

Principes physiologiques appliqués à la ventilation artificielle chez l'enfant

Mardi 28 novembre 2018
Club ECMO

Pr Pierre-Louis LEGER

Service de Réanimation Néonatale et Pédiatrique - Hôpital Trousseau, Paris
INSERM – ENVA U955 Maison Alfort

Plan de la présentation

- Mécanique Ventilatoire
- Echanges gazeux
- Mécanismes de l'hypoxémie et de l'hypercapnie
- Courbes et boucles ventilatoires

Objectifs pédagogiques

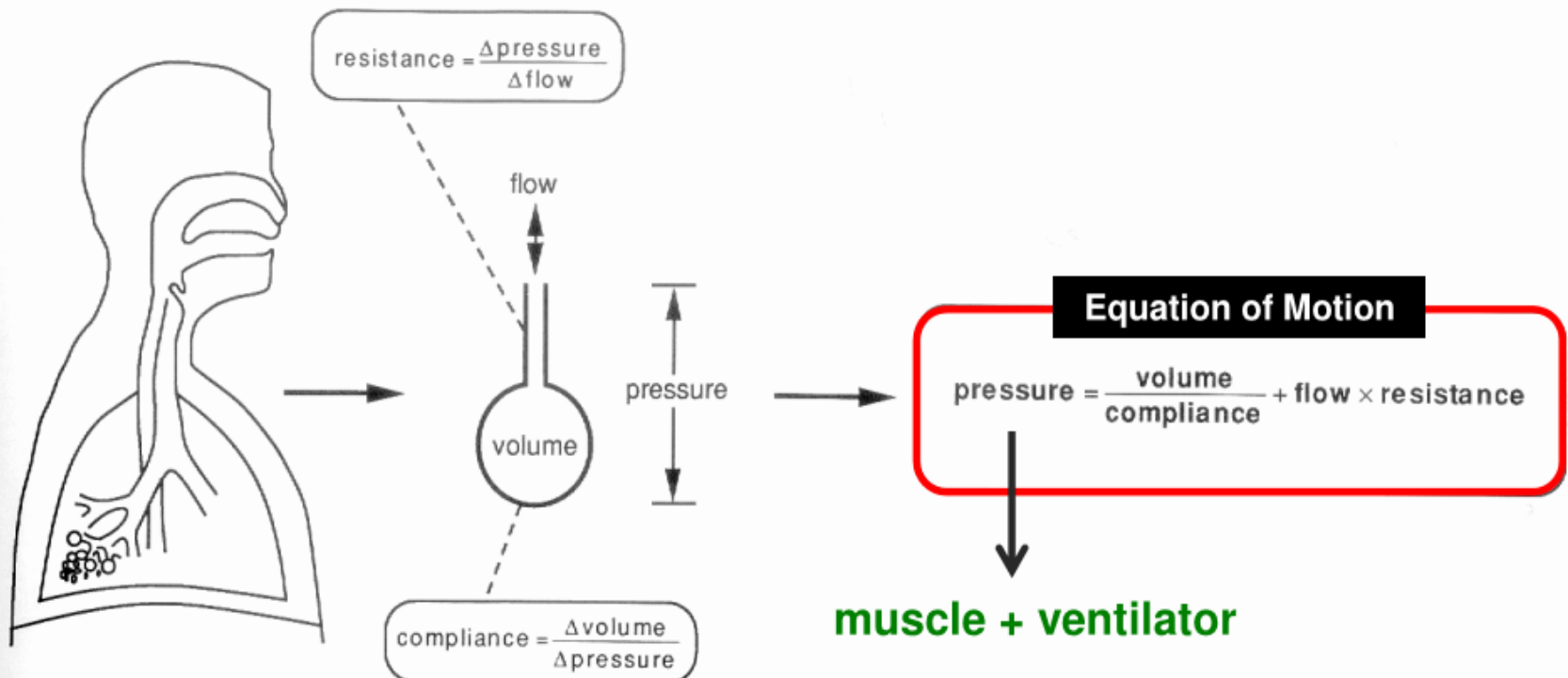
- Connaitre les principaux mécanismes de l'hypoxémie
- Connaitre les notions de compliances et résistances
- Connaitre les paramètres ventilatoires impactant sur la résistance et la compliance
- Savoir interpréter les principales courbes et les boucles ventilatoires

Mécanique ventilatoire

Equation du mouvement en VM

En ventilation contrôlée

$$\begin{aligned} P_{aw} &= P_0 + P \text{ résistives} + P \text{ élastiques} \\ &= P_0 + (R \times \text{Débit}) + (E \times \text{Volume}) \\ &= P_0 + (R \times \text{Débit}) + (\text{Volume}/C) \end{aligned}$$



Résistance et Compliance thoraco-pulmonaire

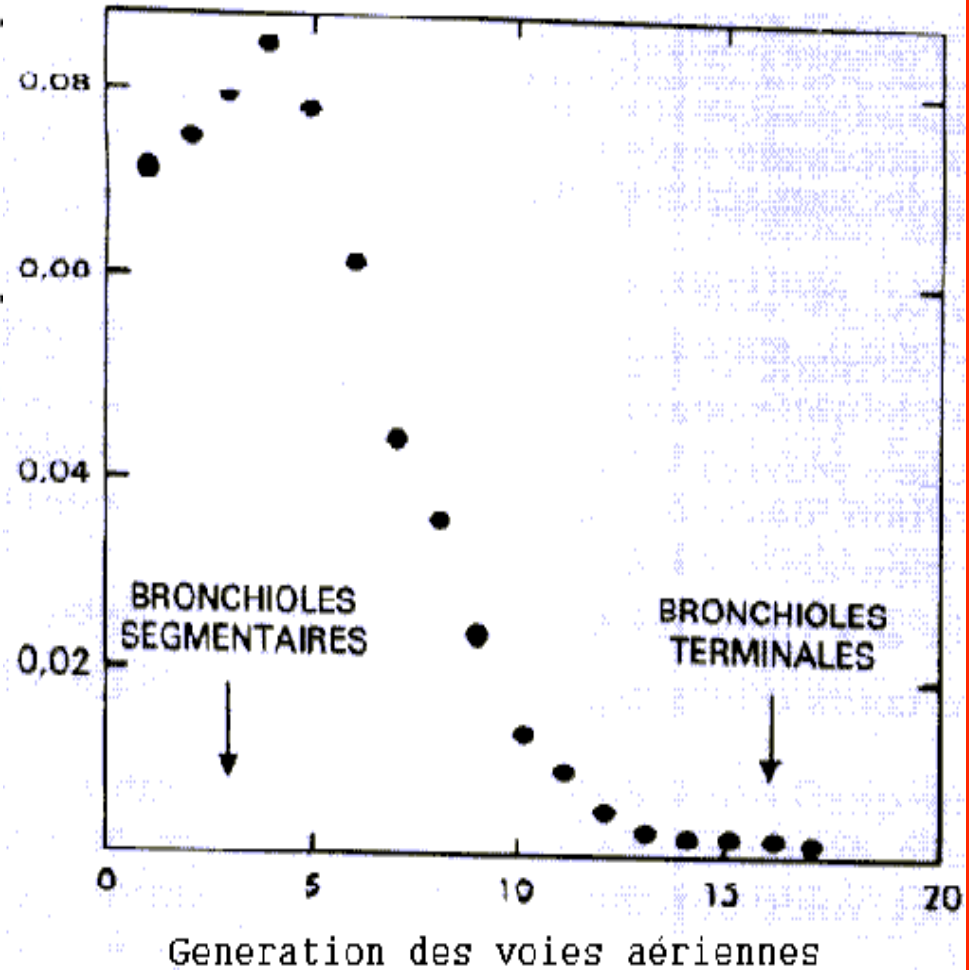
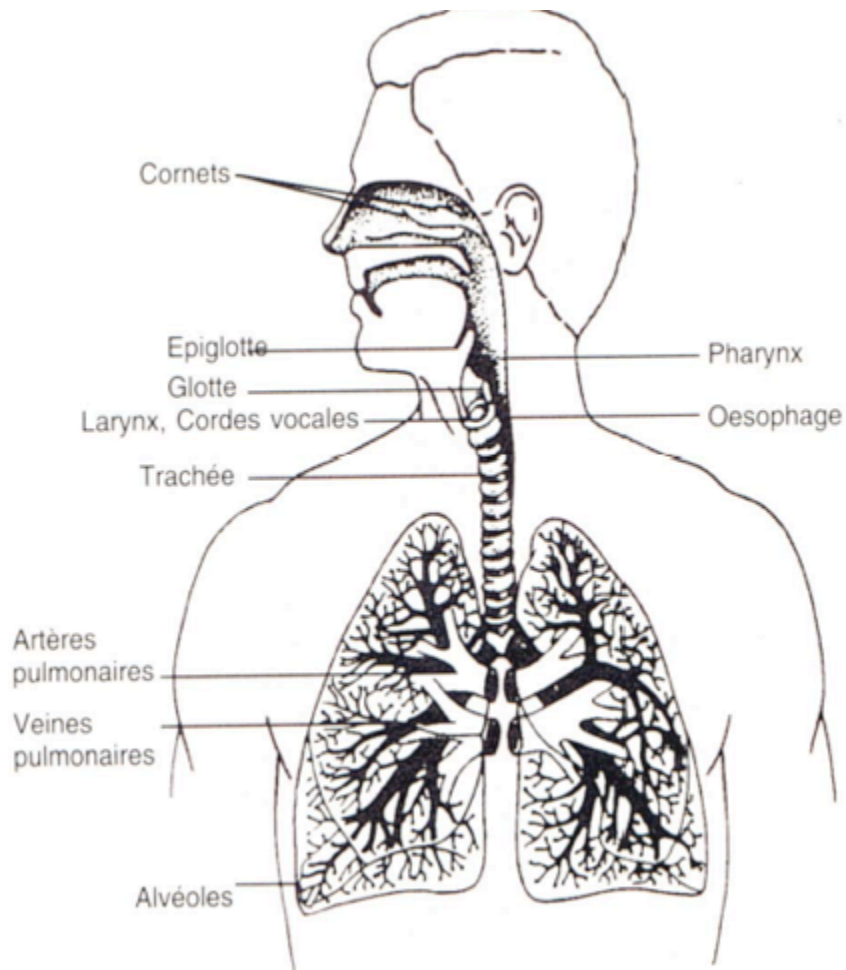
Résistance = Pression / Débit

$$\begin{aligned} R &= \text{Pression Résistives} / \text{Débit d'insufflation} \\ &= [P_{\text{pic}} - P_{\text{plateau}}] / \text{Débit d'insufflation} \\ &= \text{cmH}_2\text{O/L/s} \end{aligned}$$

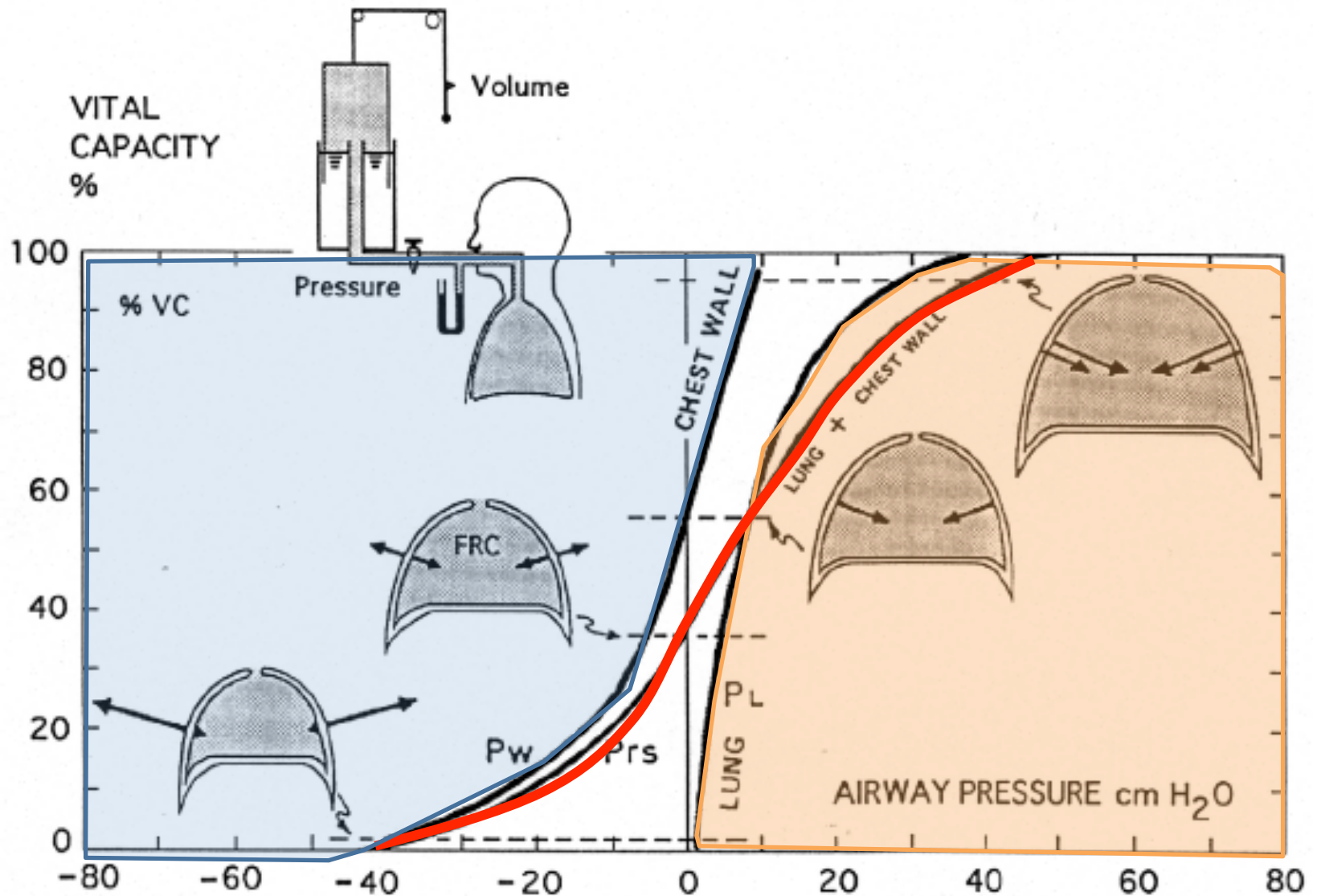
Compliance = Volume / Pression

$$\begin{aligned} C &= \text{Volume courant} / \text{Pression élastique} \\ &= \text{Volume courant} / [P_{\text{plateau}} - \text{Pression expiratoire}] \\ &= \text{ml/cmH}_2\text{O} \end{aligned}$$

Résistances du système respiratoire

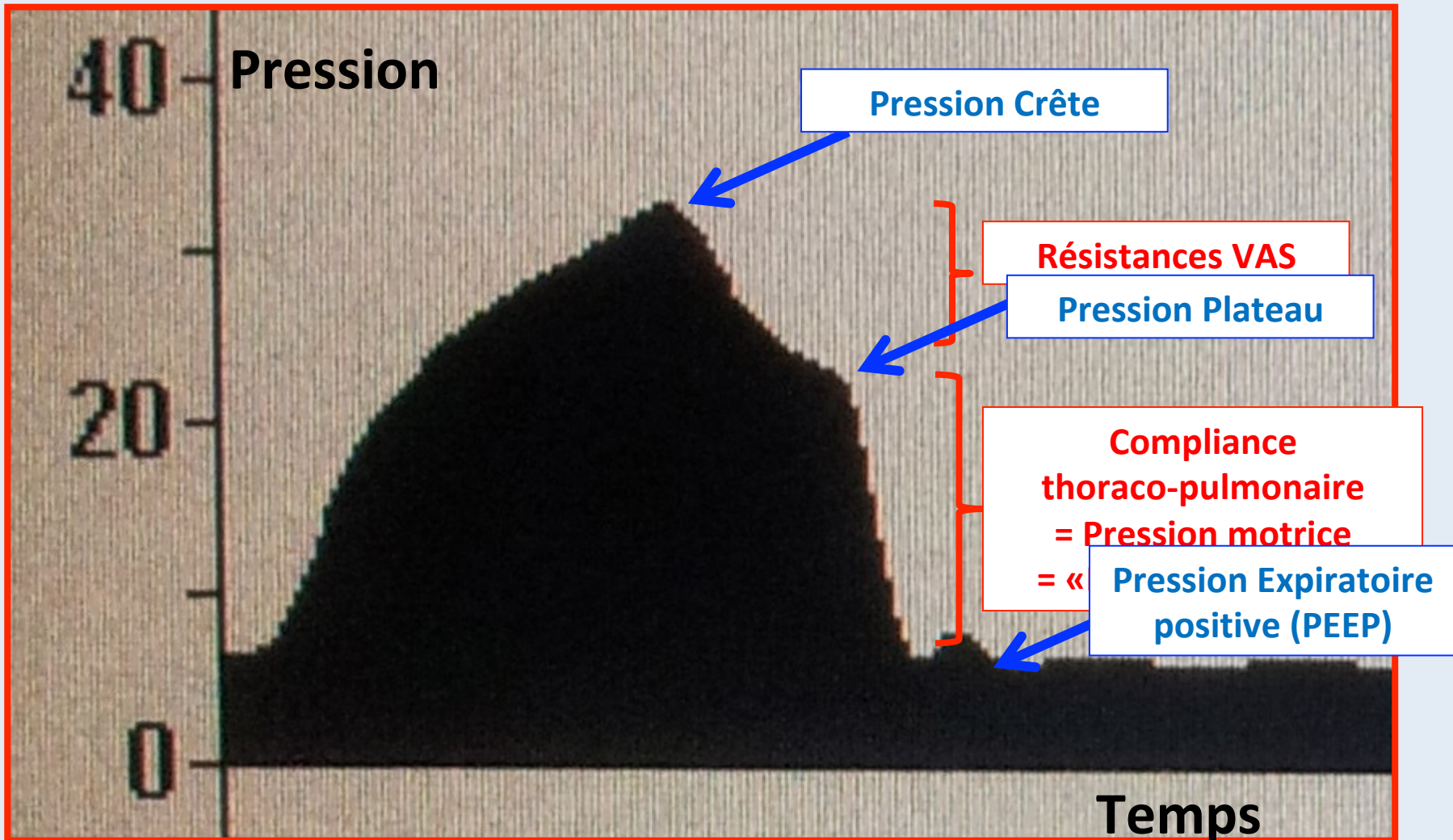


Compliance thoraco-pulmonaire



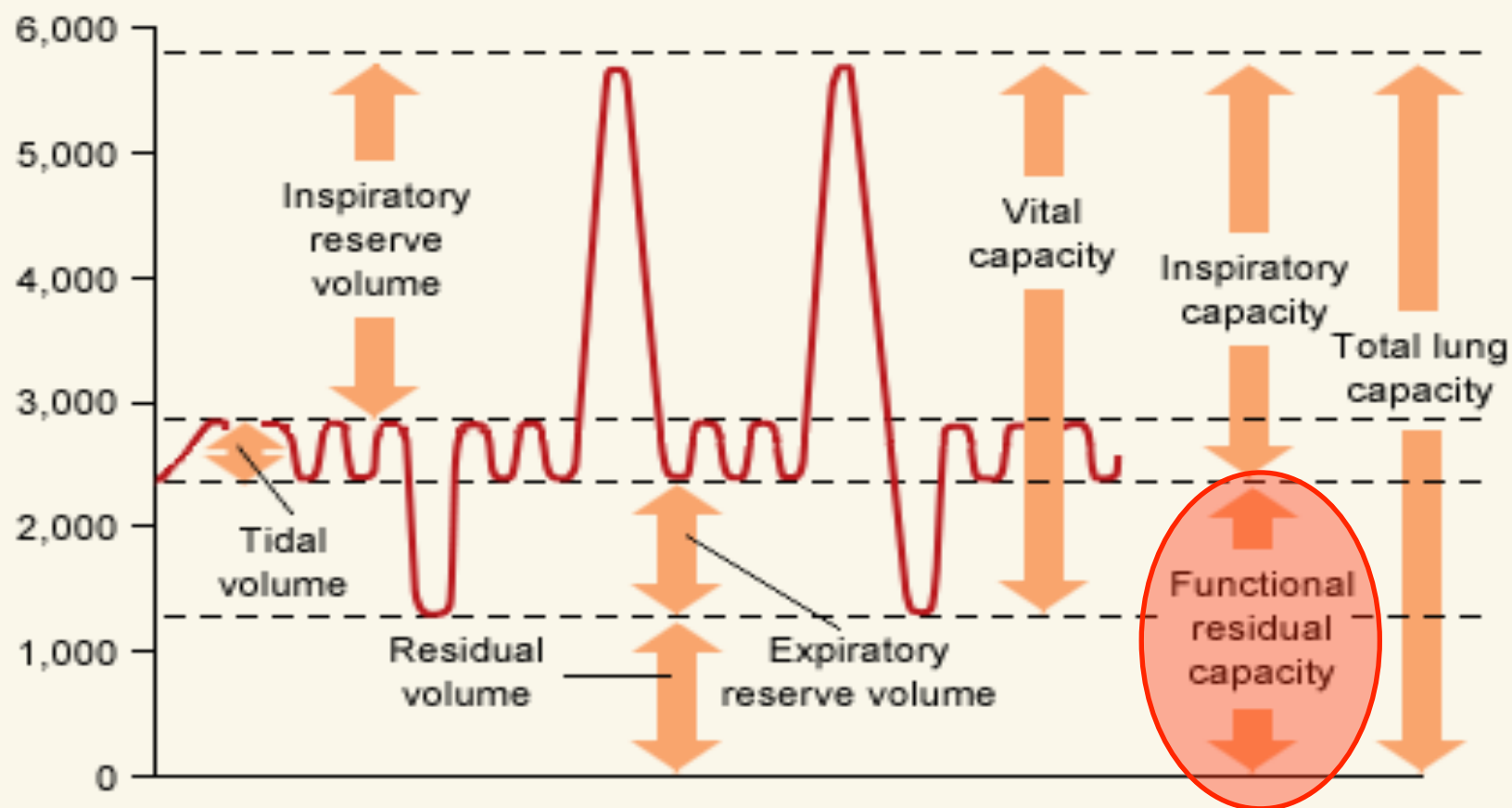
Pressions résistives et élastiques

Ventilation volumétrique à débit d'insufflation constant



Elements de spirométrie respiratoire

Lung volume in milliliters (mL)



Adapted from: Shier D, Butler J, Lewis R. *Hole's human anatomy and physiology* • 2004 • McGraw Hill : Boston, New York

Paramètres physiologiques respiratoires

Volumes	3 mois	Adulte	Croissance
Vol. pulmonaire total	20 mL (5-7 mL/kg)	450 mL (6 mL/kg)	x 22 (-)
V_T (mL/kg)	6-8	7	x 1
CRF	90 mL (30 mL/kg)	2400 mL (34 mL/kg)	x 1 (+ 10%)
Espace mort anatomique	7 mL (2,5 mL/kg)	150 mL (2 mL/kg)	x 20 (- 20%)
Espace mort physiol.	0,3%	0,3%	x 1
Fréquence respiratoire	40-60/min	12-16/min	0,3 (-70 à -75%)

Paramètres physiologiques respiratoires

Paramètres respiratoires	3 mois	Adulte	Facteur de croissance
Fréquence respiratoire	40-60/min	12-16/min	0,3
Ventilation minute (mL/min)	650	7000	11
Ventilation alvéolaire	400	4200	10
-en mL/min			
-en mL/kg/min	100-150	60	0,5
-mL/m ² /min	2,3	2,3	1
Consommation d'O ₂			
-en mL/min	18	250	14
-en mL/kg/min	6,8	3,3	0,5
Travail respiratoire (g/cm/L)	2000-4000	2000-7000	1-2
Élimination CO ₂ (mL/kg/min)	6	3	0,5
Capacité de diffusion (mL CO/kPa/min)	6-22,5	112-188	10-20
Shunt physiologique	6-10%	1-3%	0,15-0,4

Paramètres physiologiques respiratoires

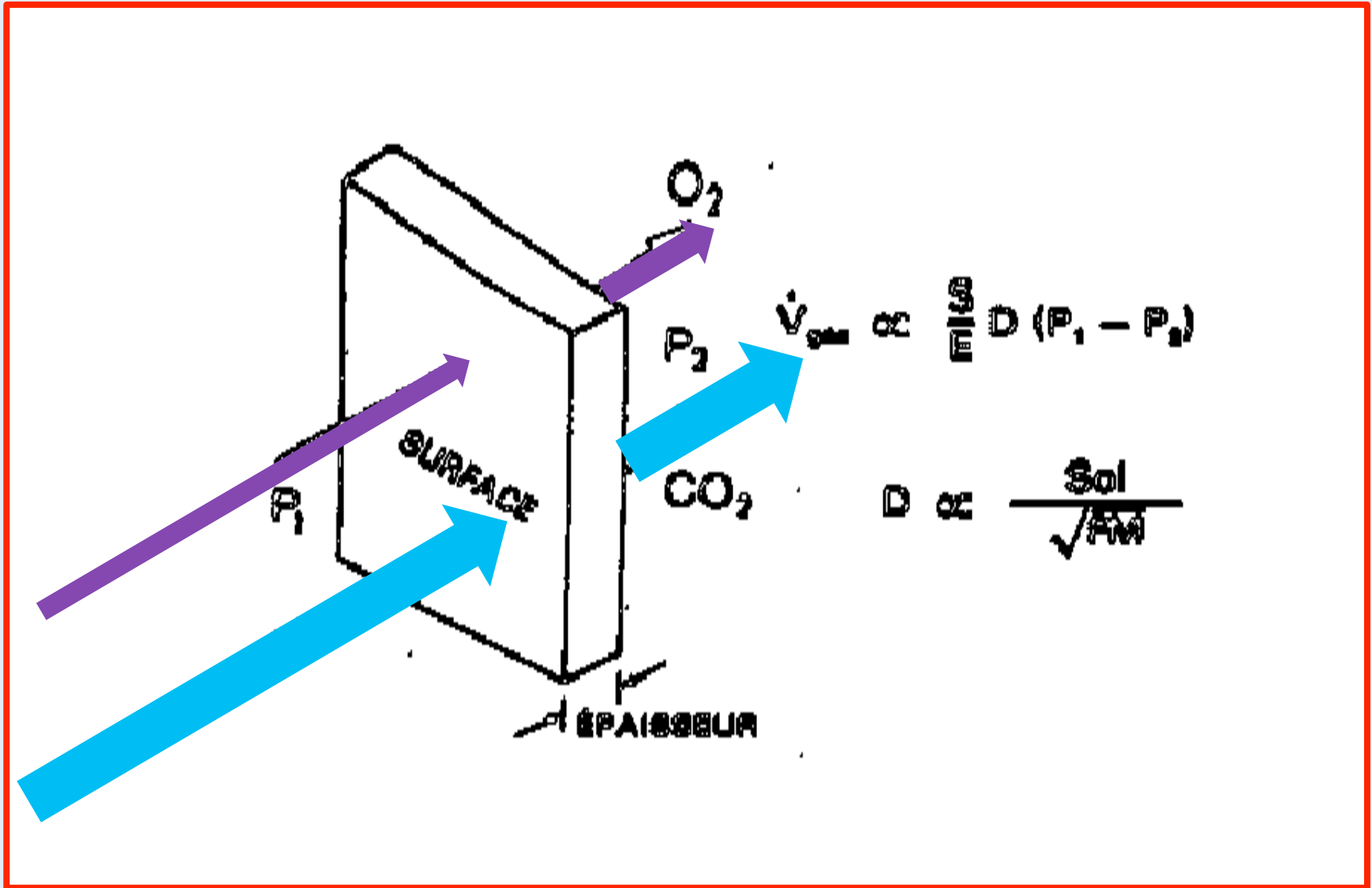
Paramètre	3 mois	Adulte	Croissance
Compliance pulmonaire (mL/cm H ₂ O)	5-6	200	x 40
Compliance thoracique (mL/cm H ₂ O/kg)	1	2,5-3	x 2,5-3
Compliance spécifique (compliance/CRF)	0,04-0,06	0,04-0,07	x 1
Résistance pulmonaire (cm H ₂ O/L/sec)	25-30	1,6	x 0,05

Mécanismes de l'hypoxémie et de l'hypercapnie

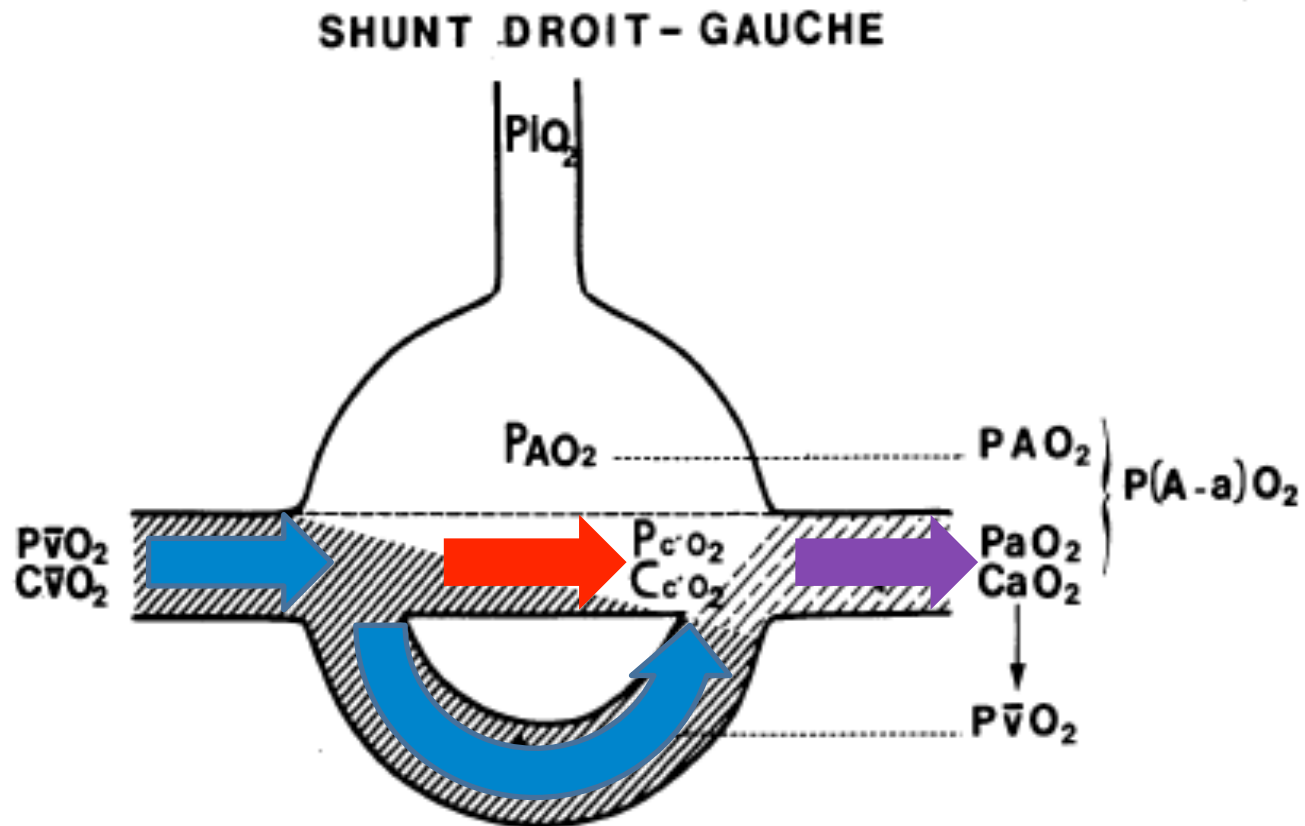
Déterminants de la PaO₂

- P atmosphérique
- Fraction inspirée en O₂
- Ventilation alvéolaire
 - Pression alvéolaire moyenne
 - Ventilation minute
- Diffusion par membrane alvéolo-capillaire
- Effet shunt

Hypoxémie (1) = Barrière alvéolo-capillaire



Hypoxémie (2) = Effet shunt pulmonaire



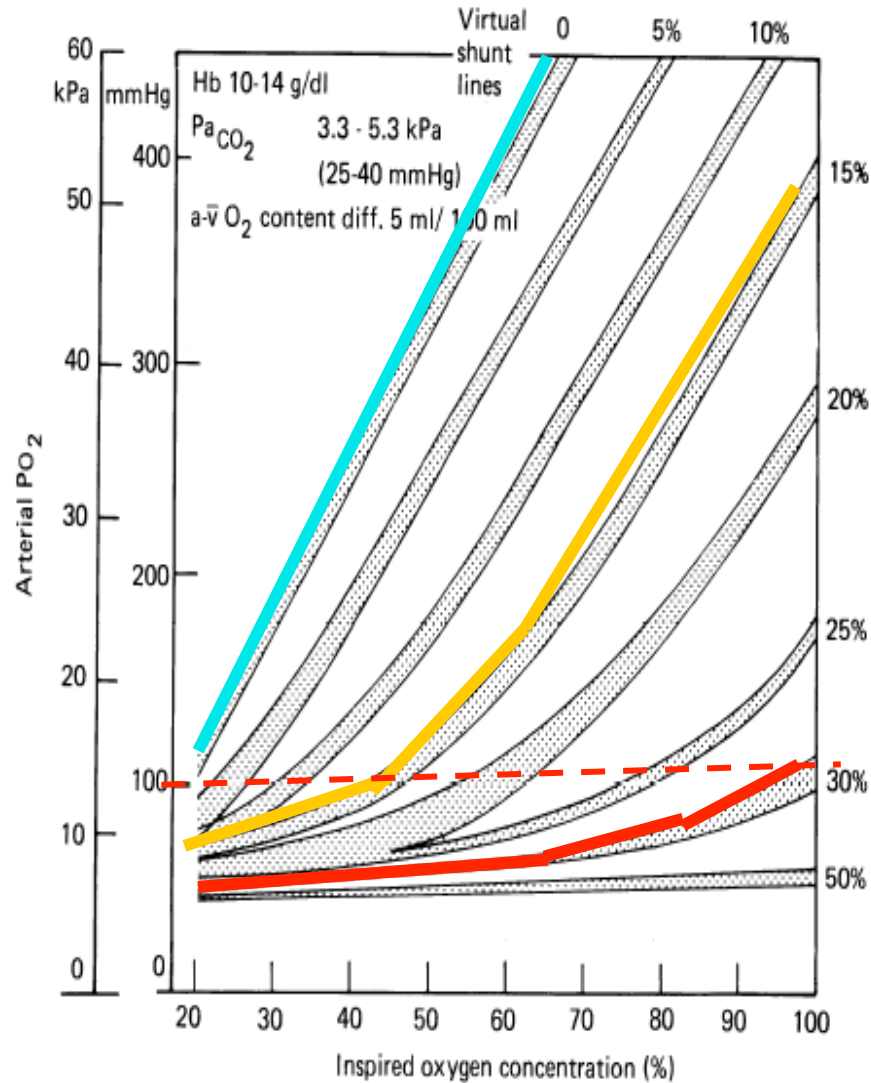
$$\dot{Q}_S / \dot{Q}_T = Cc'O_2 - CaO_2 / Cc'O_2 - \bar{C}V_{O_2}$$

$$P(A-a)O_2 = PA_{O_2} - Pa_{O_2}$$

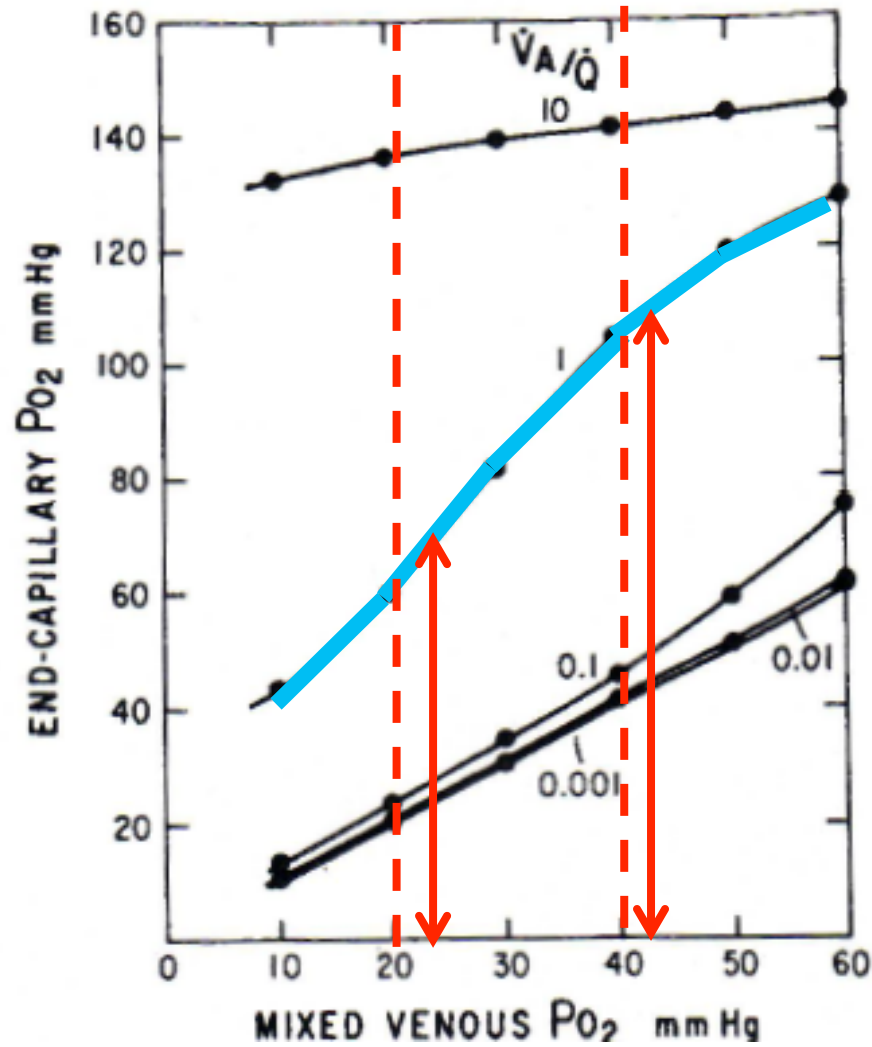
Hypoxémie (2)= Effet shunt pulmonaire

- Shunt anatomique intra-pulmonaire
- Shunt anatomique intra-cardiaque (CIV, CIA)
- Hémodynamique (tachycardie, volémie = anomalie rapport VA/Q)
- Ventilation mécanique (HTAP)

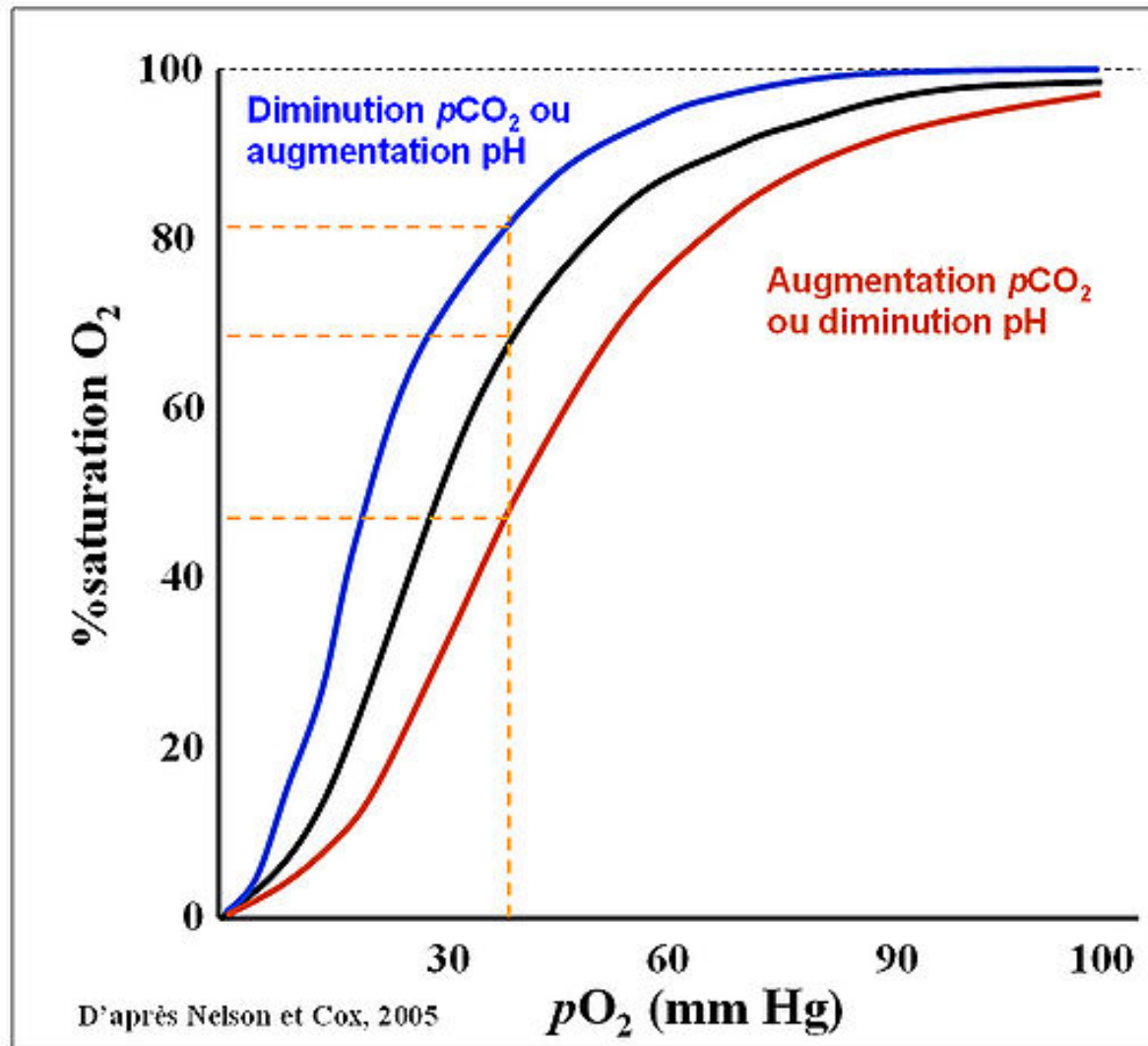
Hypoxémie (3) Effet shunt pulmonaire



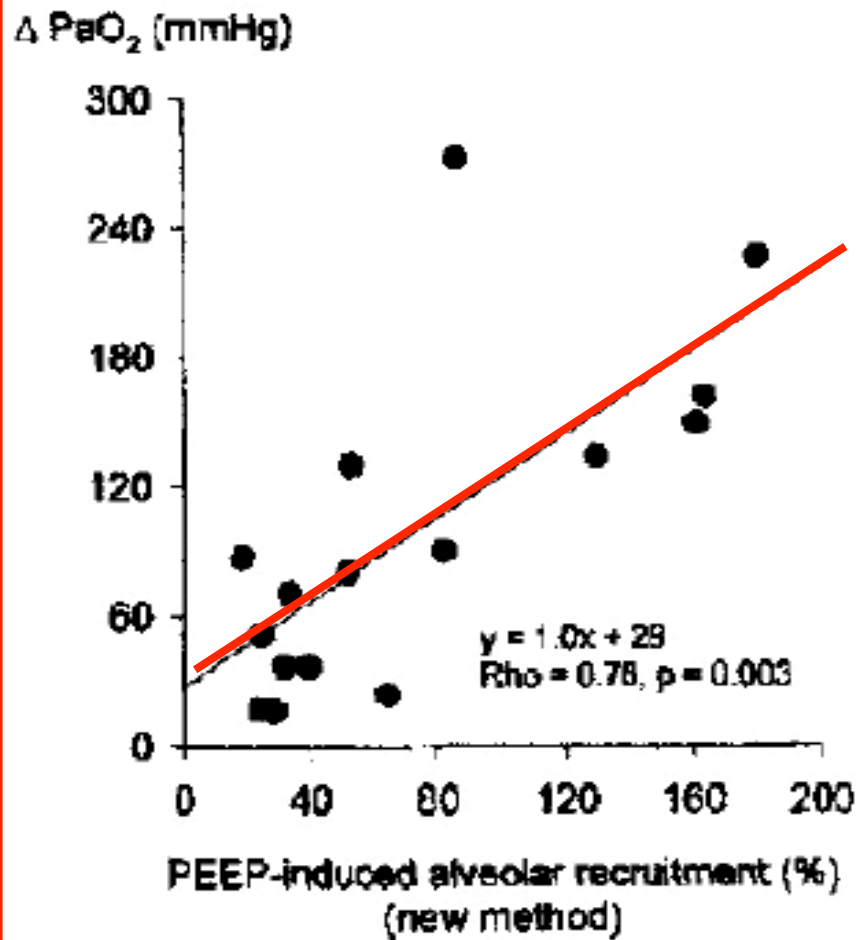
Hypoxémie (4) = Effet PvO₂



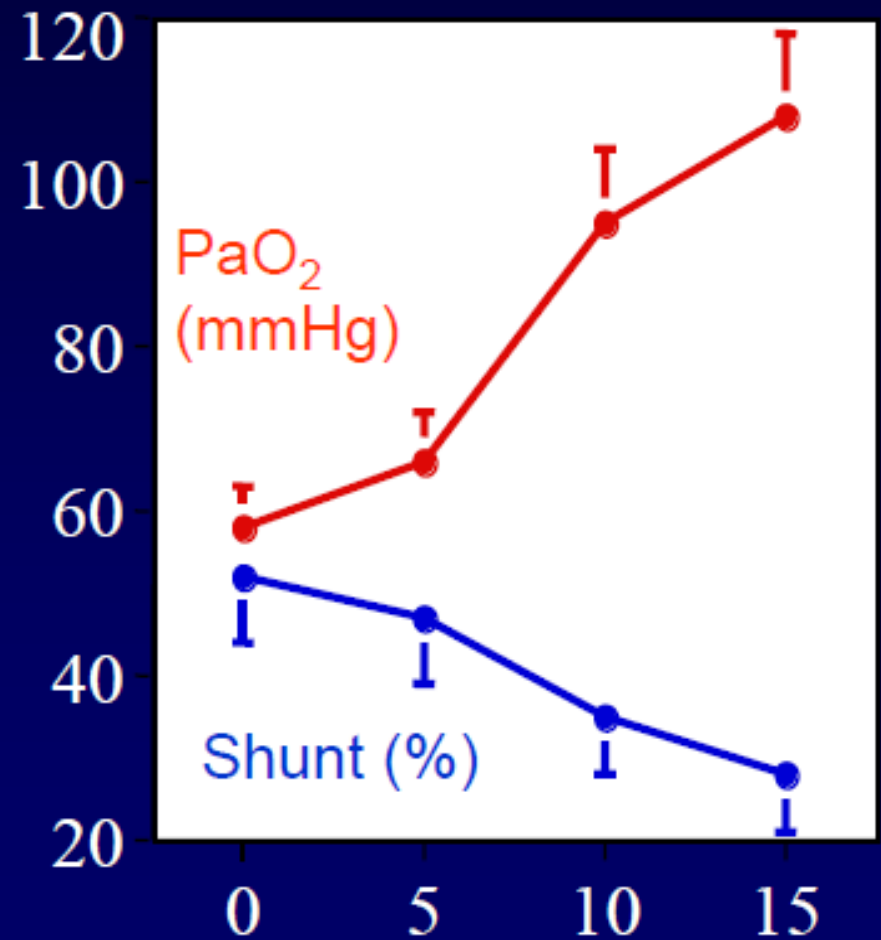
Hypoxémie (5) = Influence du pH et du CO₂



Hypoxémie (5) = Effet de la PEEP

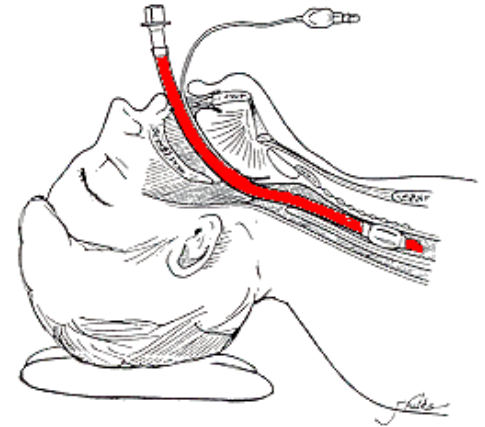
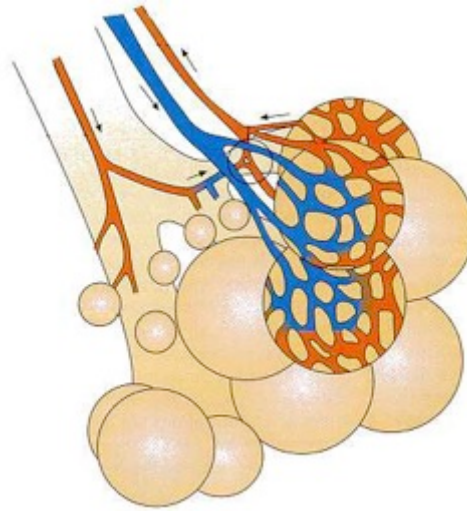
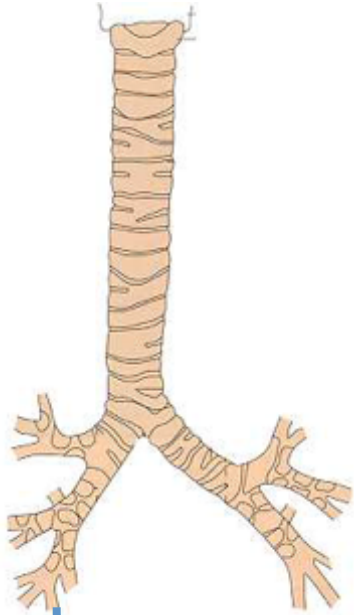


Malbouisson et al,
AJRCCM 2001; 163: 1444-50



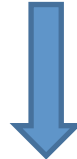
Ranieri et al. ARRD 1991 ; 144 : 544-51

Hypercapnie (1) = Espace mort alvéolaire



VAS / Alvéolaire/ Prothèse

Augmentation de l'espace mort alvéolaire

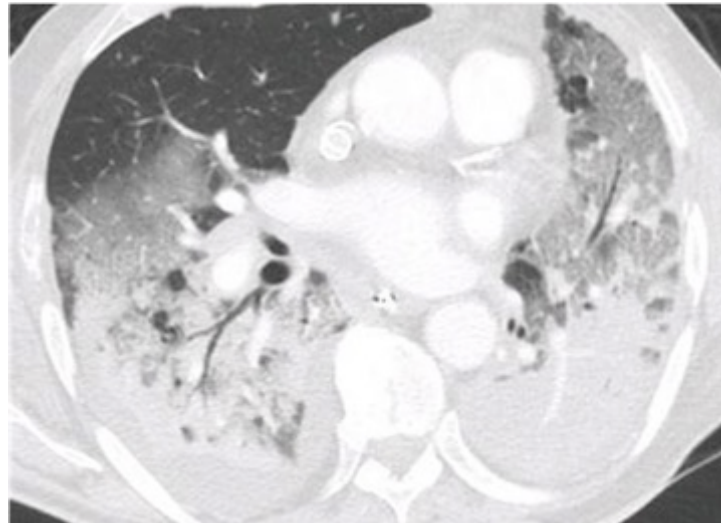


Hypercapnie, Acidose, Hypoxémie par hypoventilation alvéolaire

Hypercapnie (1) = Hypoventilation alvéolaire

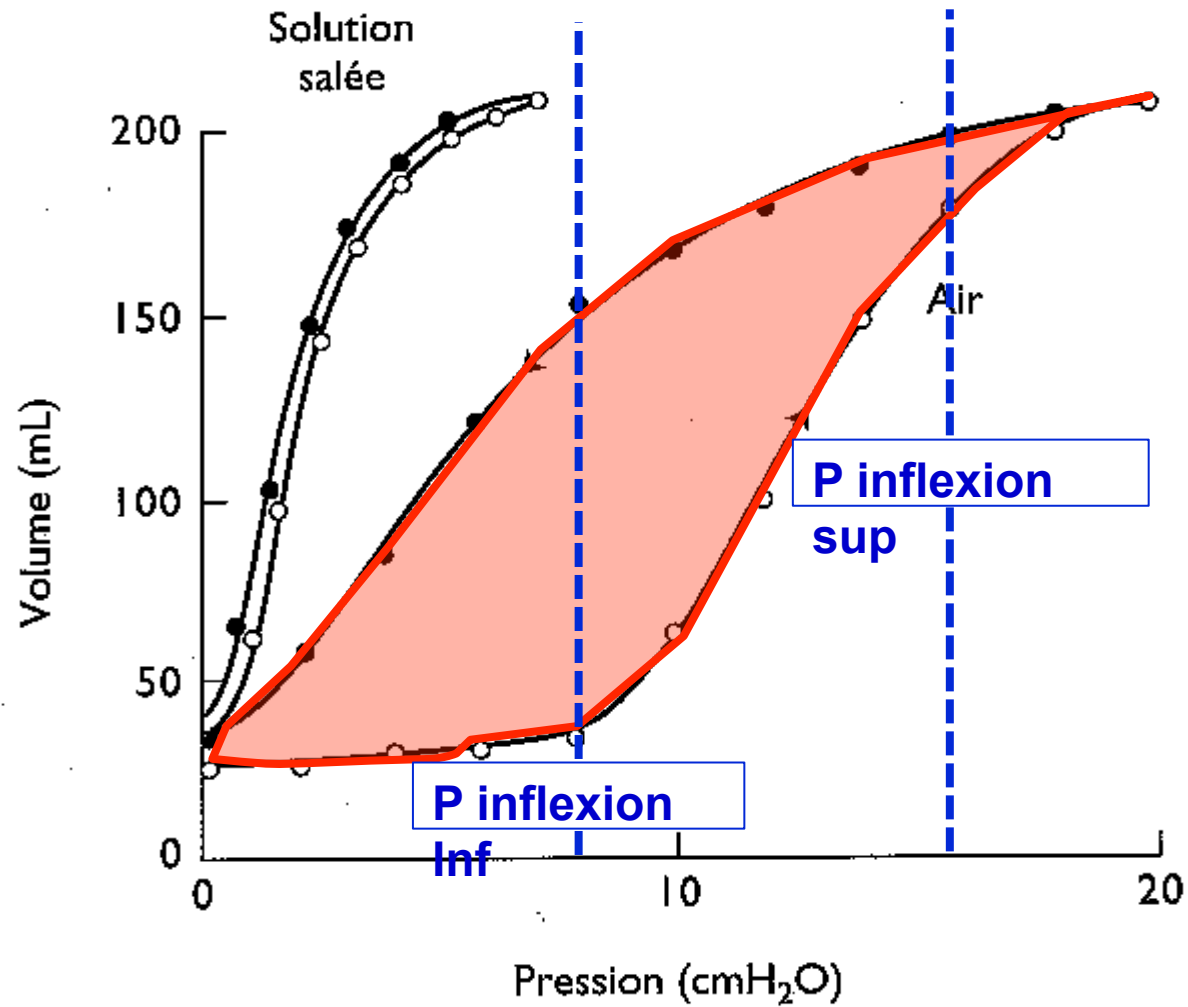
Hypoventilation alvéolaire

- Centrale
 - Musculaire
 - Thoracique
 - Pulmonaire

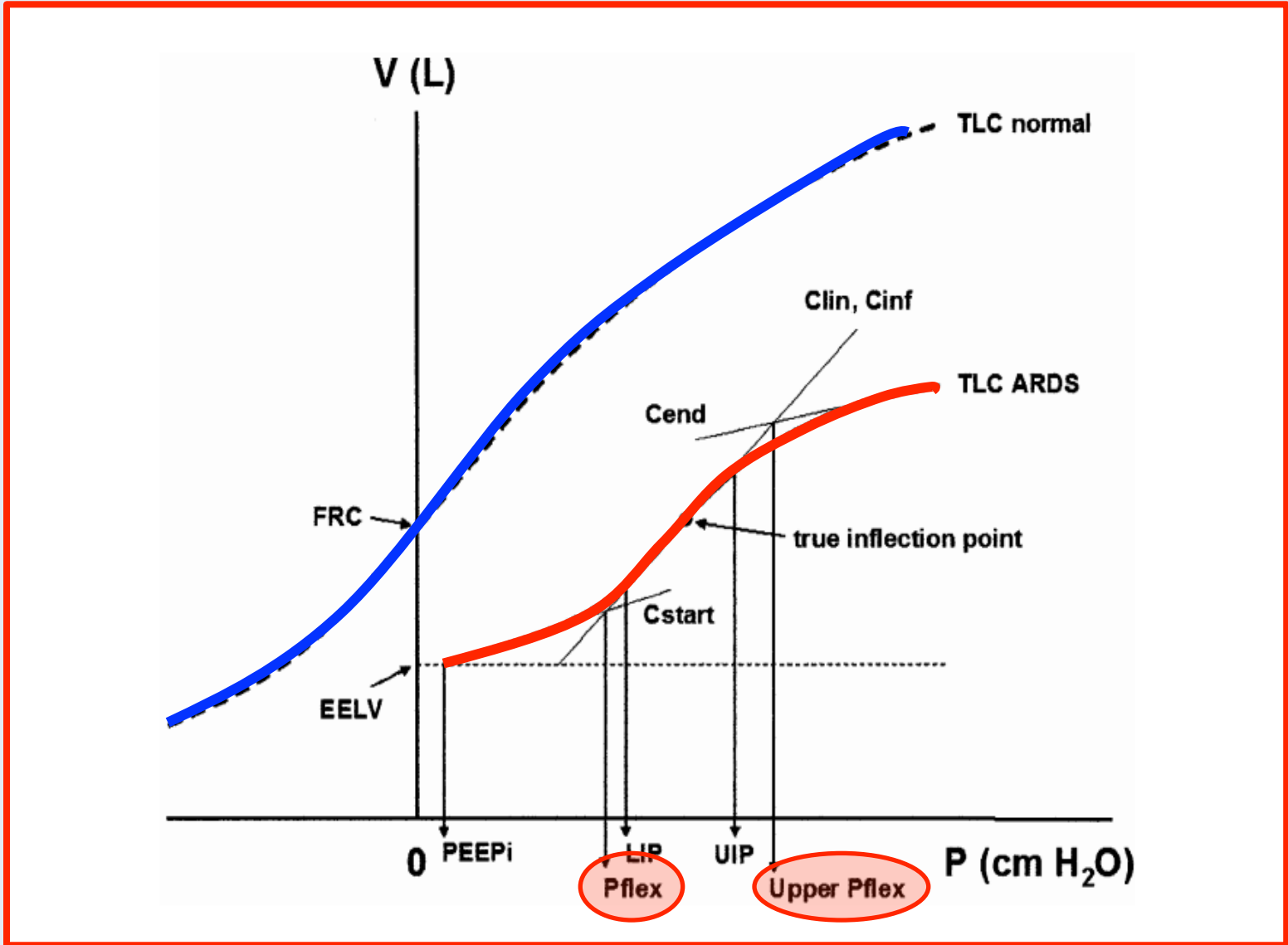


Courbes et Boucles respiratoires

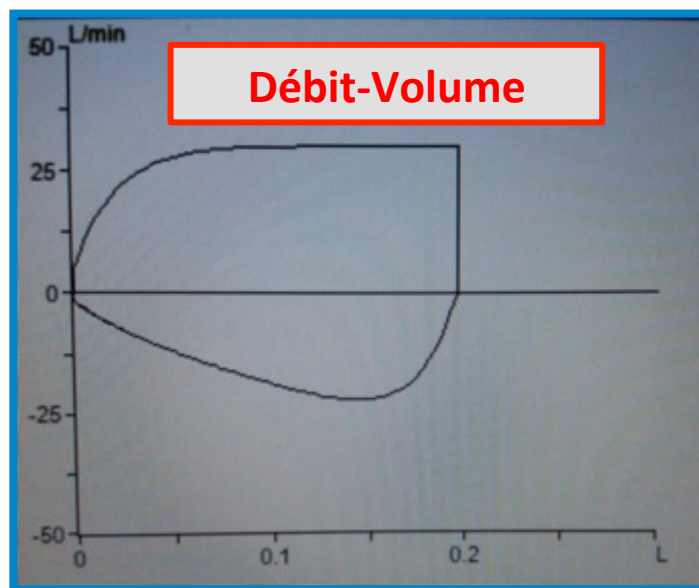
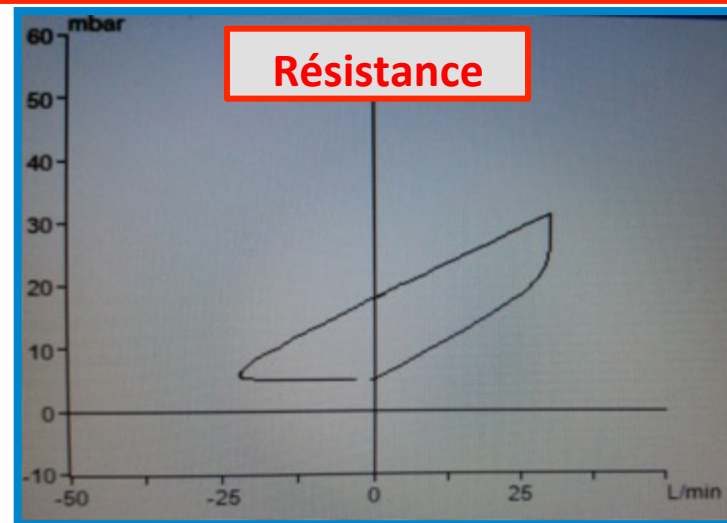
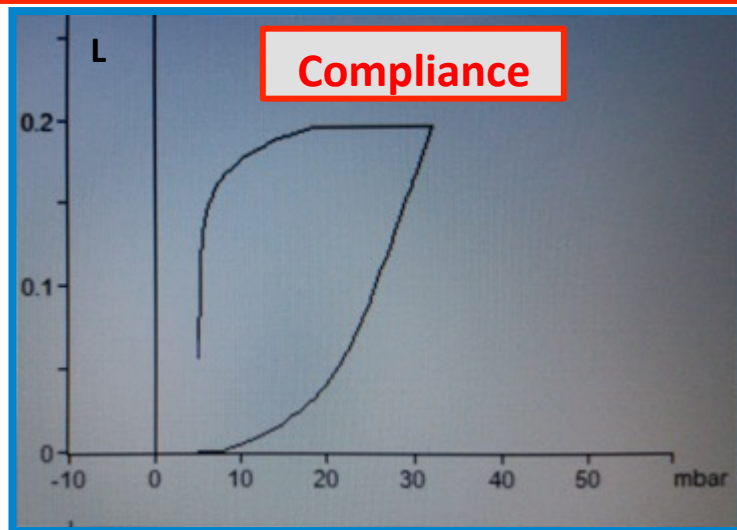
Courbes Pression-volume



Courbe Pression – Volume au cours du SDR



Courbes et Boucles ventilatoires dynamiques



Courbes Pression-Temps

Débit

Pause
télé-expiratoire

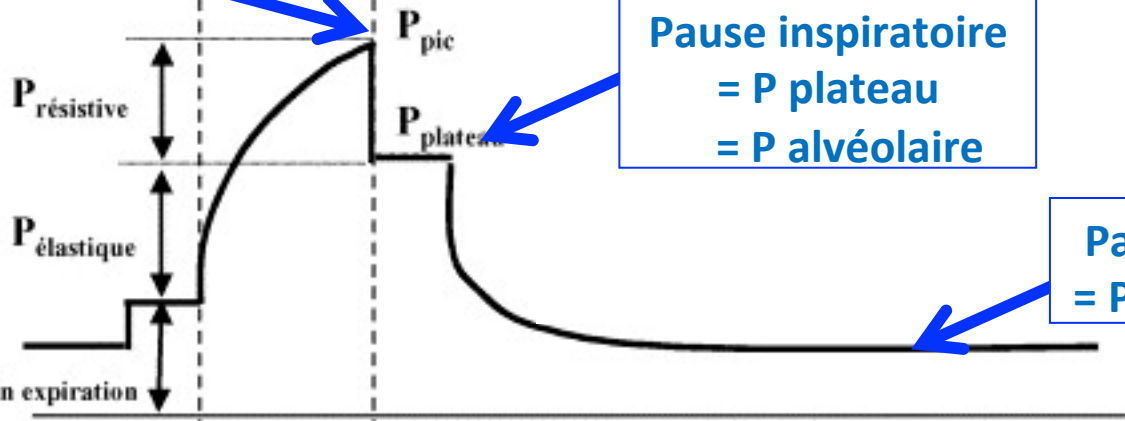
Pause
télé-inspiratoire

Débit expiratoire
= recherche d'un
piégeage
= Auto-PEEP

Pause crête
= Résistance VA
= spasticité !

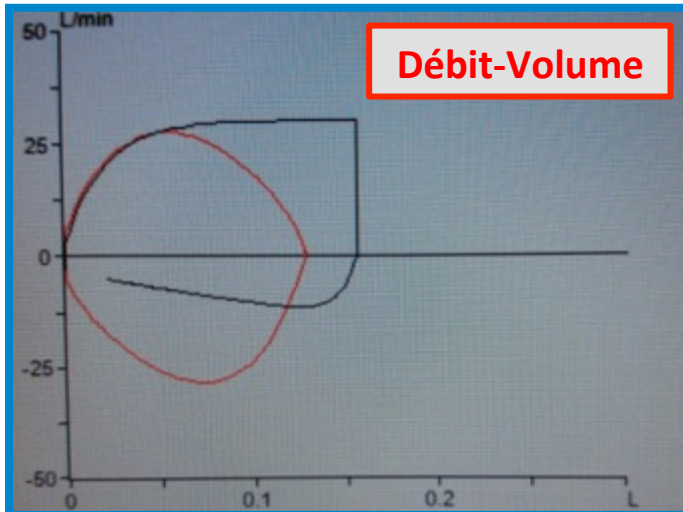
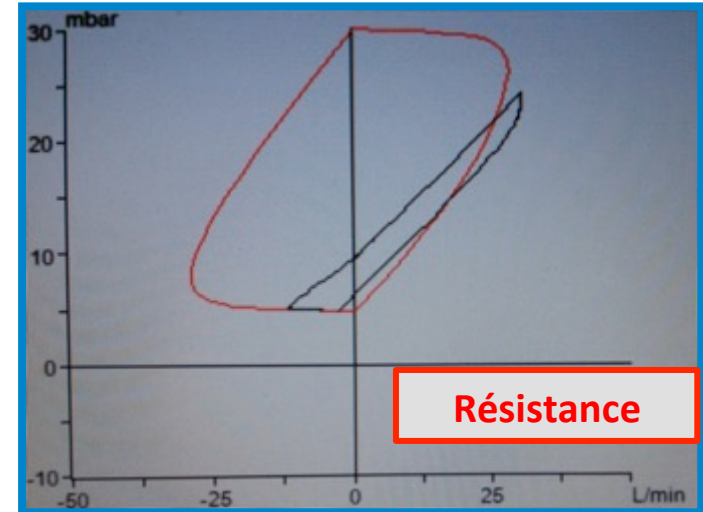
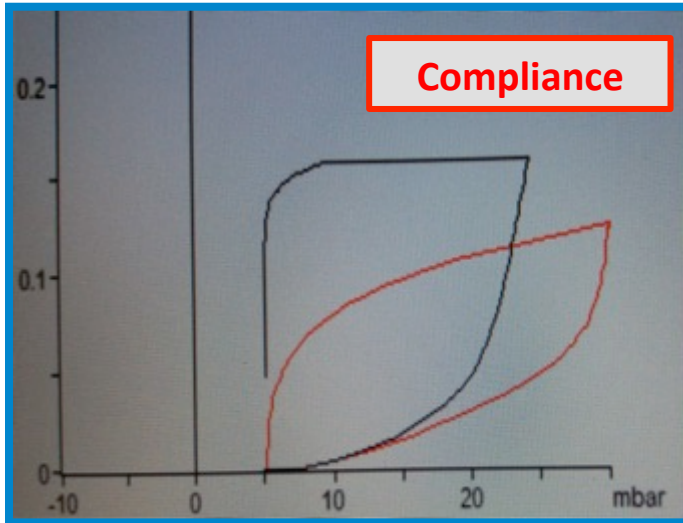
Pause inspiratoire
= P plateau
= P alvéolaire

Pause expiratoire
= PEEP intrinsèque



P_{voies aériennes}

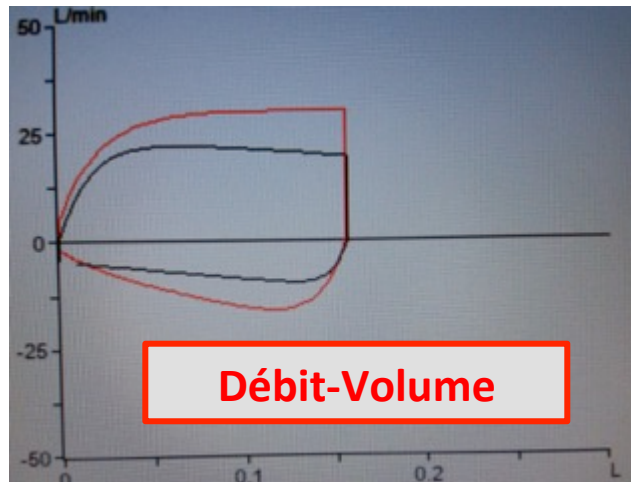
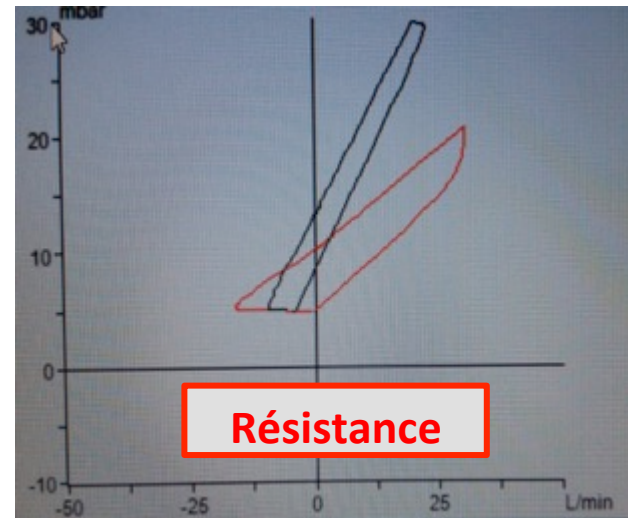
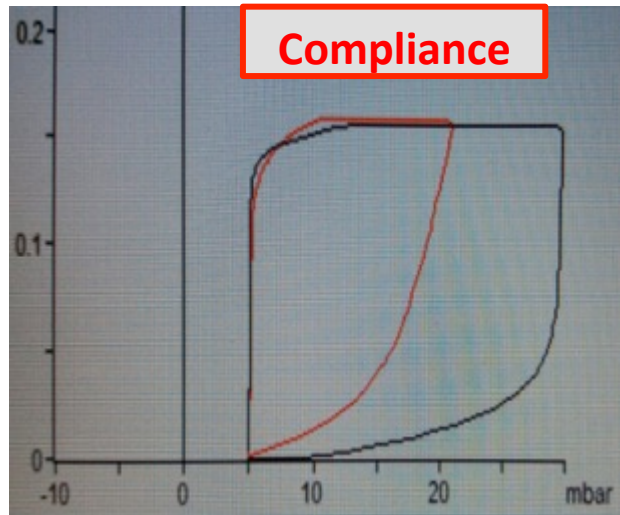
Profils selon l'analyse des boucles ventilatoires



- Compliance 30 ml/ cm H₂O
- Compliance 5 ml/ cm H₂O

Syndrome alvéolaire

Profils selon l'analyse des courbes respiratoires



- Résistance 40 mBar/L/s
- Résistance 10 mBar/L/s

Syndrome obstructif

Conclusions

- La physiologie respiratoire aide à la compréhension des mécanismes physiopathologiques de l'hypoxémie et de l'hypercapnie
- La ventilation mécanique n'est pas physiologique dans les régimes des pressions = intérêt d'une ventilation volumétrique
- Effet shunt = principal mécanisme de l'hypoxémie, par modifications des rapports ventilation–perfusion
- La PEEP est le déterminant principal du recrutement pulmonaire dans les maladies alvéolaires
- Les courbes ventilatoires aident à apprécier l'interaction patient – ventilateur

ASSISTANCE
PUBLIQUE  HÔPITAUX
DE PARIS

Réanimation Pédiatrique Trousseau
Centre d'ECMO

GRAREC

Groupe de recherche en assistance
respiratoire extracorporelle

