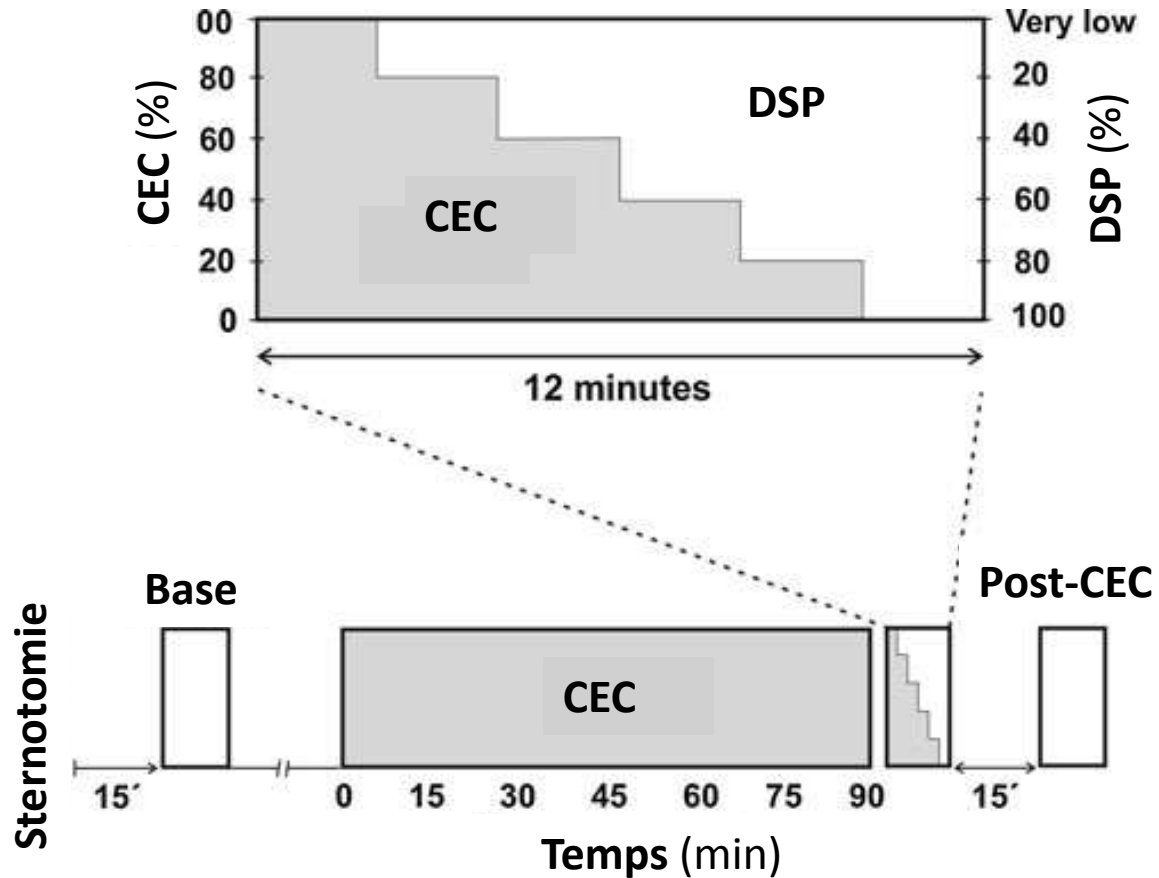
La capnographie volumétrique



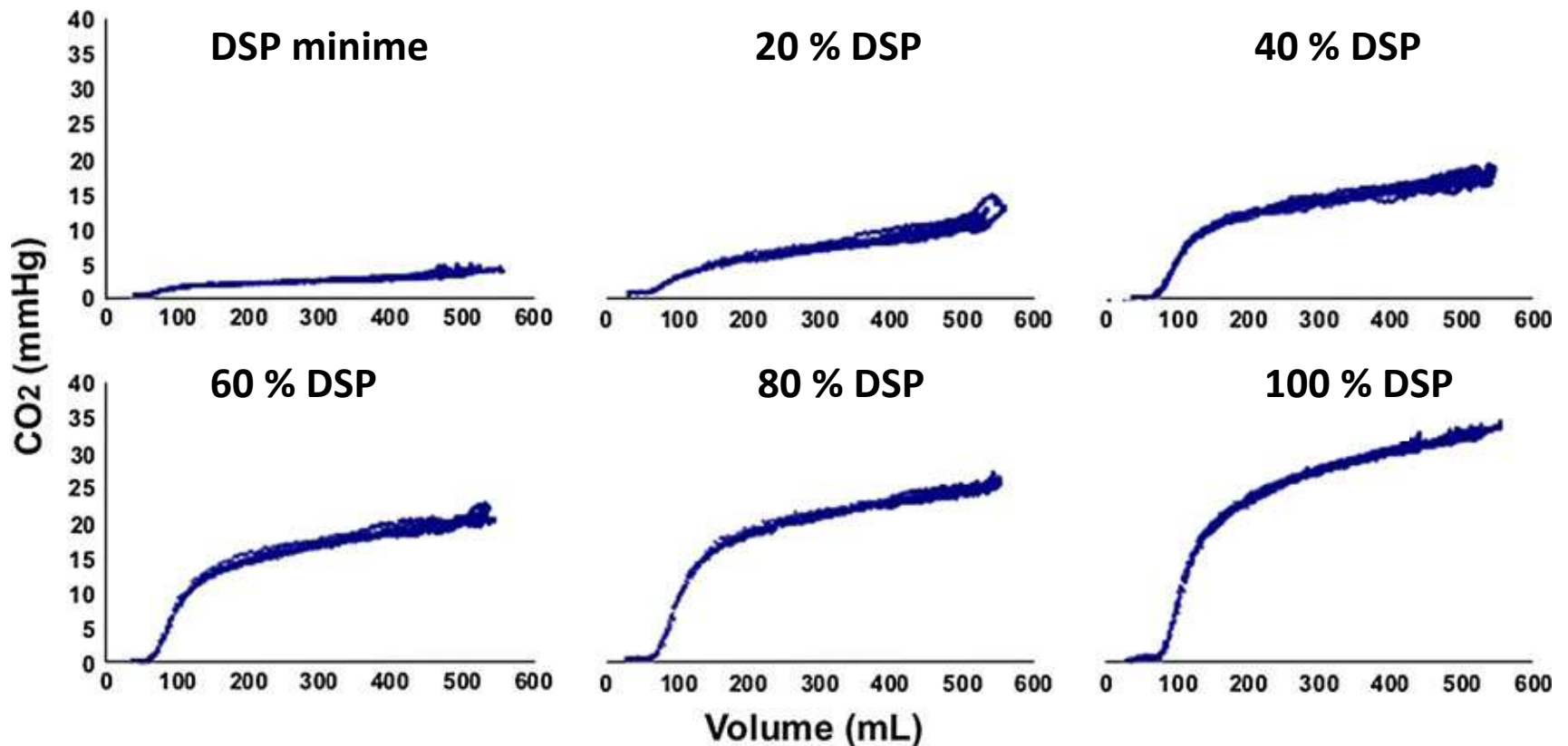
La capnographie volumétrique



CV et débit sanguin pulmonaire



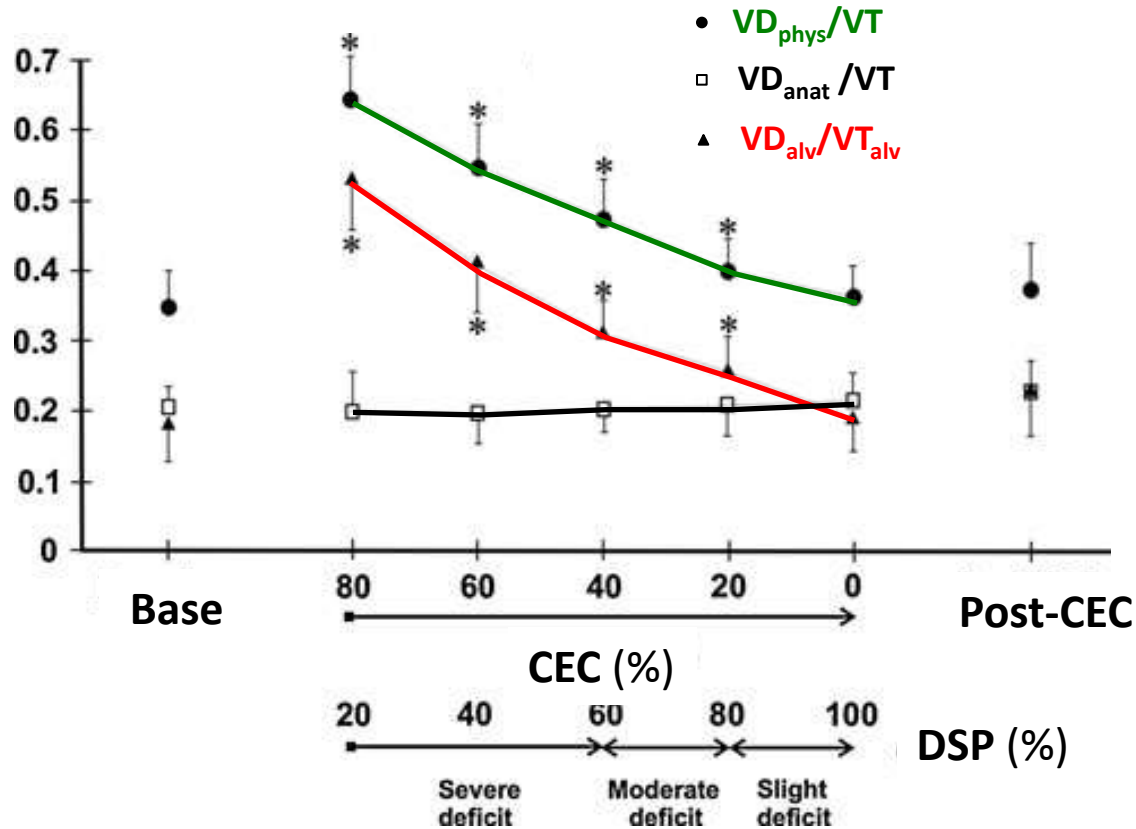
CV et débit sanguin pulmonaire



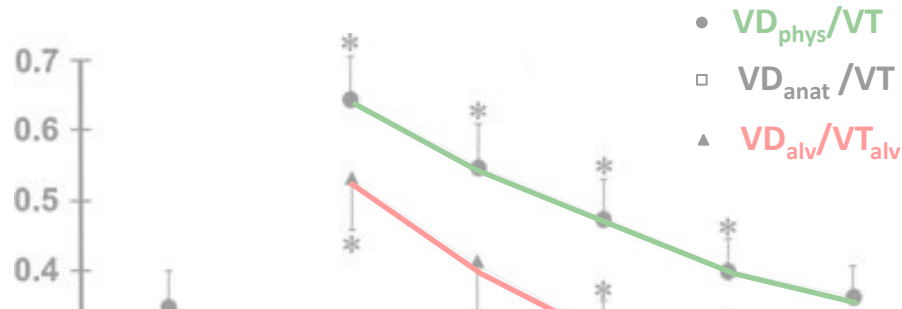
CV et débit sanguin pulmonaire

Parameters	Baseline	% of CPB					Post-CPB
		80	60	40	20	0	
PETCO ₂ (mmHg)	34 ± 4	7 ± 2*	14 ± 4*	20 ± 3*	28 ± 5	32 ± 3	33 ± 5
PACO ₂ (mmHg)	29 ± 4	6 ± 2*	11 ± 3*	17 ± 4*	23 ± 3*	27 ± 3	27 ± 6
PĒCO ₂ (mmHg)	16 ± 3	2 ± 1*	5 ± 2*	9 ± 2*	14 ± 3	17 ± 2	16 ± 2
VTCO ₂ , br (mL)	14 ± 3	3 ± 1*	5 ± 1*	8 ± 2*	11 ± 3	13 ± 3	15 ± 2
BT (°C)	36.8 ± 0.5	37.0 ± 0.3	37.0 ± 0.3	37.0 ± 0.5	36.9 ± 0.4	36.9 ± 0.6	36.7 ± 0.7

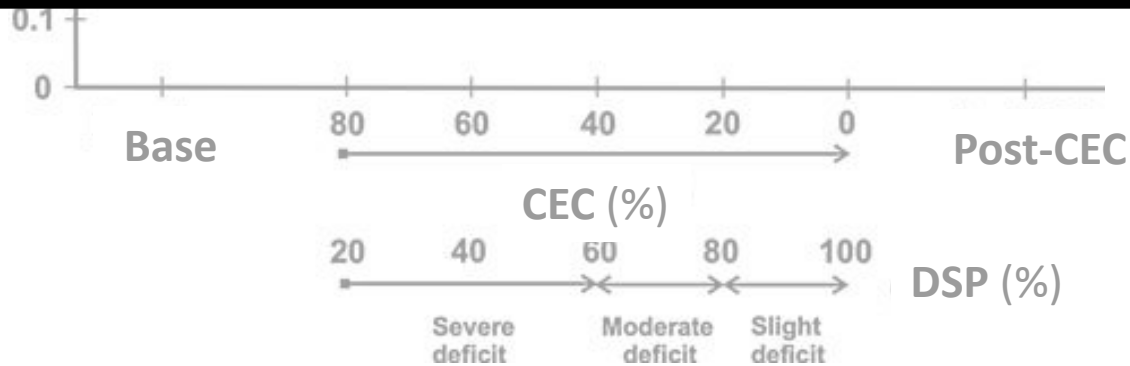
CV et débit sanguin pulmonaire



CV et débit sanguin pulmonaire



La capnographie volumétrique permet de détecter les états de bas débit sanguin pulmonaire



CV et optimisation de la PEP

BASE

FR 15

FiO₂ 50%

Vt 6-7 mL/kg

I/E 1/2

PEP 8 cmH₂O

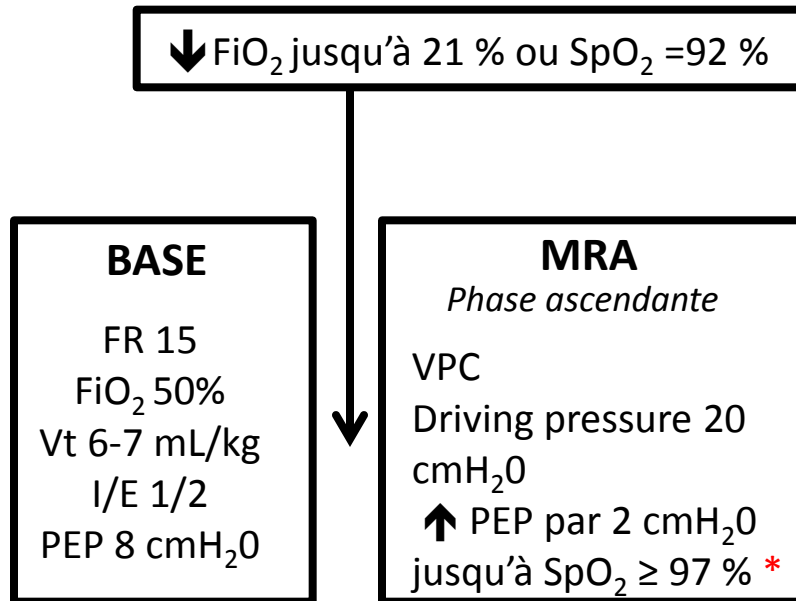
CV et optimisation de la PEP

↓ FiO₂ jusqu'à 21 % ou SpO₂ =92 %

BASE

FR 15
FiO₂ 50%
Vt 6-7 mL/kg
I/E 1/2
PEP 8 cmH₂O

CV et optimisation de la PEP



CV et optimisation de la PEP

↓ FiO₂ jusqu'à 21 % ou SpO₂ = 92 %

BASE

FR 15
FiO₂ 50%
Vt 6-7 mL/kg
I/E 1/2
PEP 8 cmH₂O

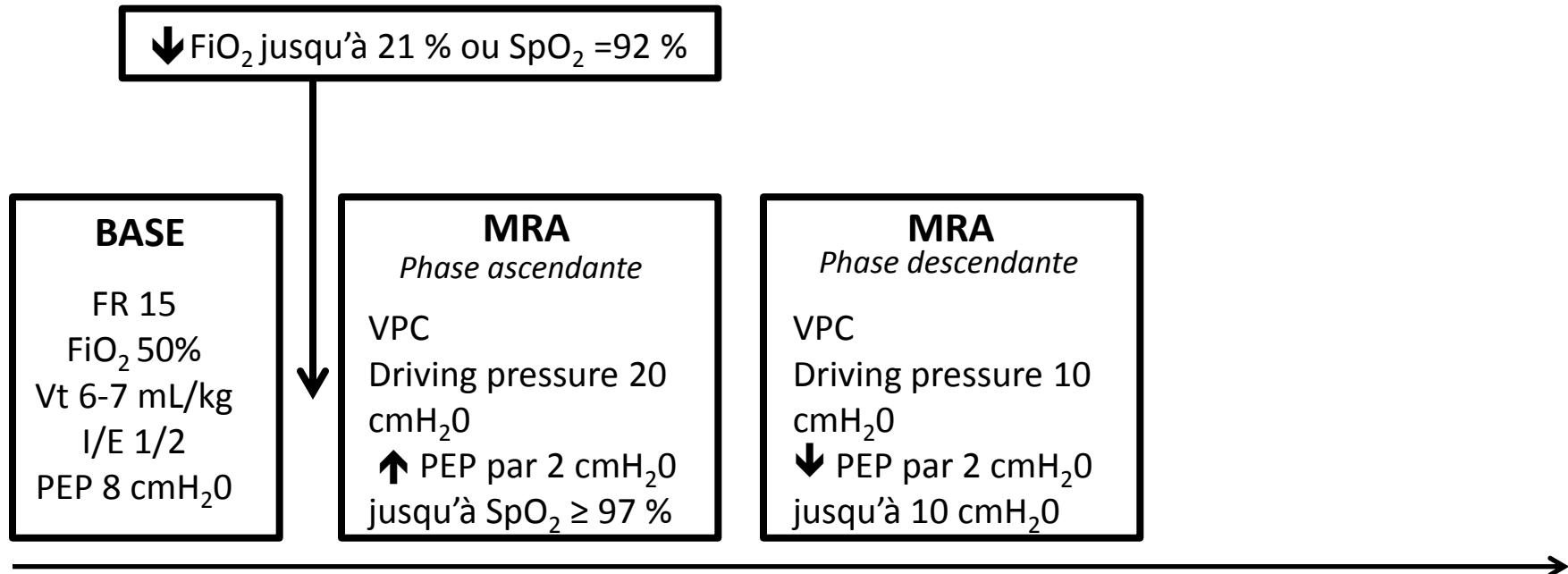
MRA

Phase ascendante

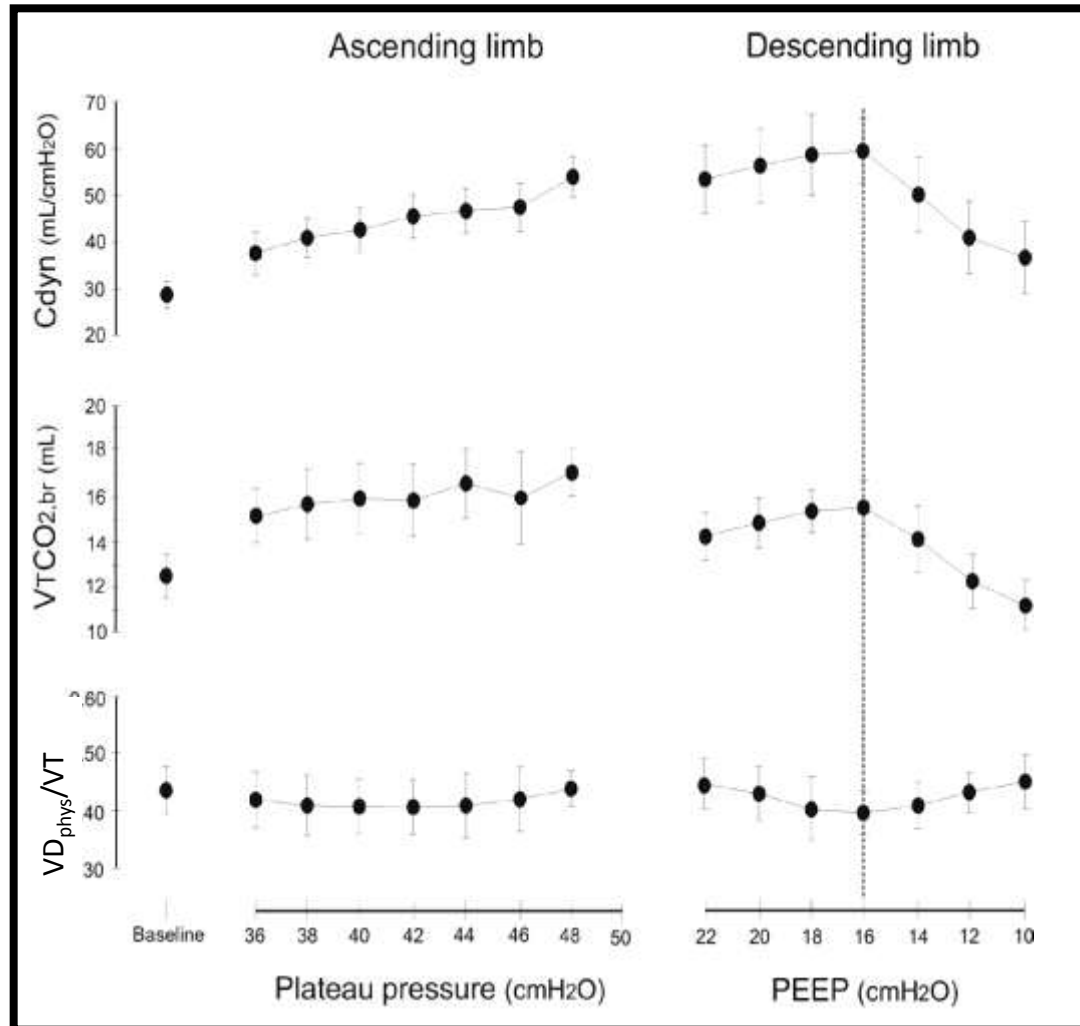
VPC
Driving pressure 20
cmH₂O
↑ PEP par 2 cmH₂O
jusqu'à SpO₂ ≥ 97 % *

$$* D_{\text{gaz}} / dt = D \times A \times \Delta P / e$$

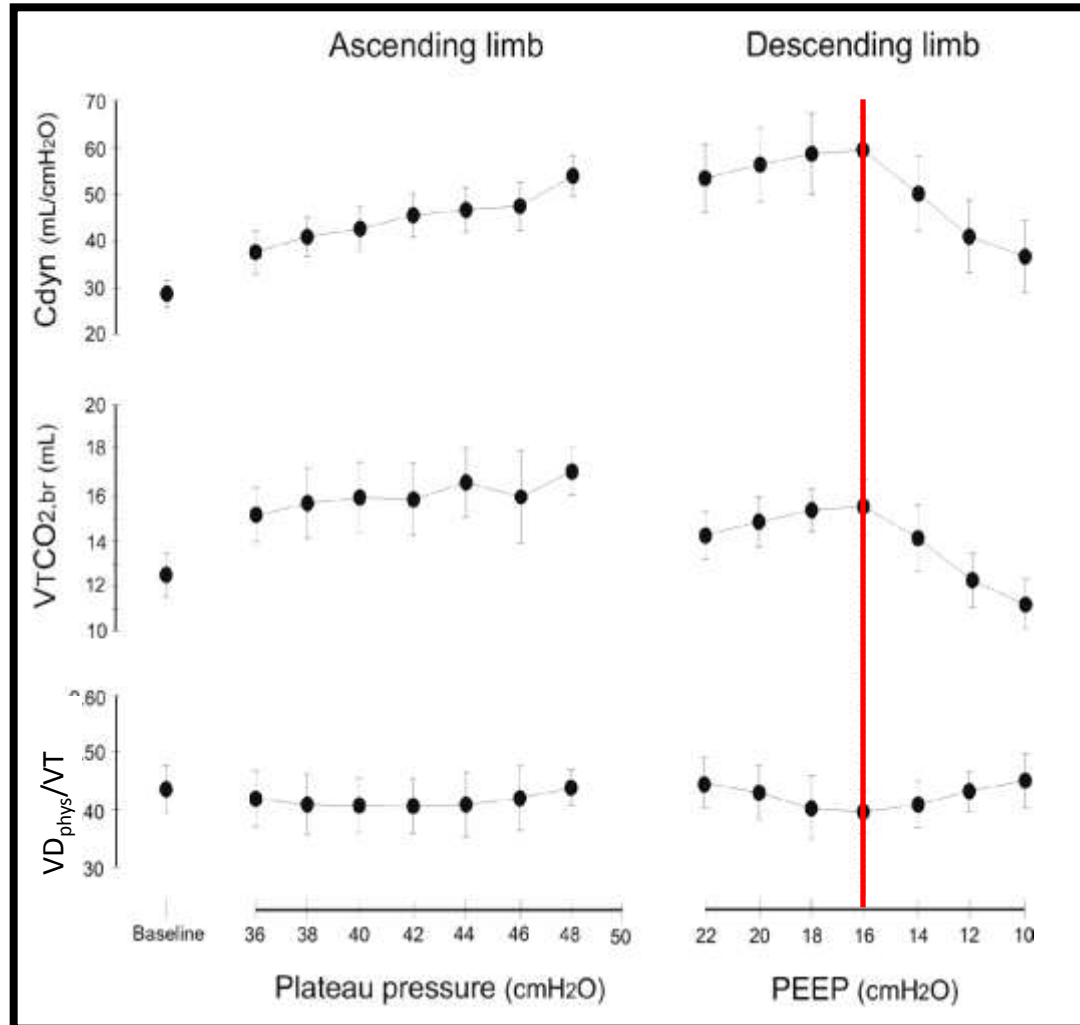
CV et optimisation de la PEP



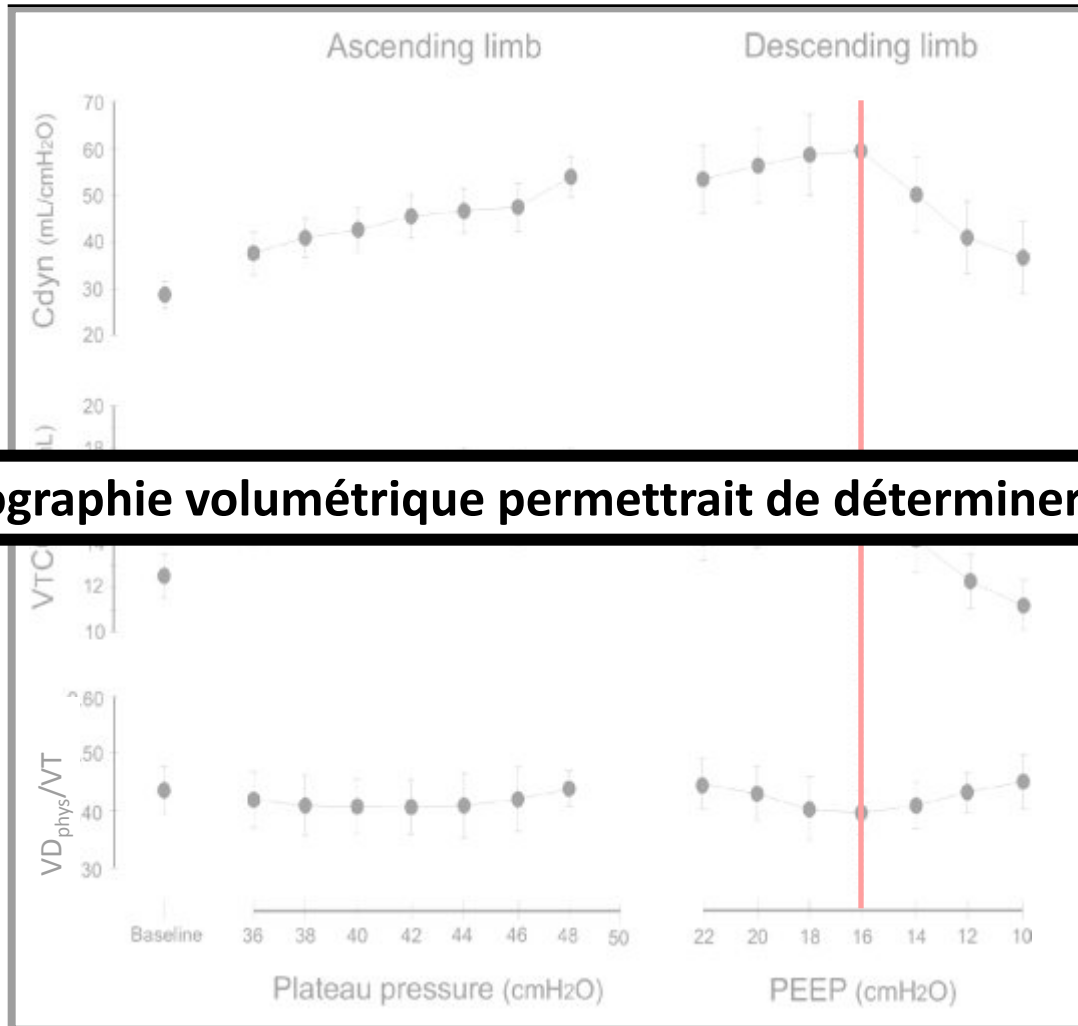
CV et optimisation de la PEP



CV et optimisation de la PEP



CV et optimisation de la PEP



La capnographie volumétrique permettrait de déterminer la best PEP

Les études de CV à mener ?

- CV et sevrage d'ECMO V-A
- CV et sevrage d'ECMO droite
- CV et best PEP dans le SDRA
- CV et décubitus ventral



MERCI DE VOTRE ATTENTION

Références

- Gradient de PCO_2 : un reflet fiable de la perfusion macro et microcirculatoire. F.Vallée *et al.* Réanimation 2011
- Altérations de la microcirculation dans les états de choc: physiopathologie, surveillance et traitement. N.Siegenthaler *et al.* AFAR 2010
- Rationale of dead space measurement by volumetric capnography. Tusman *et al.* Anesthesia & Analgesia 2012