Hôpitaux Universitaires de Marseille | ap hm

4 Hôpitaux | Conception | Nord | Sud | Timone
1 Plateforme logistique | 12 instituts de formation

Faculté des sciences médicales et paramédicales
Aix-Marseille Université

Physiologie de la respiration intégrée au milieu hyperbare

Pr Marc GAINNIER

Médecine Intensive Réanimation

Marseille

DESIU

MEDECINE HYPERBARE & MEDECINE DE PLONGEE

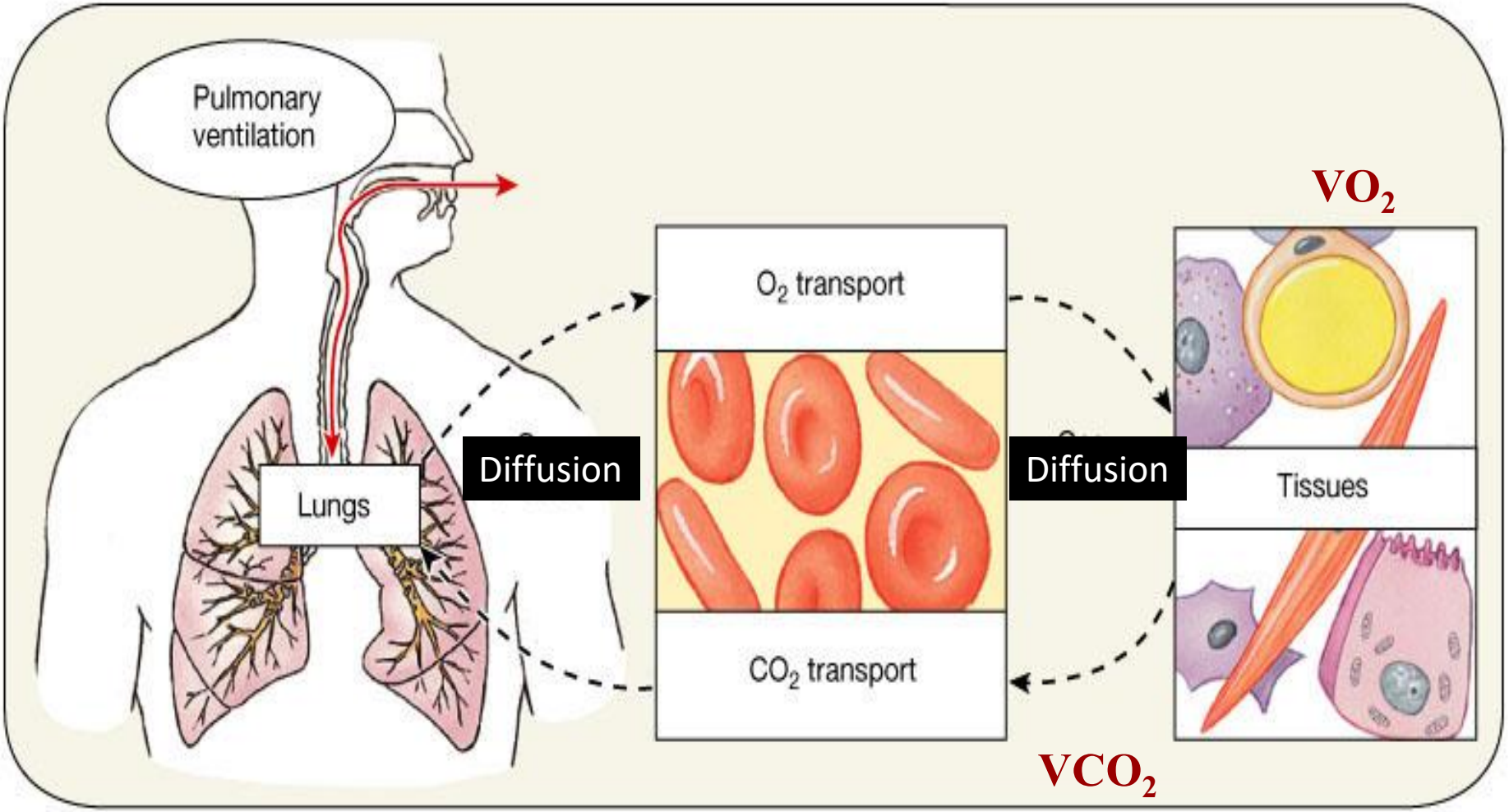
Record de Profondeur Maximale Atteinte

- 20/11/1992 – Hydra 10 – Comex
  - Mélange Hydreliox
  - Caisson : 701 m
  - Travail de 2 heures
  - 3 plongeurs (2 arrêts à 675 m)
  - 1 seul à 701 m : Théo Mavrostomos

https://plongerdubord.com/theo-mavrostomos/

- Plongée autonome : 332 m
- Apnée : 122 m No-limit : 214 m

Etapes clés de la “respiration” physiologique



Convection

Convection

Conditions physiologiques = Pression atmosphérique niveau de la mer : 1 atm (760 mmHg – 1,013 Bar) - Température ambiante : 25°C - Ambiance gazeuse Air : 79 % N2 /21 % O2 (ATPD)

Composants du système Ventilatoire

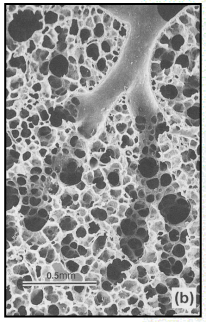
Système de Contrôle

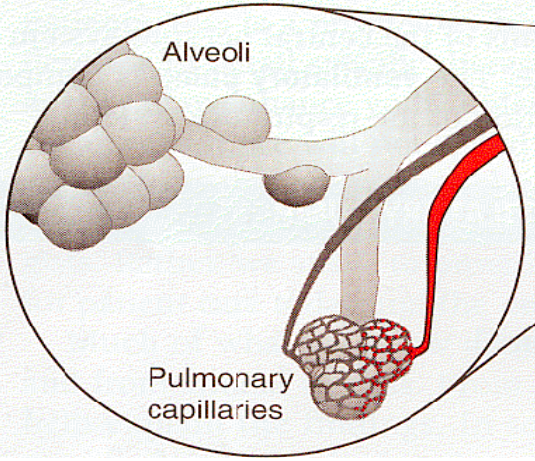
Cortex–behavioral control
Brainstem–automatic control

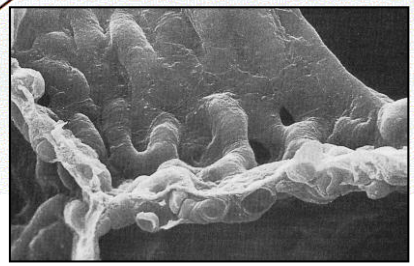
Pompe ventilatoire

Chest wall muscles
Chest wall skeleton
Chest wall connective tissue
Airways
Pleura
Spinal cord and peripheral nerves

Echangeur de Gaz







Membrane alvéolaire
Interface 70 - 100 m2
Epaisseur 0,2 - 1µm

Effets de l'augmentation de la pression ambiante sur la fonction « respiratoire »

- Mécaniques
- Echanges Gazeux
- Transport des Gaz
- Commande Ventilatoire
- Echanges Thermiques

1 EFFETS DE L’AUGMENTATION DE LA PRESSION AMBIANTE SUR LA MECANIQUE VENTILATOIRE

1.1 MECANIQUE VENTILATOIRE RAPPELS

ETUDE DE LA CHARGE VENTILATOIRE

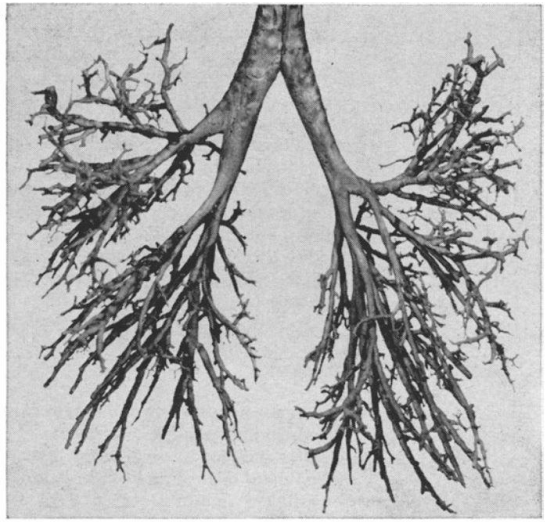
Forces s'opposant au mouvement de l'appareil ventilatoire (convection gazeuse)

Résistance (R)

Conductance (G = 1/R)

Voies aériennes

16ème segmentation



Inertance (I)

Réactance (Ra= 1/I)

Masse du système

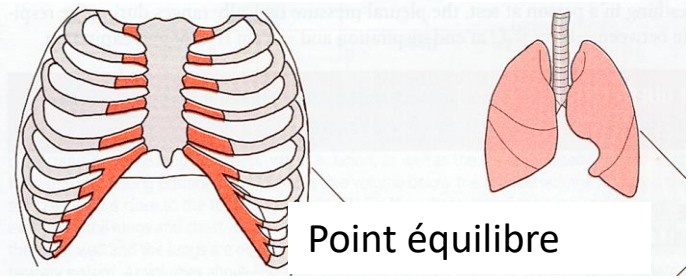
Elastance (E)

Compliance (C = 1/E)

Poumon + cage thoracique

Paroi thoracique

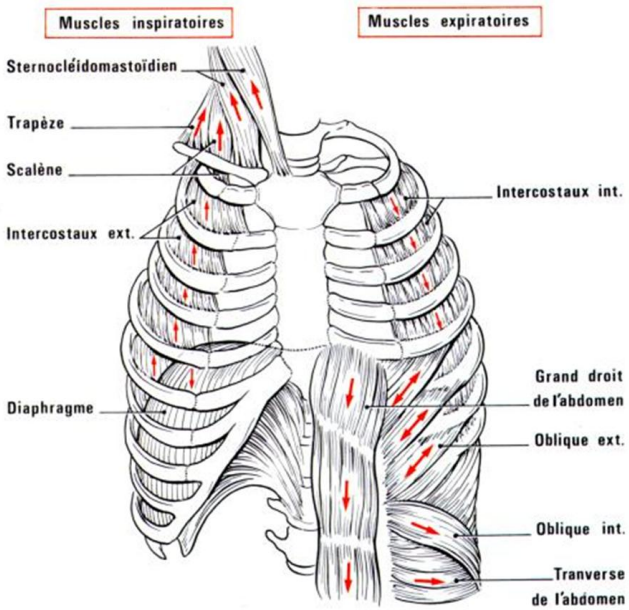
Poumon



Equation de mouvement du système ventilatoire

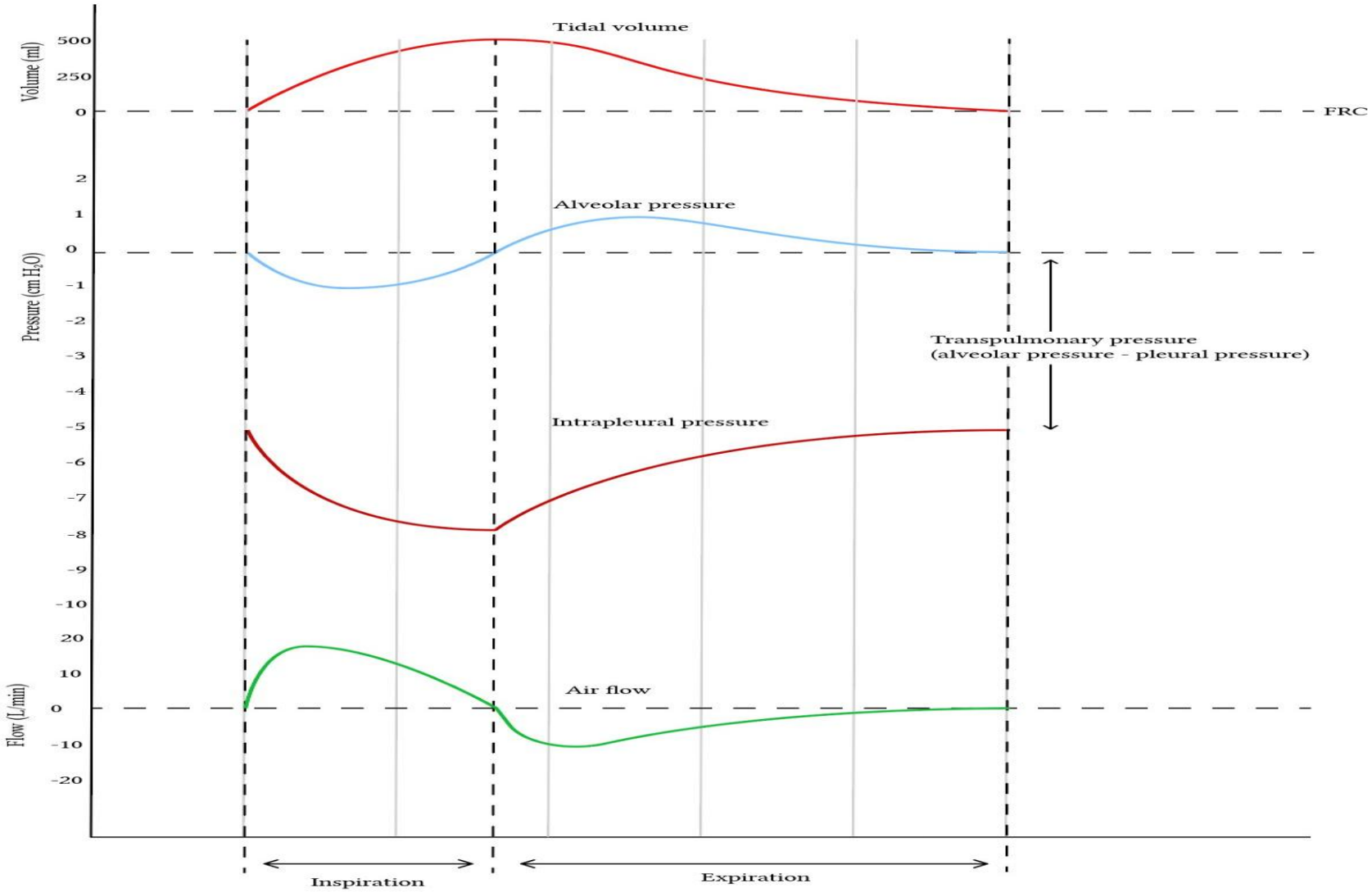
Charge Ventilatoire

$$Pmus = Pel + Pres + Pin + P0$$



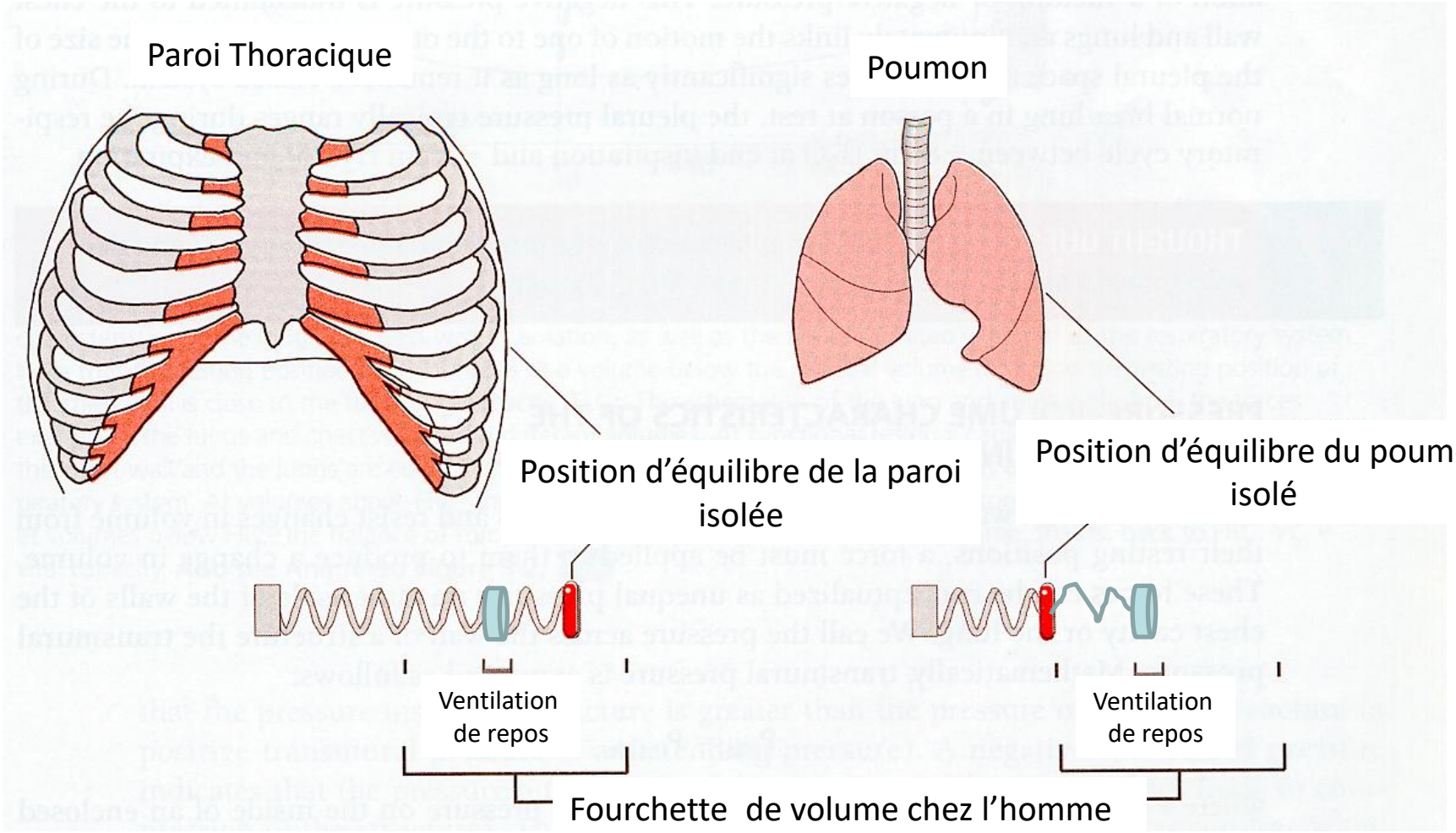
$$Pmus = EV + RV' + IV'' + P0$$

Ventilation spontanée normale



1.2 EFFETS DE EFFETS DE L’AUGMENTATION DE LA PRESSION AMBIANTE SUR LA COMPLIANCE ET VOLUMES PULMONAIRES

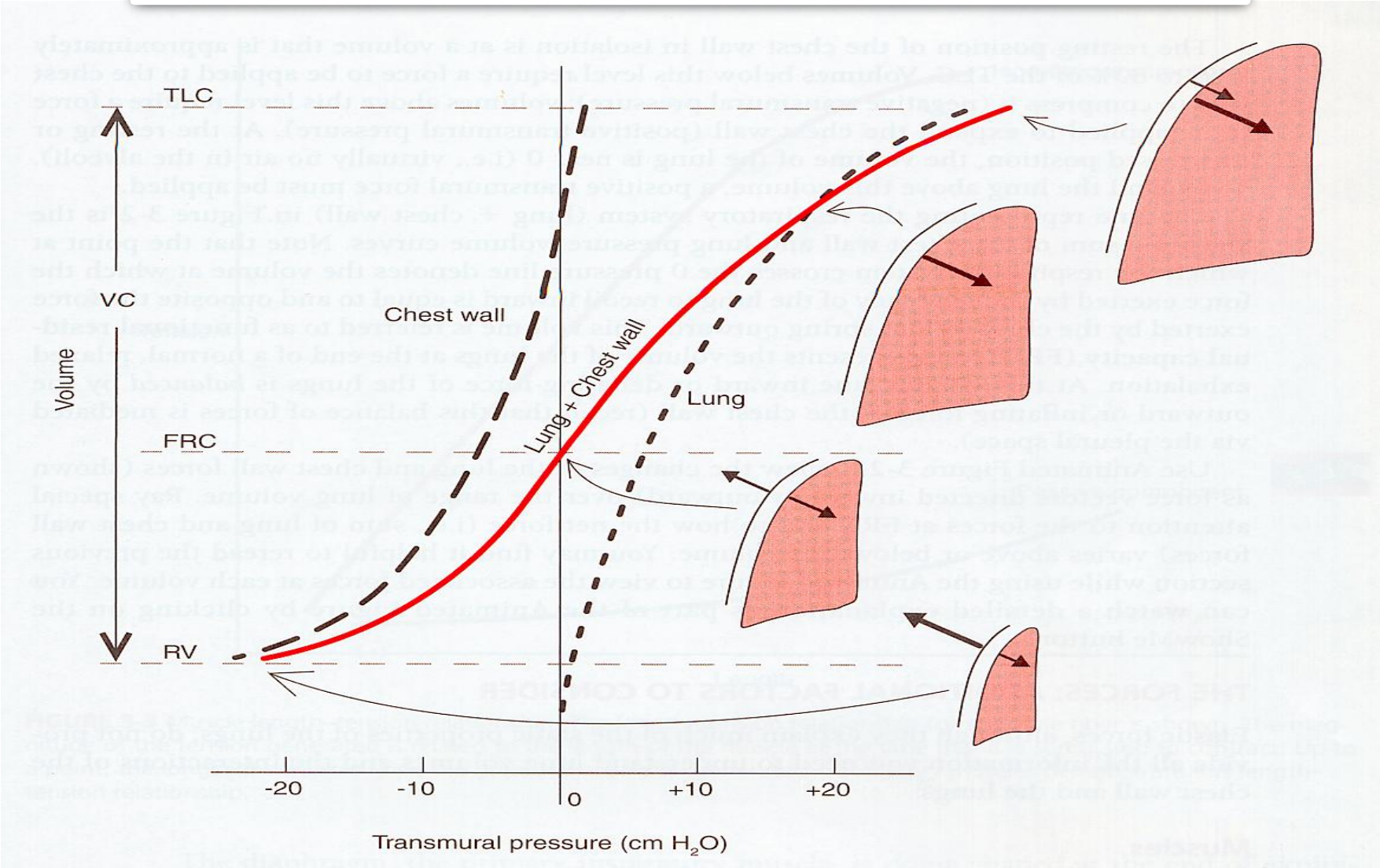
Forces élastiques s'opposant au mouvement



Volume physiologique de fin expiration = CRF

Volume Paroi ou Poumon en fin expiration

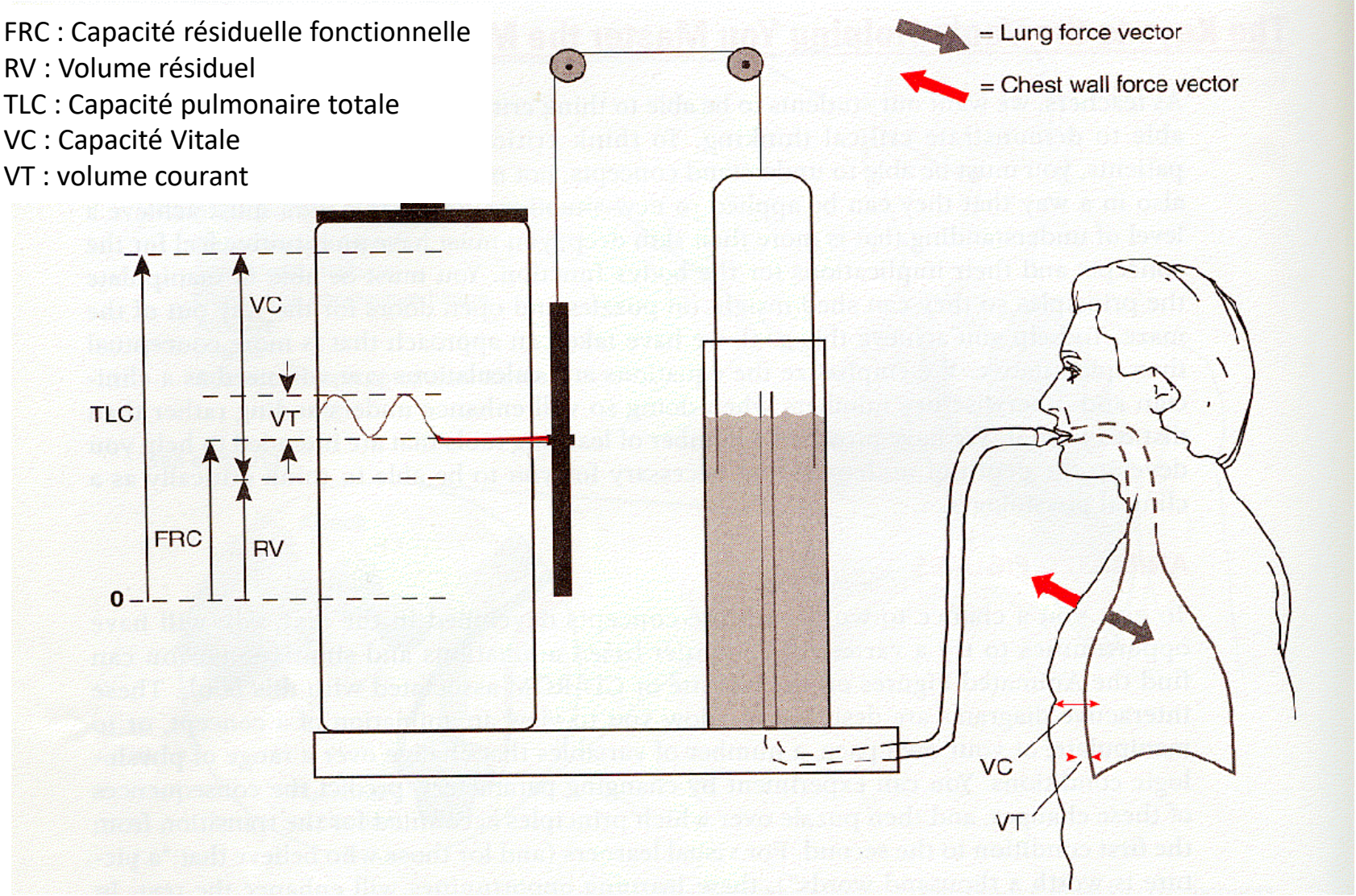
Relation pression – volume statique



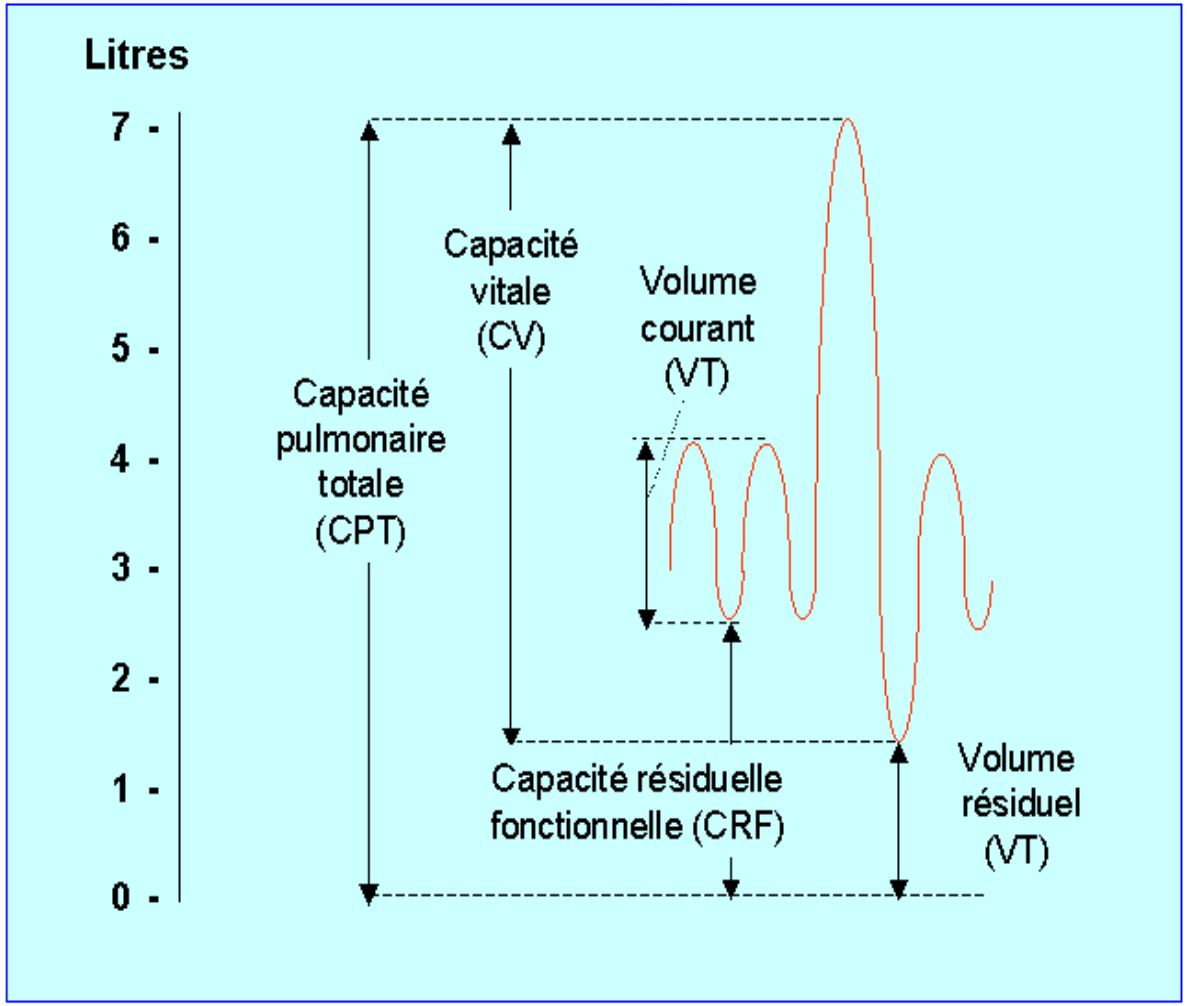
1.2.1 VOLUMES PULMONAIRES

Volumes pulmonaires (Spirométrie)

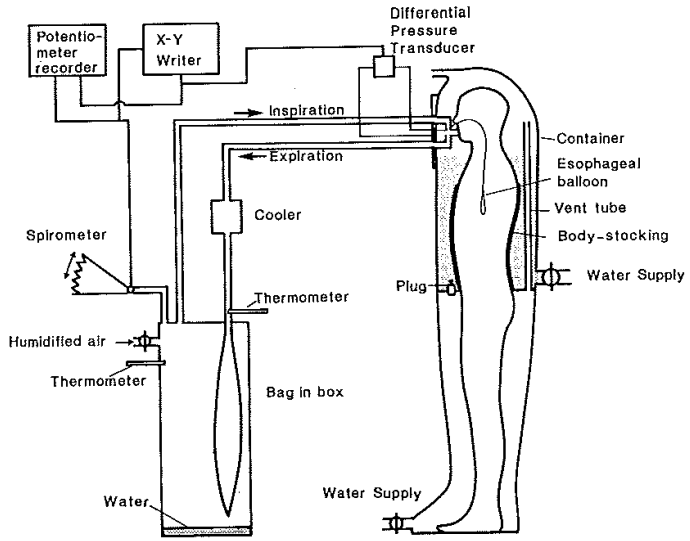
FRC : Capacité résiduelle fonctionnelle
RV : Volume résiduel
TLC : Capacité pulmonaire totale
VC : Capacité Vitale
VT : volume courant

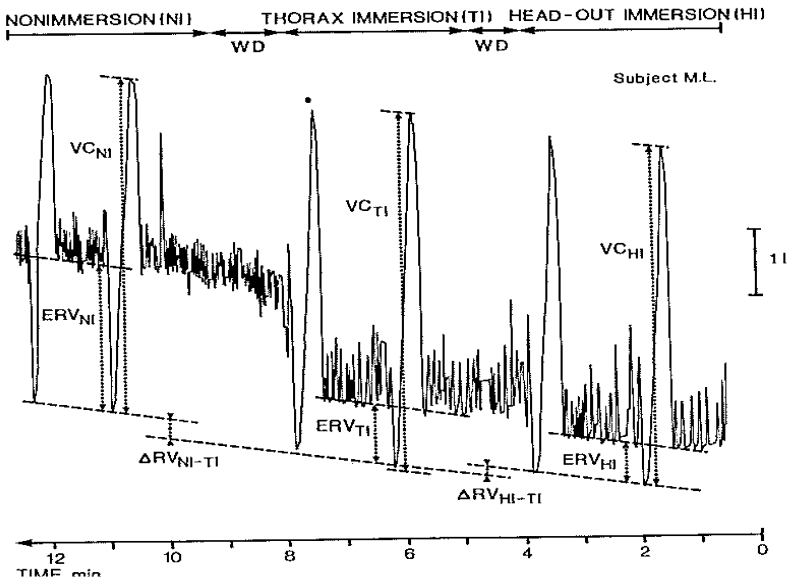


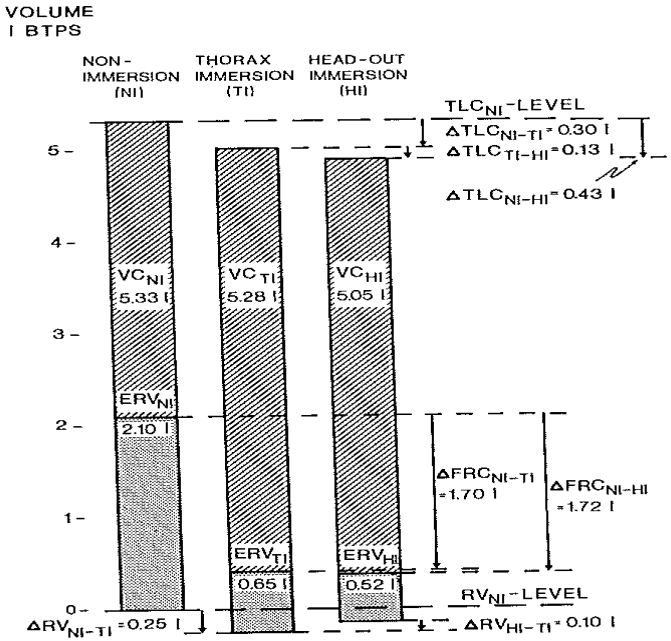
Volumes pulmonaires



Effets de l'immersion sur les volumes pulmonaires







Dahlback et al. Undersea Biomed Research 1978(5):71-85

Apnée et volume pulmonaire

Loi de Boyle Mariotte (gaz parfait) : PV /T= cte

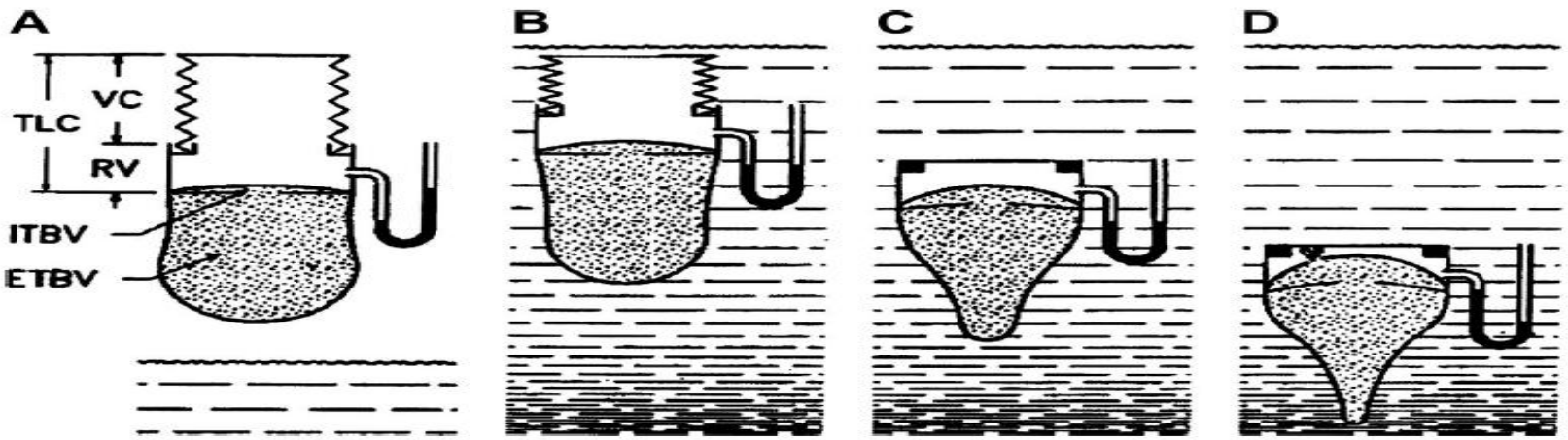
Baisse du volume pulmonaire en apnée

CPT : 6 litres à 1 ATA

CPT : 600 ml à 10 ATA (90 m)

Risque de rupture capillaire

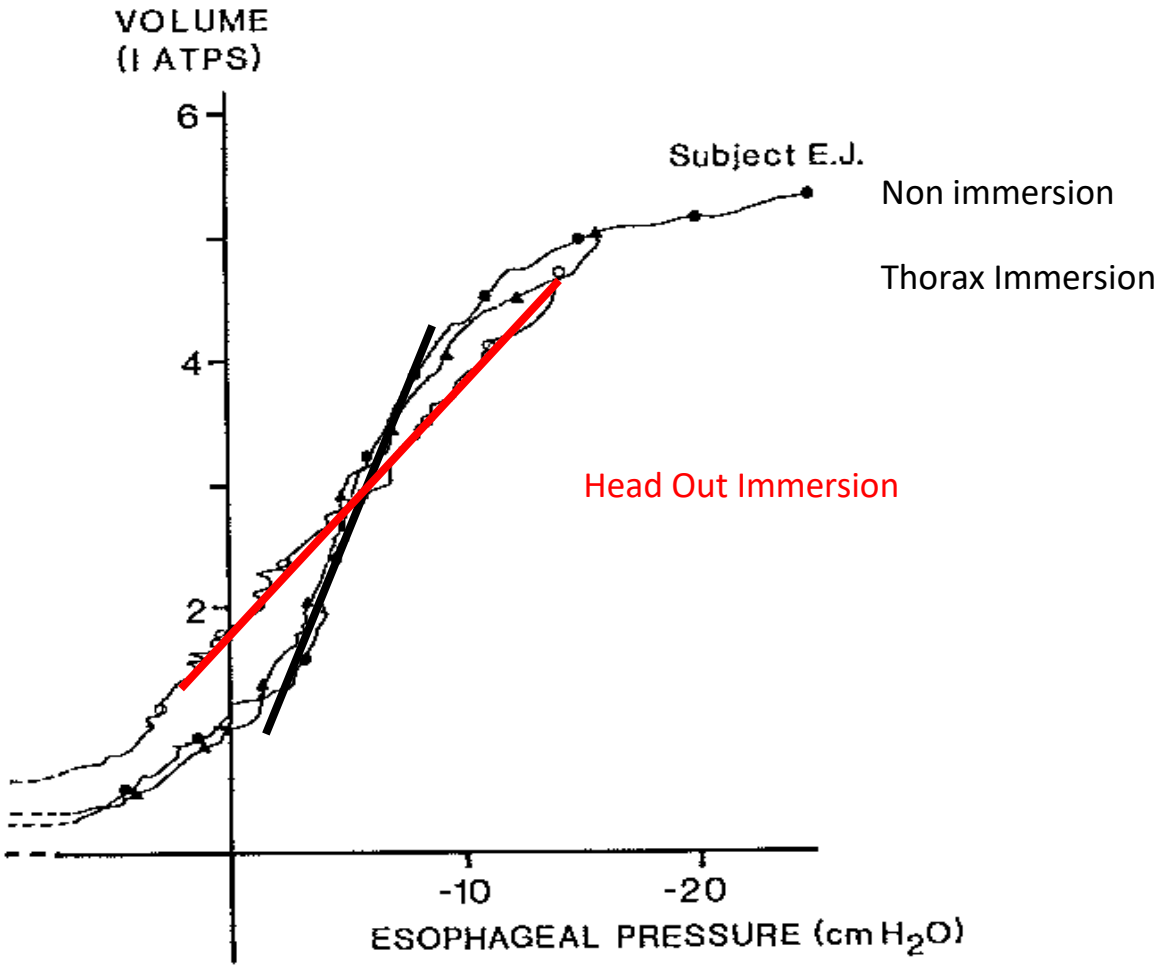
Perte de flottabilité



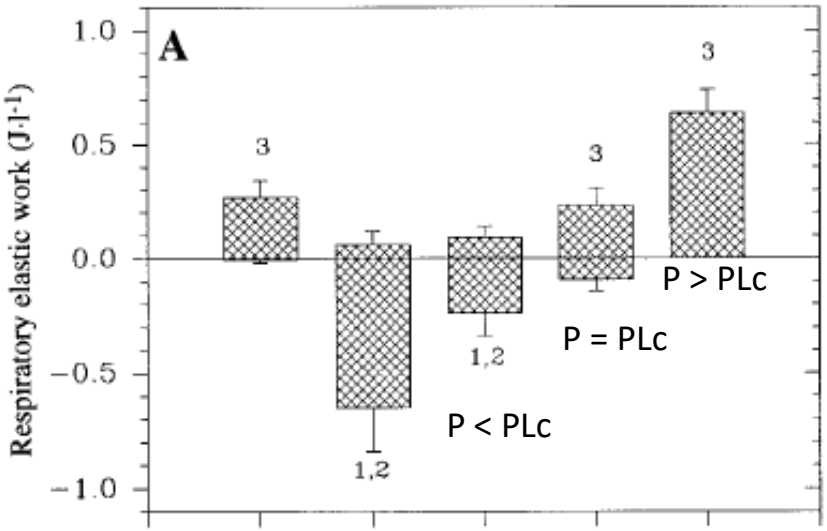
1.2.2 COMPLIANCE – TRAVAIL STATIQUE

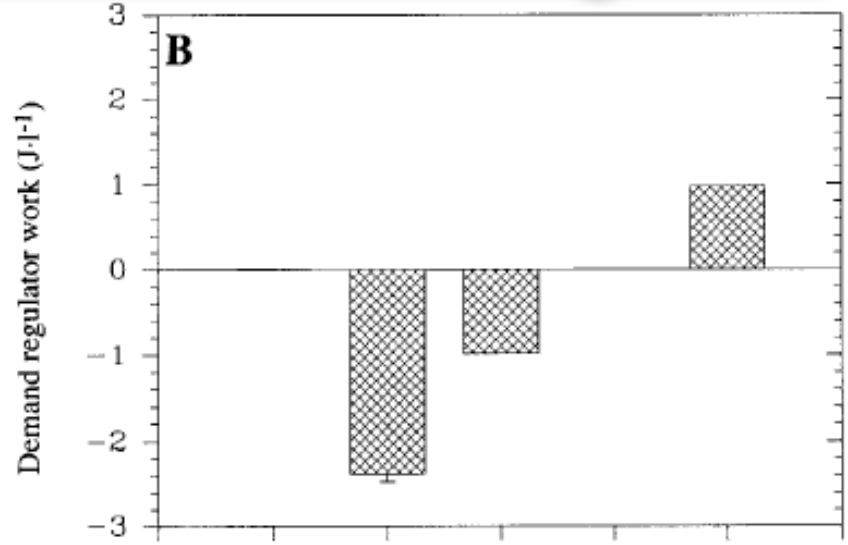
Effet de l'immersion sur la compliance pulmonaire

Dahlback et al. Undersea Biomed Research 1978(5):71-85



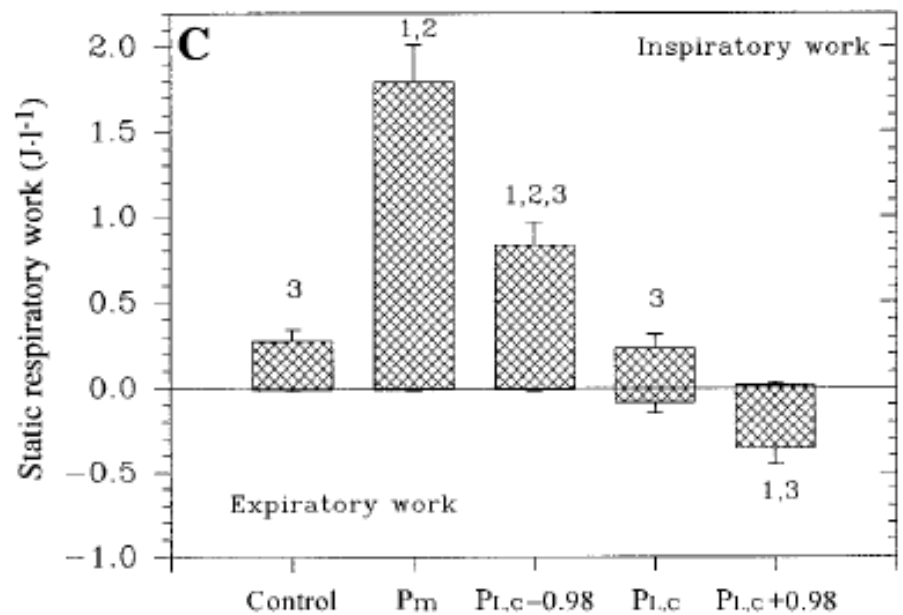
Travail Musculaire Respiratoire Statique pendant l'immersion selon la charge





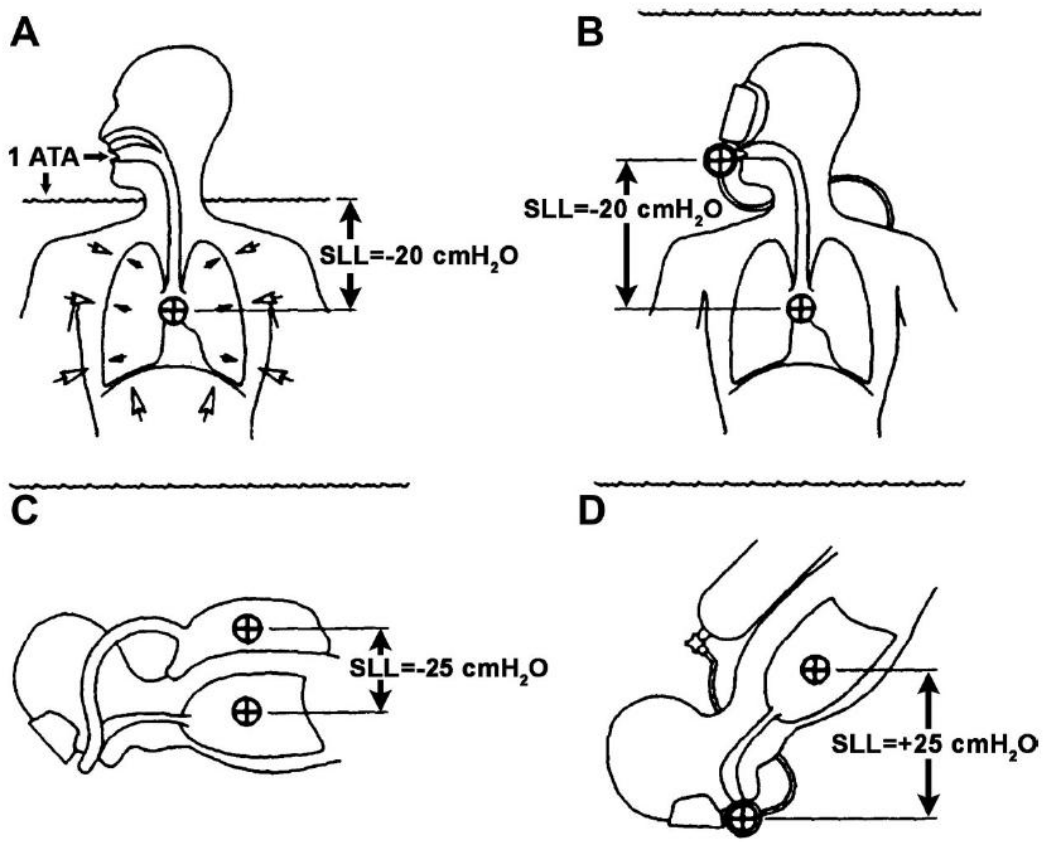
Controle PBouche

Volume	Control	Pm, kPa	PL, c − 0.98, kPa	PL, c, kPa	PL, c + 0.98, kPa
ERV, liters BTPS	2.13 ± 0.1	0.94 ± 0.2*	1.42 ± 0.2	2.14 ± 0.2	3.18 ± 0.3*
Vrel, liters BTPS	2.19 ± 0.1	0.26 ± 0.1*	0.92 ± 0.1	2.20 ± 0.2	4.39 ± 0.2*



Taylor N et al. J. Appl. Physiol 1999. 87(4): 1397– 1403

Pression Trans-respiratoire en immersion (Static Lung Load)



PLc ⊕ Centroids

Moon RE. JAP 106: 668–677, 2009

Lundgren CG. Lung Bio Heath Dis 1999 91-128

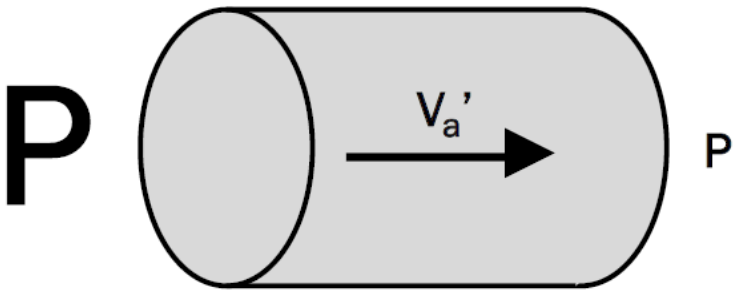
Mécanique ventilatoire statique
Le système respiratoire immobile
Effet de l'augmentation de la pression ambiante

- Baisse des volumes pulmonaires (en apnée)

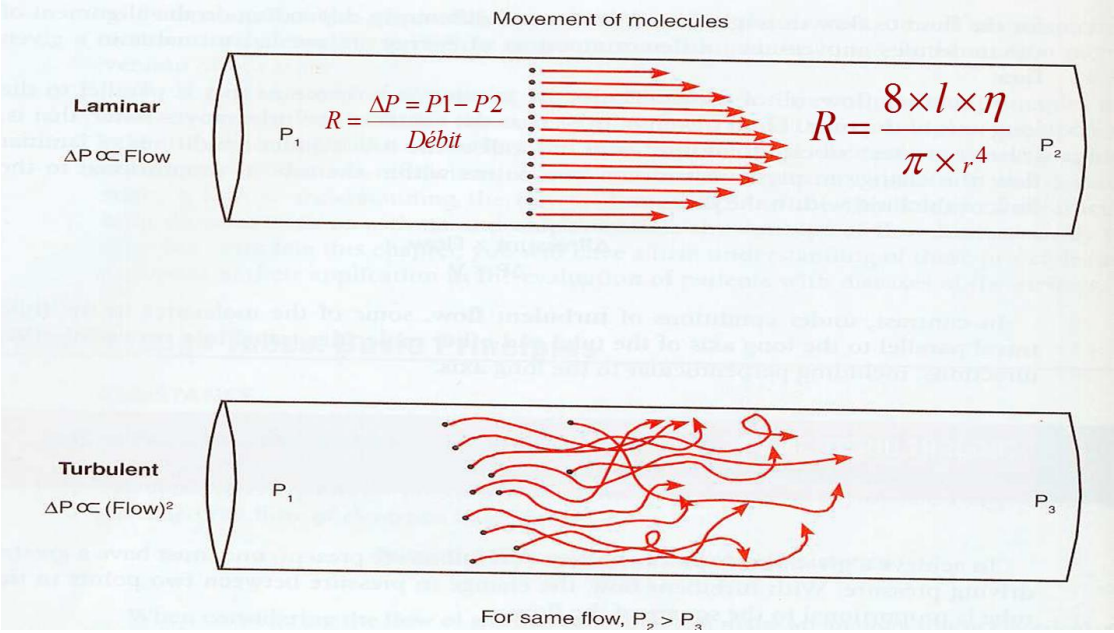
- Peu d'effet sur la compliance statique (bouteille)

1.3 RESISTANCE – TRAVAIL DYNAMIQUE

Résistances



$$R = \frac{\Delta P}{V'} \quad (cmH_2O/L/s)$$



Résistance selon le régime d'écoulement

Laminaire → $$R = \frac{8 \times l \times \eta}{\pi \times r^4}$$

Laminaire condition entrée → $$R = \eta^{0.5} . \rho^{0.25} . \dot{V}^{0.5}$$

Laminaire avec ramification → $$R = \eta^{0.5} . \rho^{0.5} . \dot{V}^{0.5}$$

Turbulent lisse (X4) → $$R = \eta^{0.25} . \rho^{0.75} . \dot{V}^{0.75} . l / r^{9.5}$$

Turbulent rugueux
Rugueux → $$R = rugosité \ . \dot{V} .$$

Comolet - Douglas

Régimes d ’écoulement
Nombre de Reynolds

$$\mathrm{Re} = \frac{u.\rho.D}{\eta} = \frac{\overset{\circ}{V}\,\rho}{\eta} = \frac{Fi}{Fv}$$

U : vélocité du gaz (cm2/sec)

V : débit (cm3/s).

D : diamètre du tube (cm).

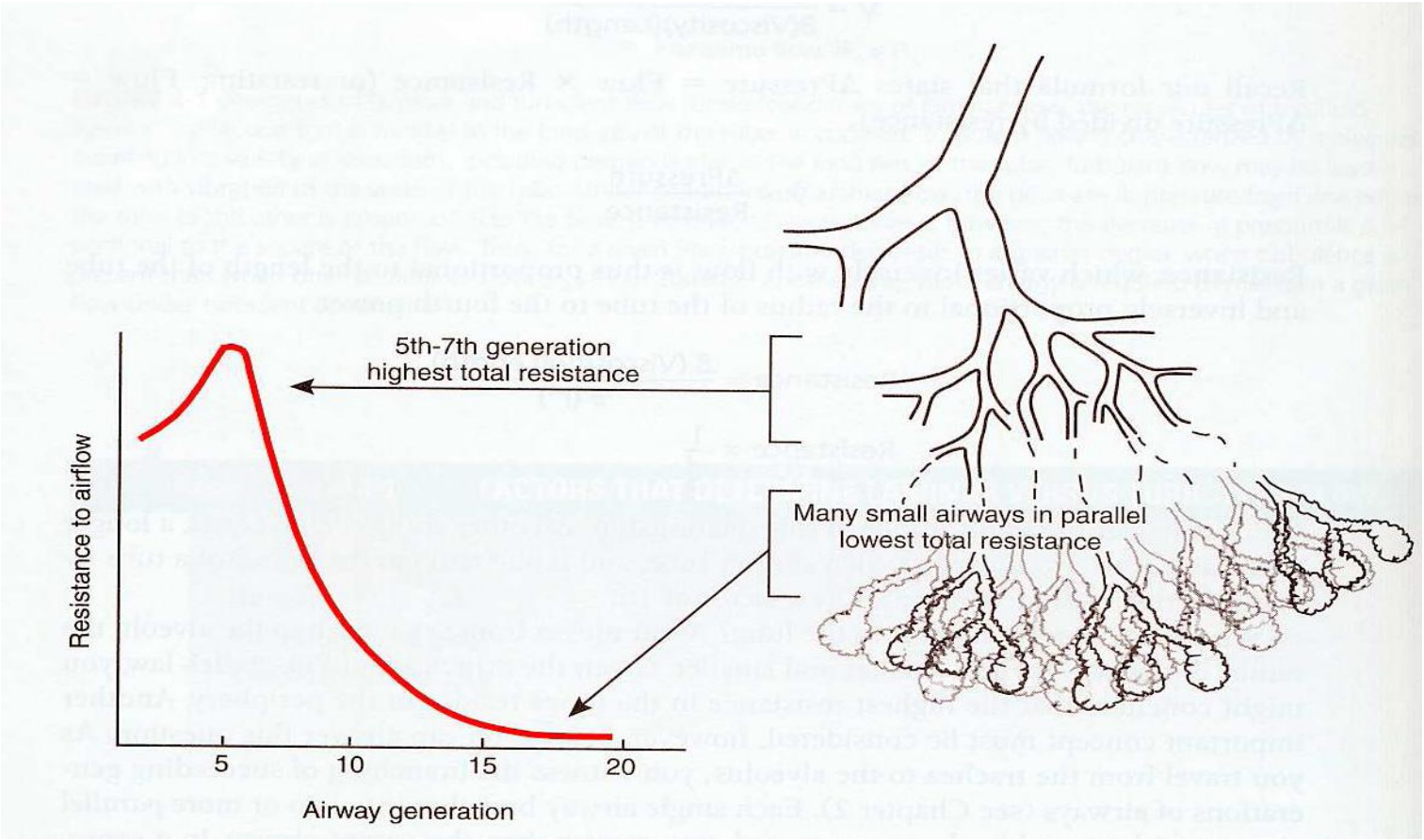
ρ : densité (g/cm^3)

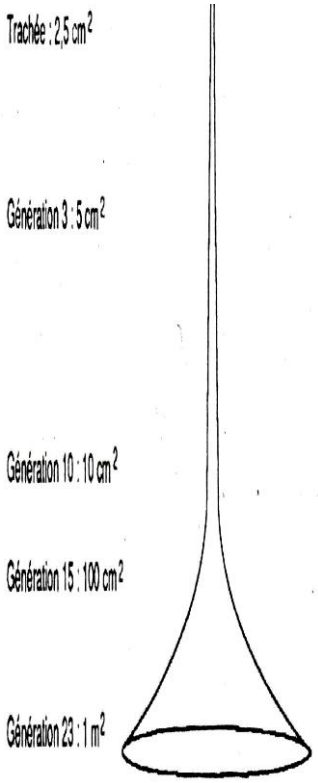
η : viscosité dynamique (micropoise)

< 1000 – Transitionel - > 4000

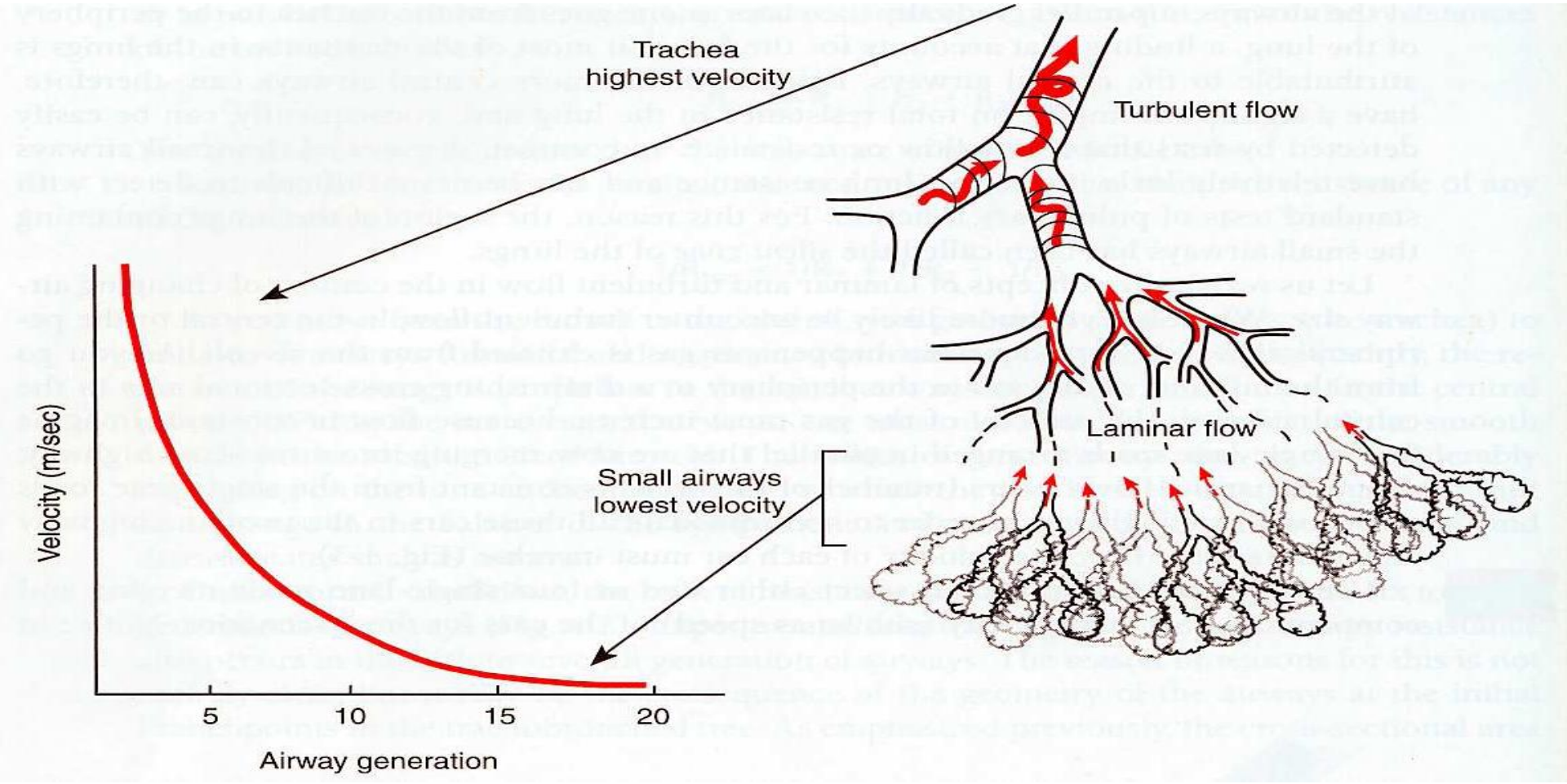
Laminaire – Transitionel - Turbulent

Répartition des résistances dans le poumon

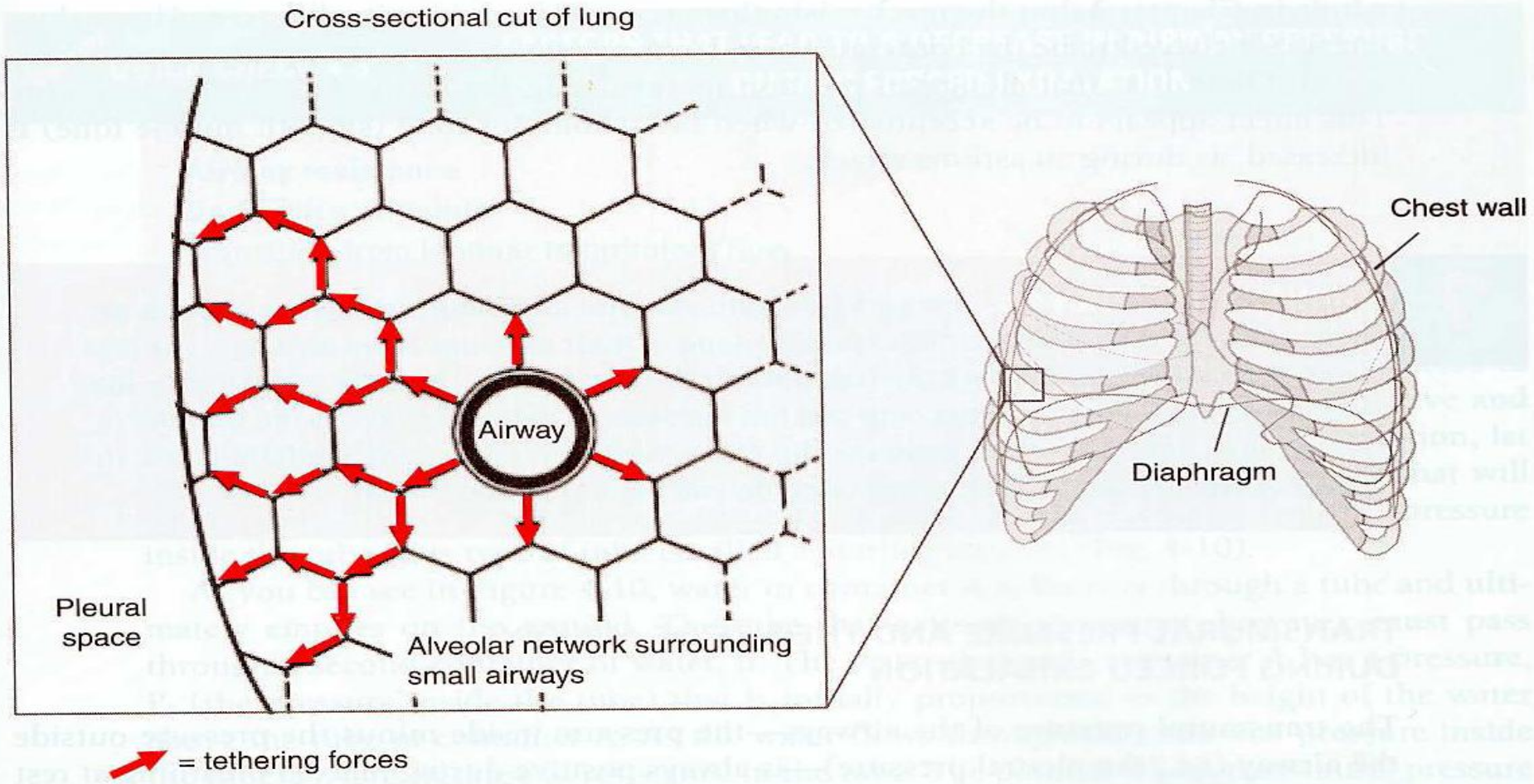




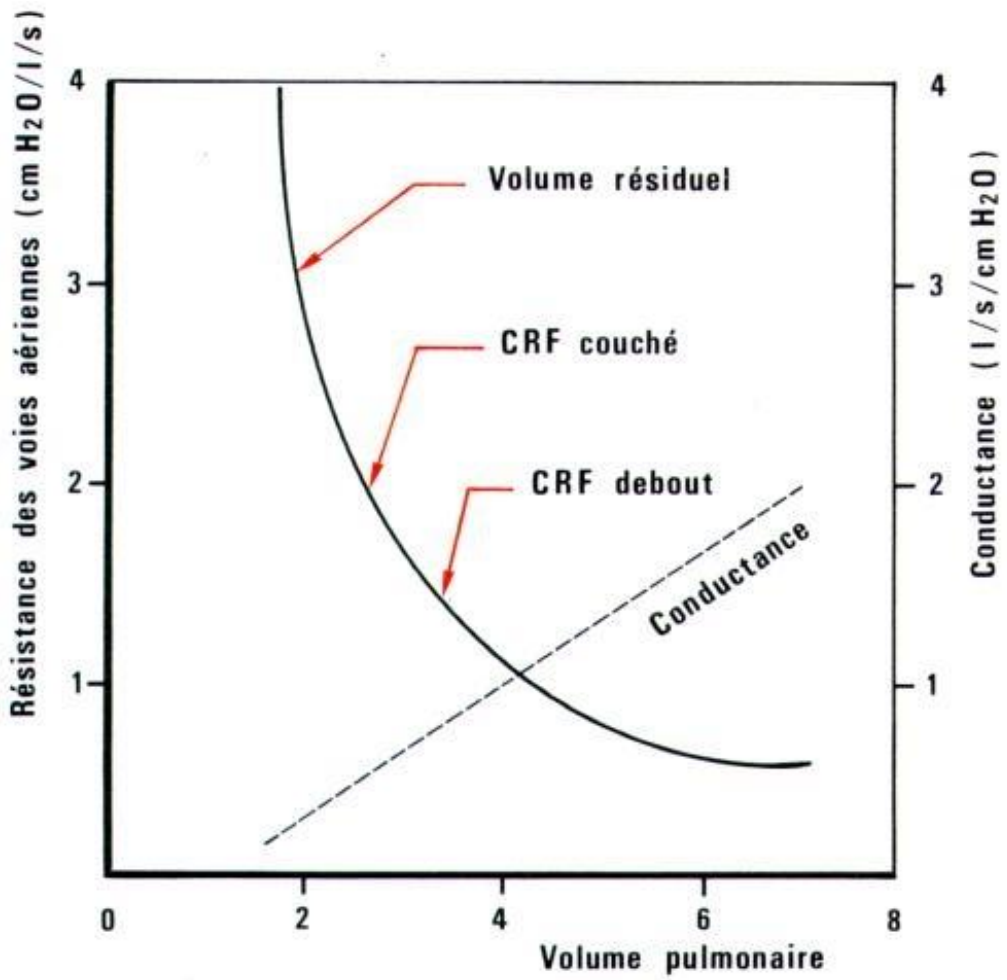
Régimes d ’écoulement dans les voies aériennes



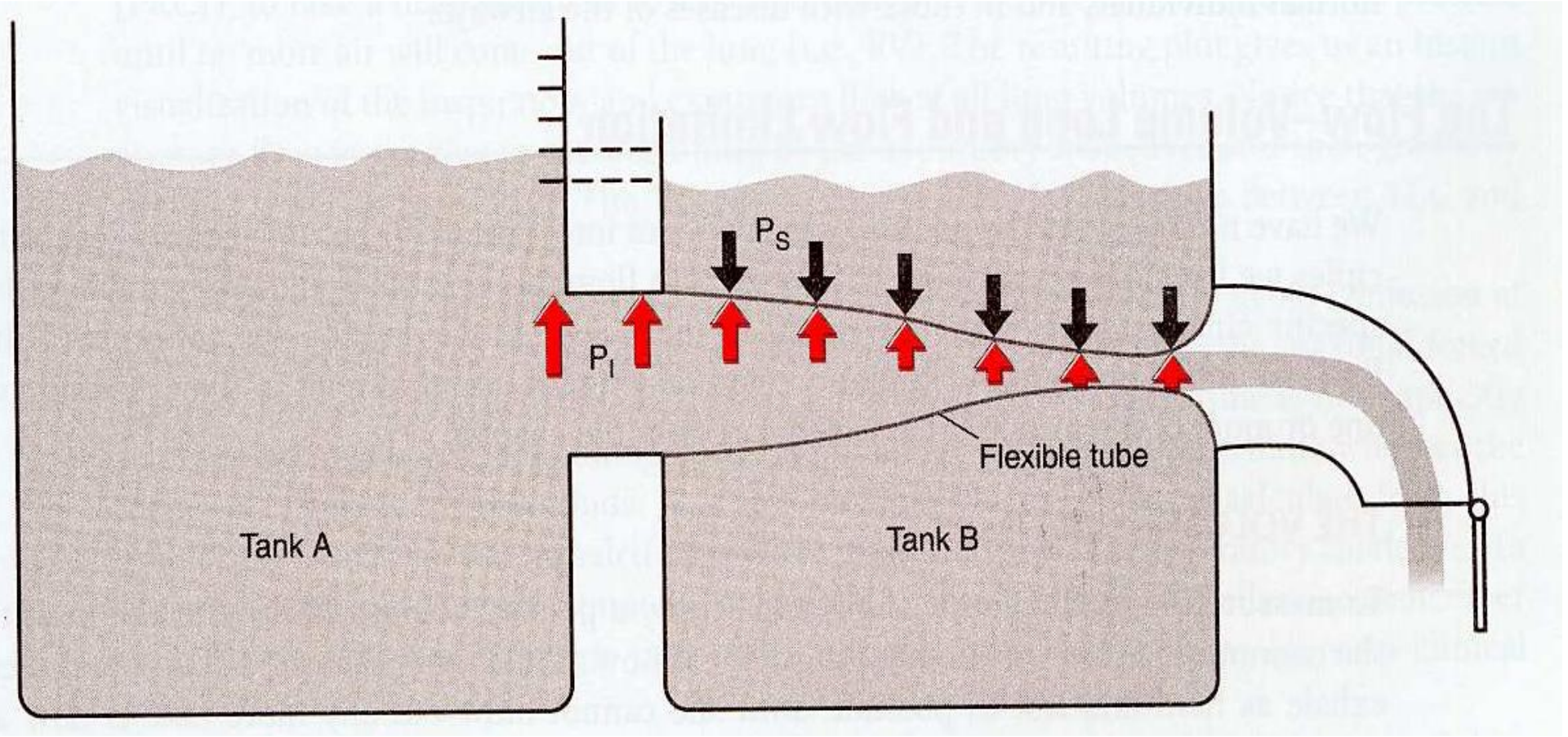
Résistances et volumes pulmonaires



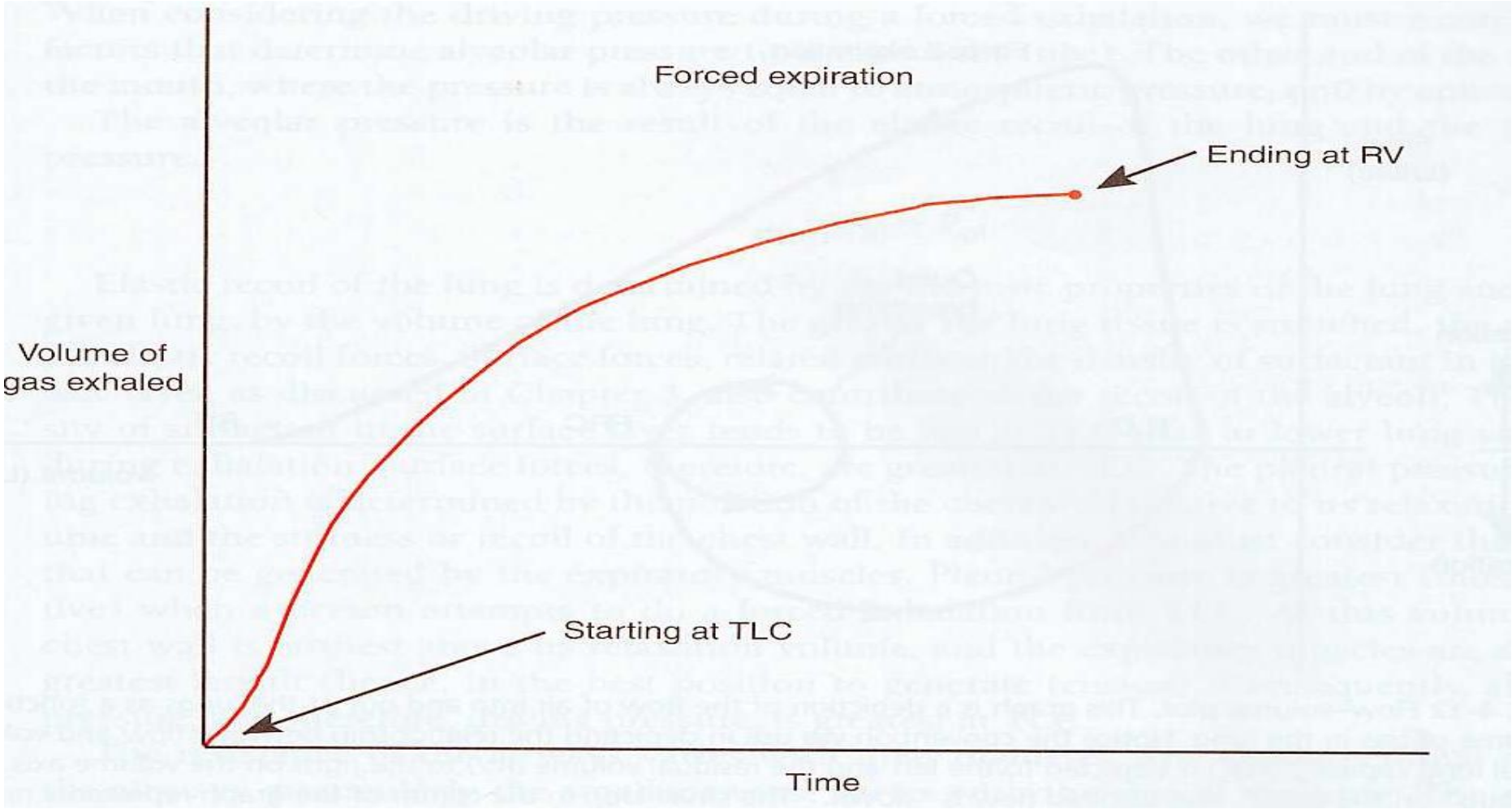
Résistances et volumes pulmonaires



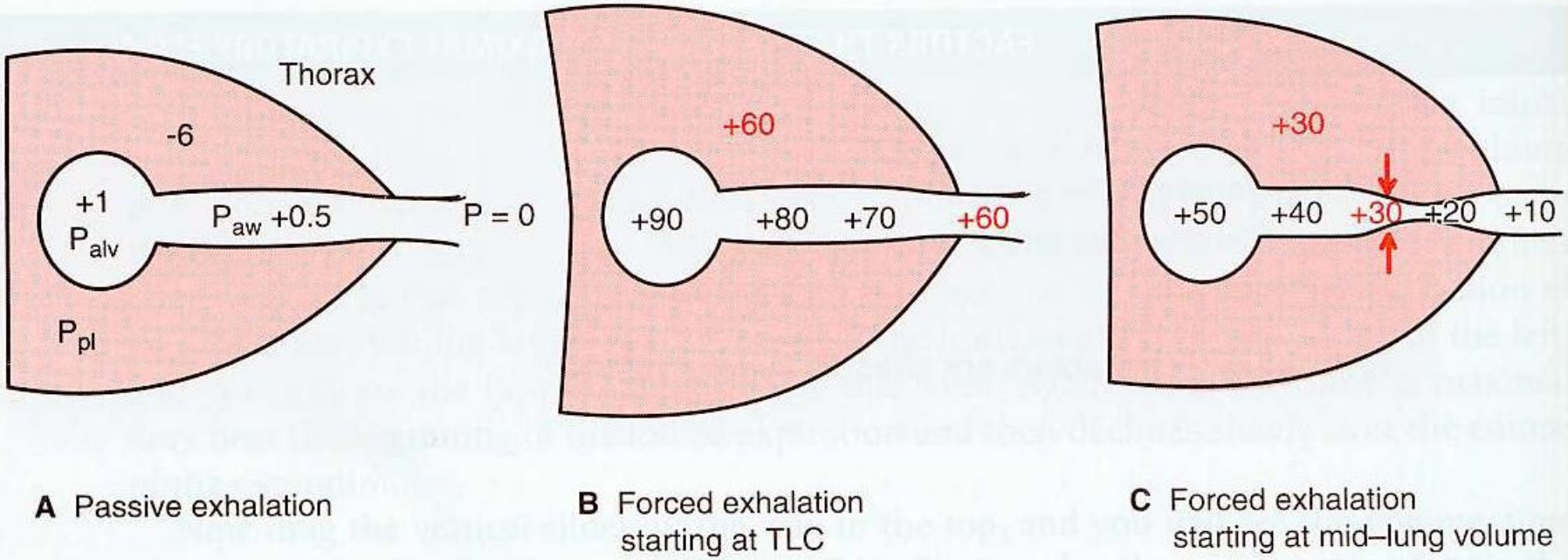
Limitations des débits expirés



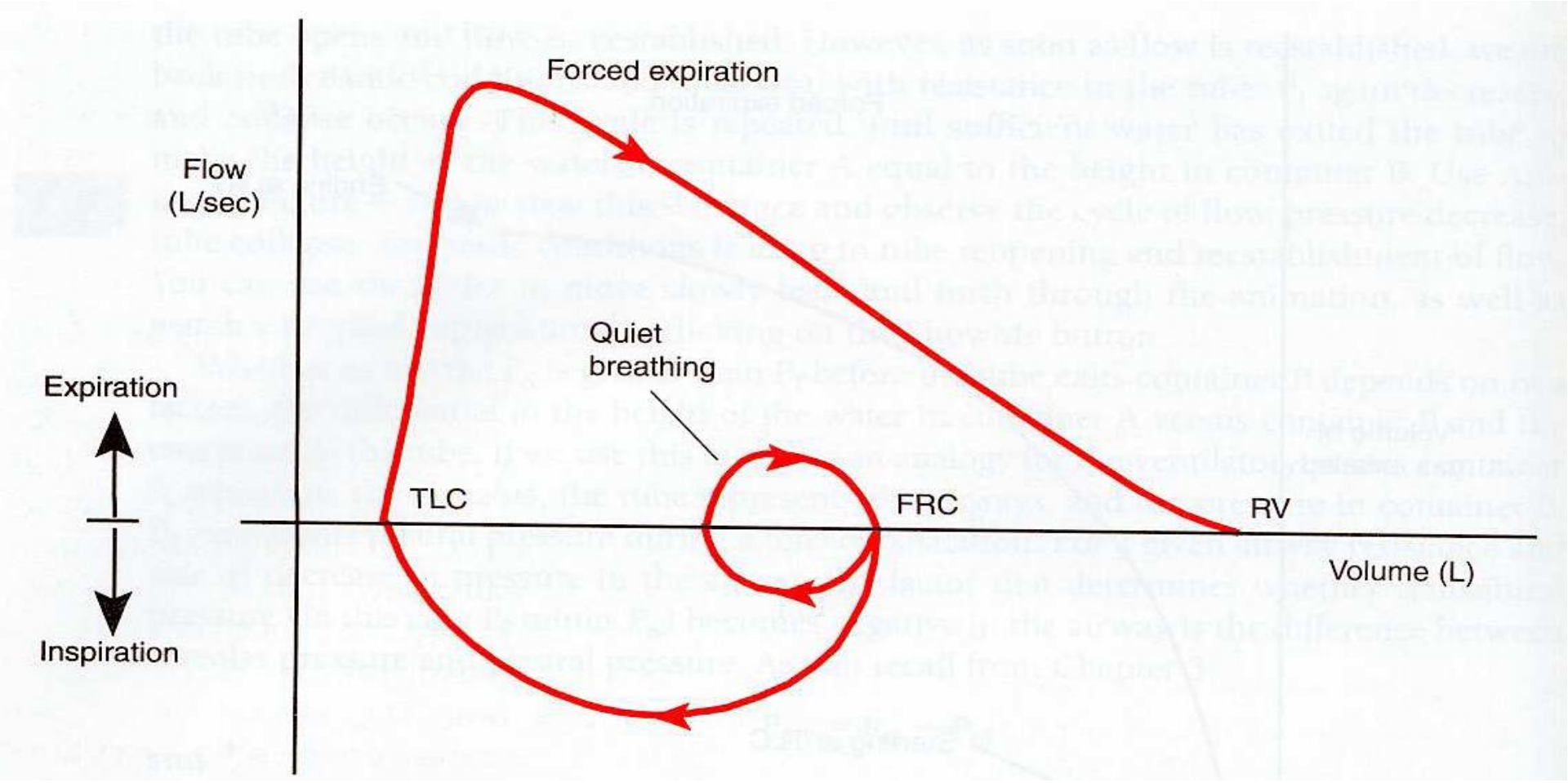
Limitations des débits expirés



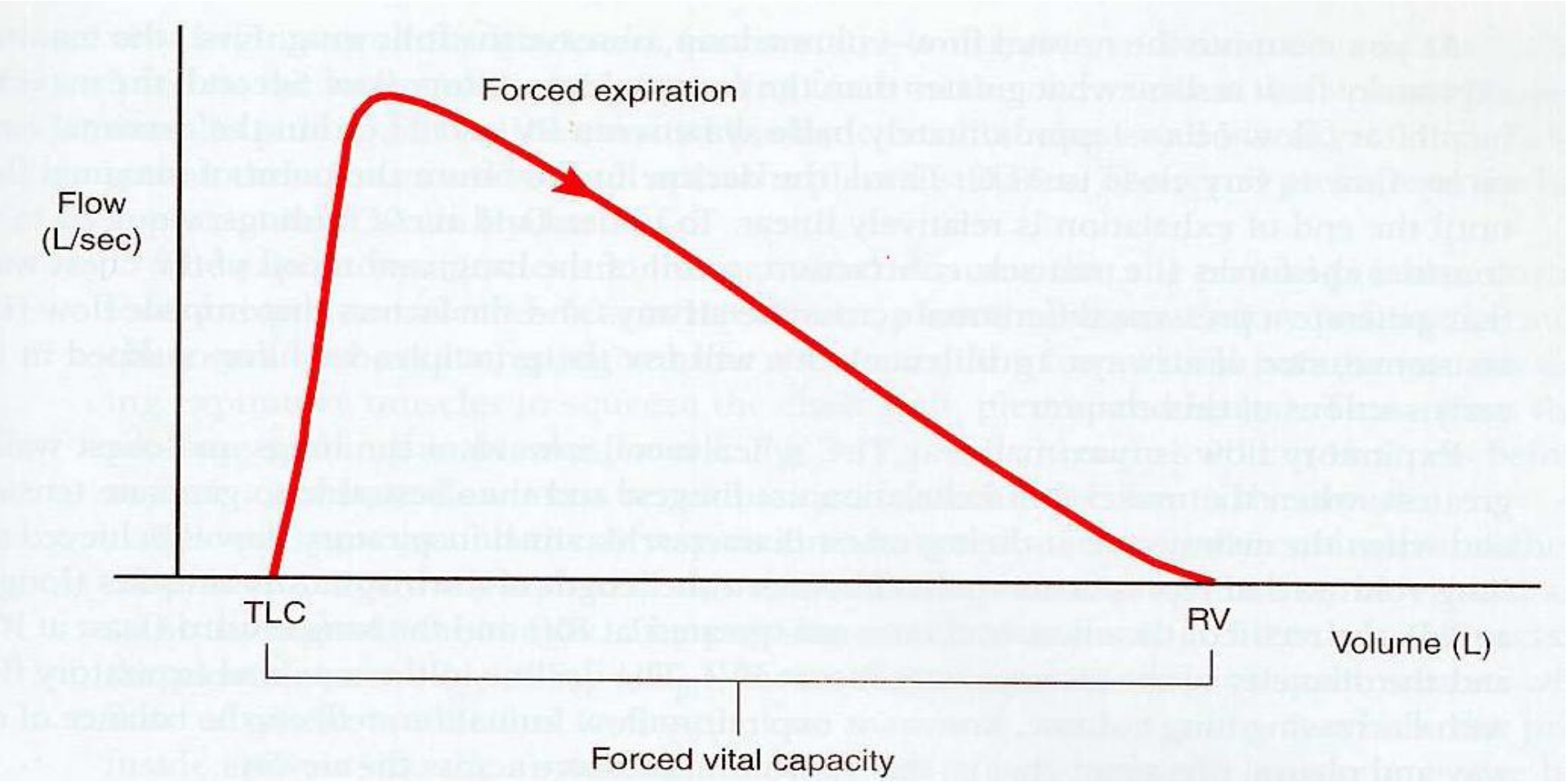
Limitations des débits expirés – Point d'égale pression



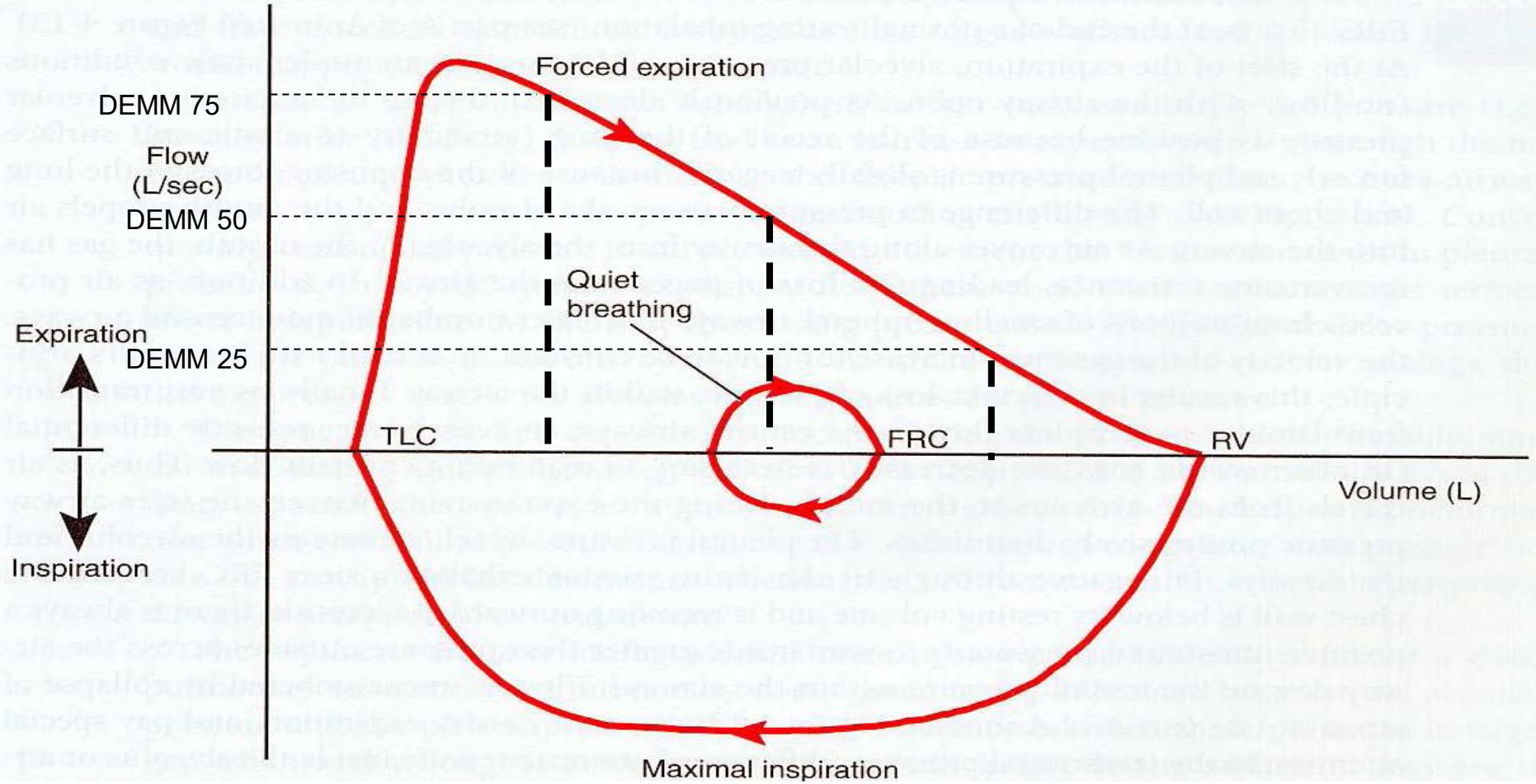
Courbe débit-volume



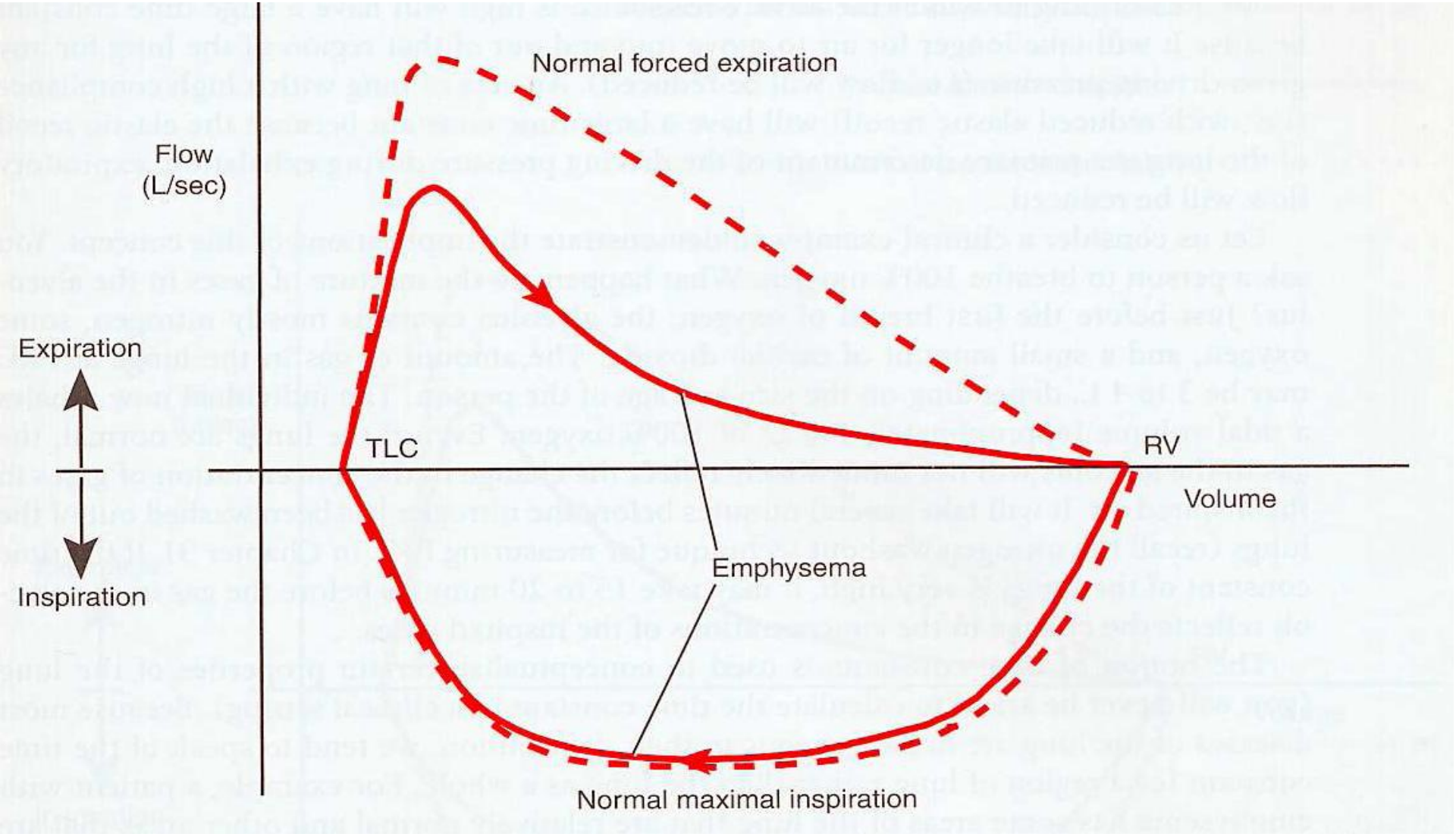
Courbe débit-volume



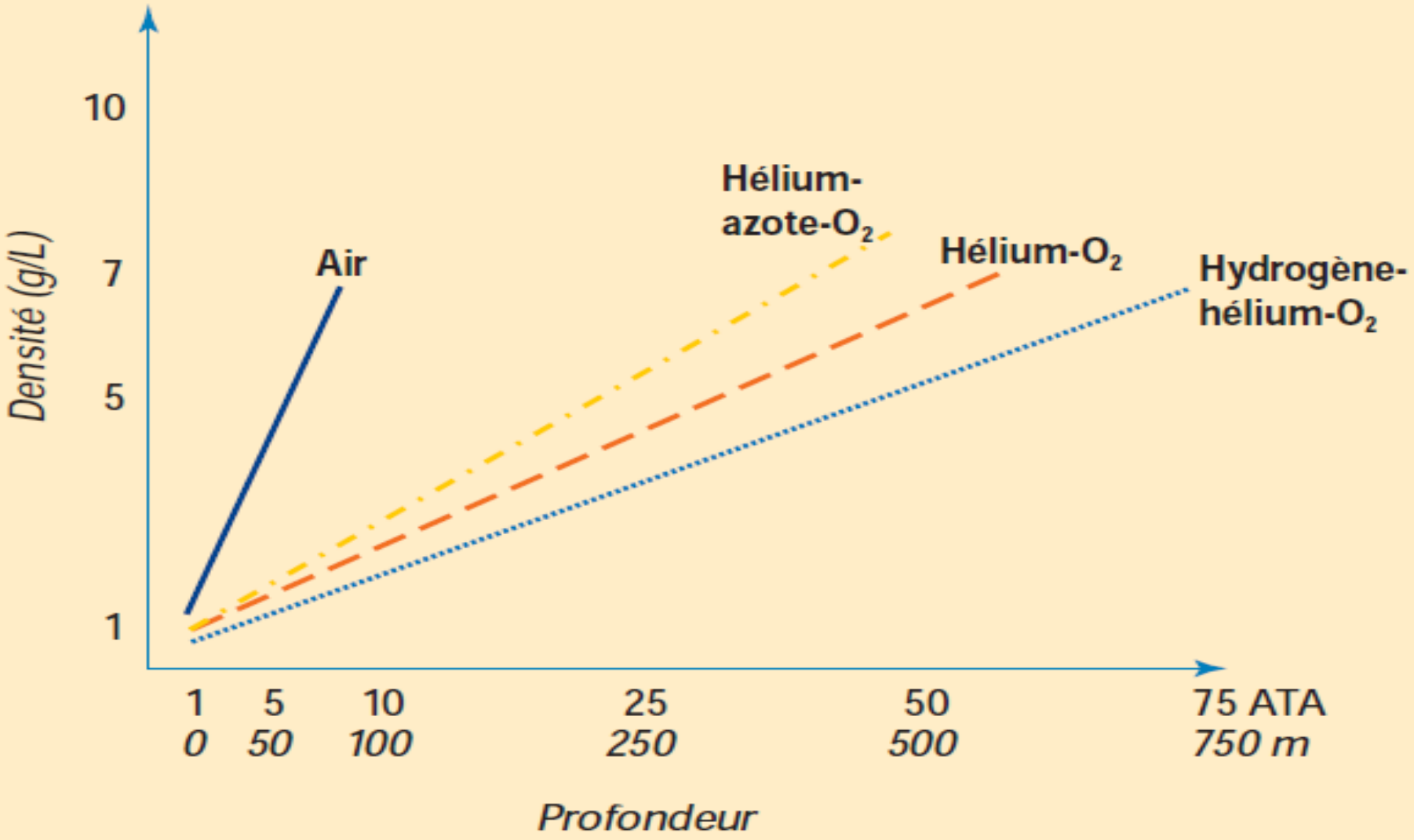
Boucle débit-volume



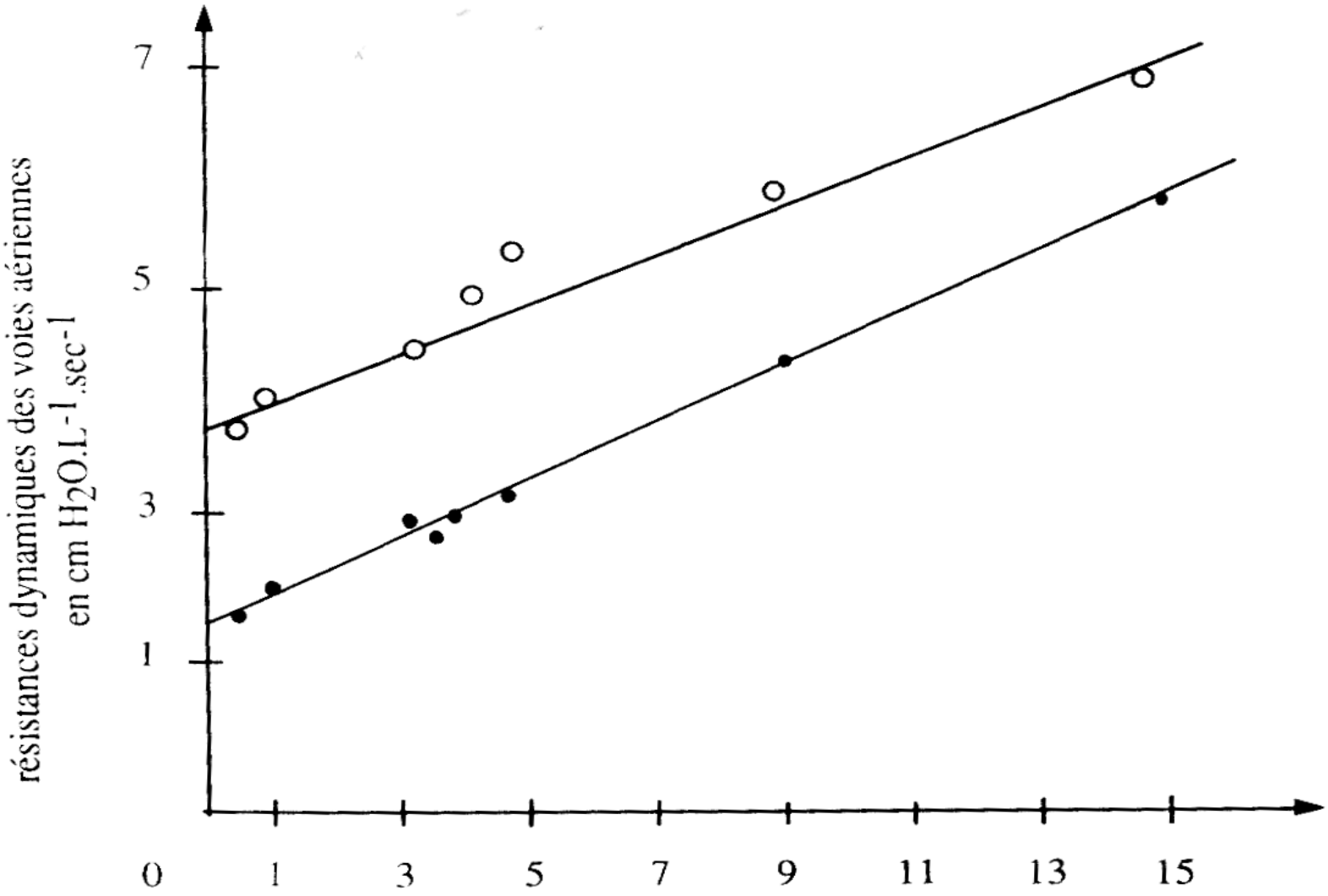
Boucle débit-volume



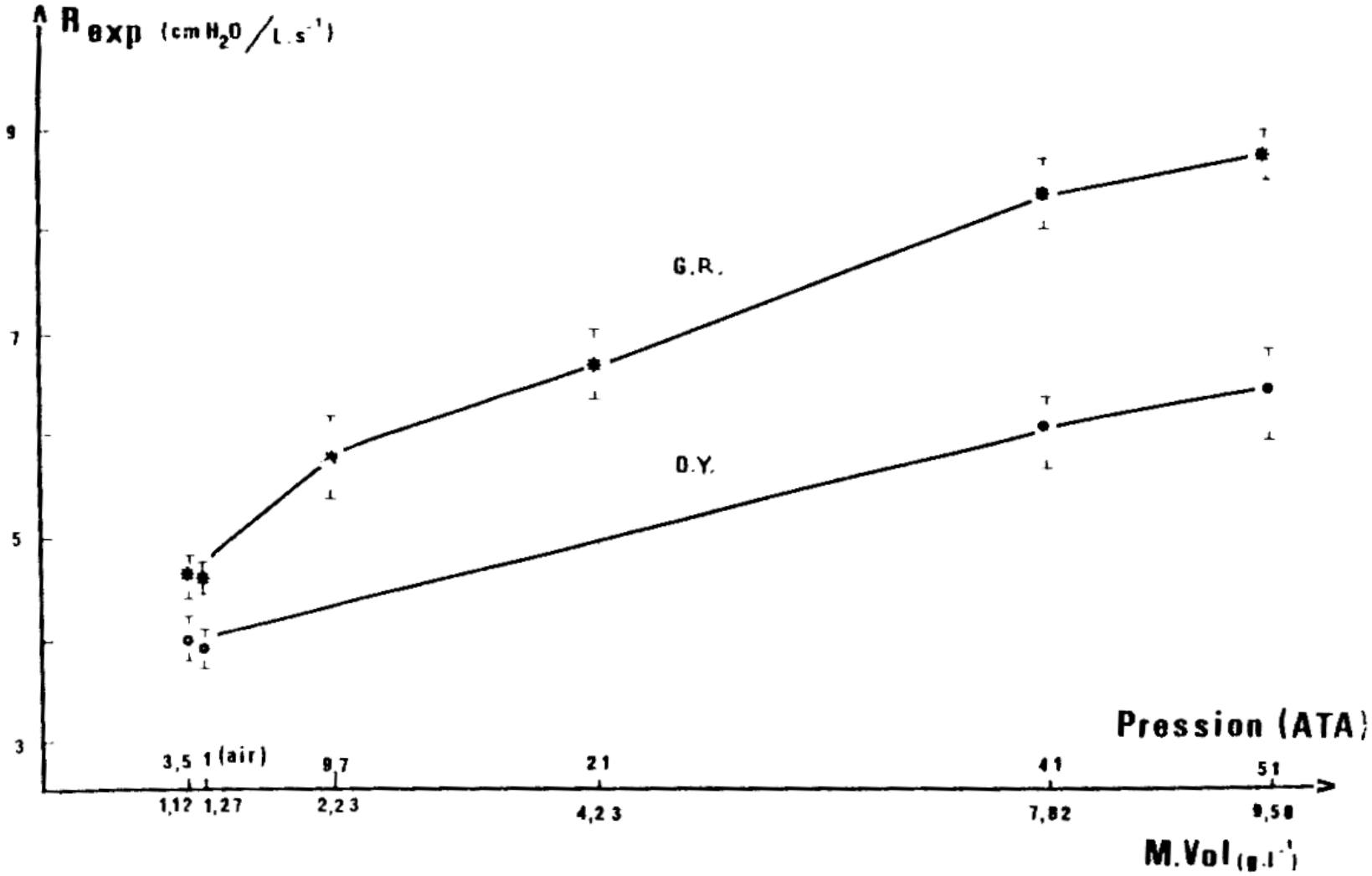
Densité des mélanges utilisés en hyperbarie selon la profondeur



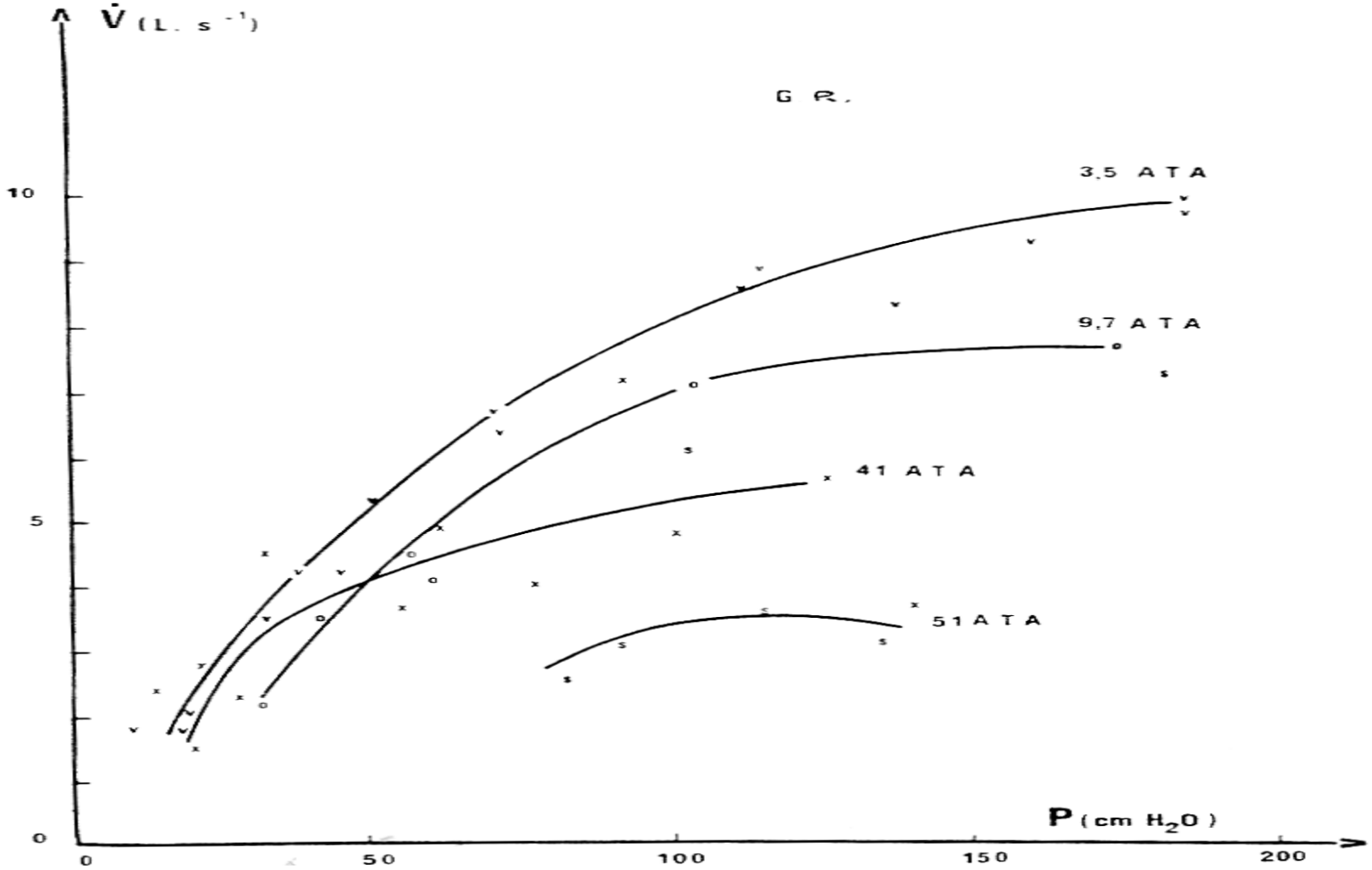
Rinsp selon la densité gazeuse chez 2 plongeurs



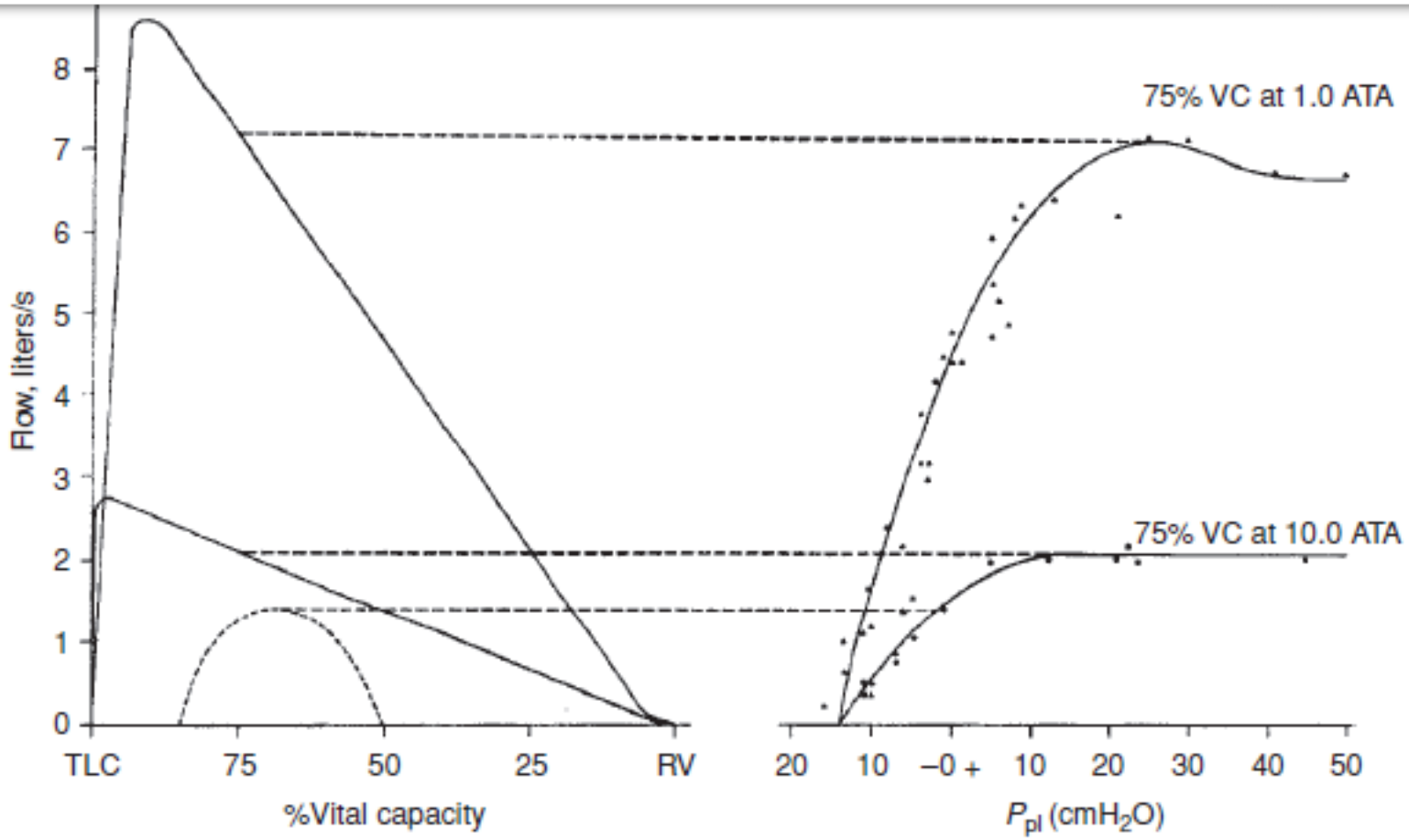
Résistances expiratoires selon la profondeur



Courbes Isovolumes (75 % CV)
Débit-Pression chez un plongeur de 3.5 à 51 ATA



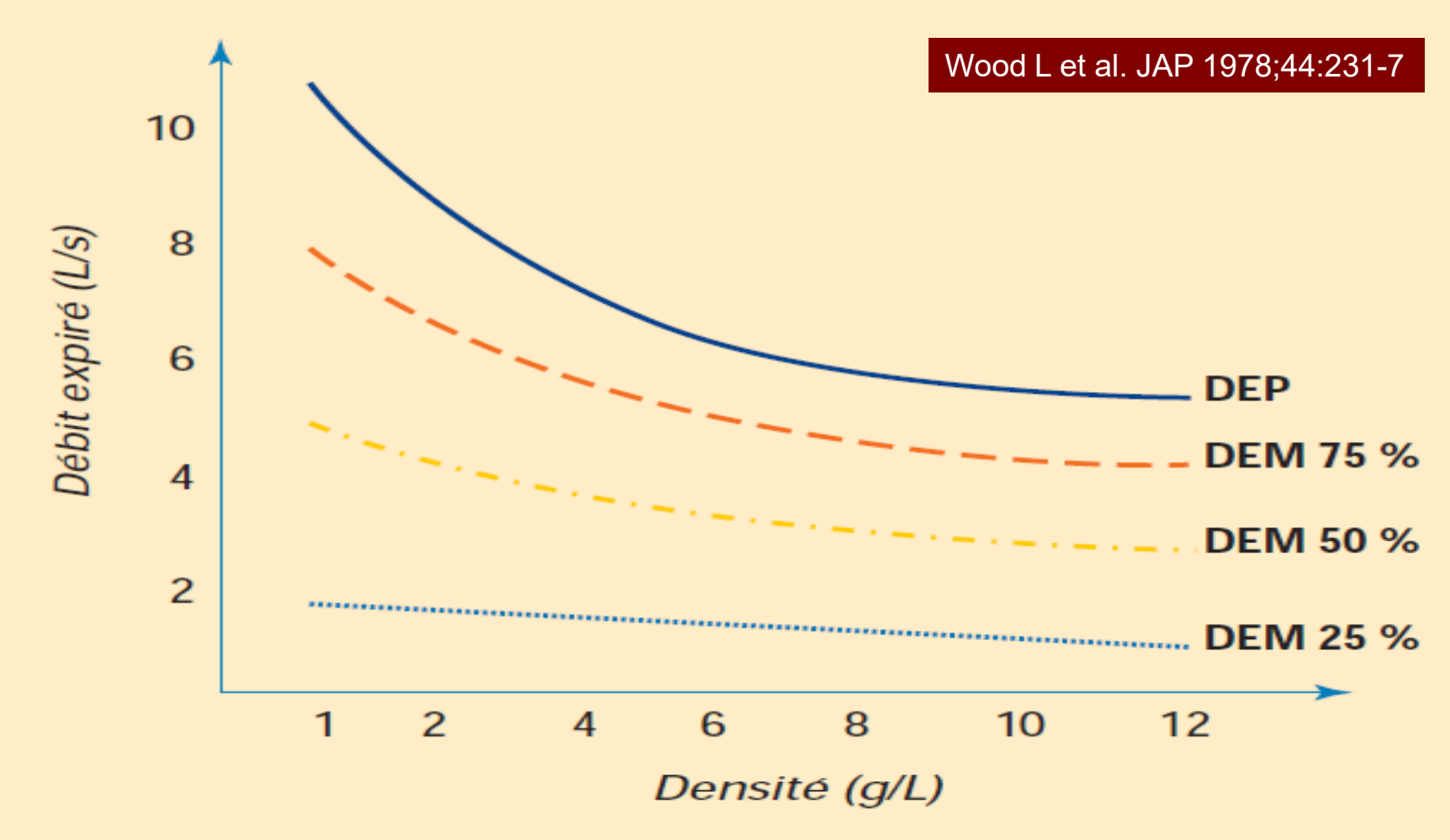
Courbes des Débits expirés en fonction de la densité



1 sujet

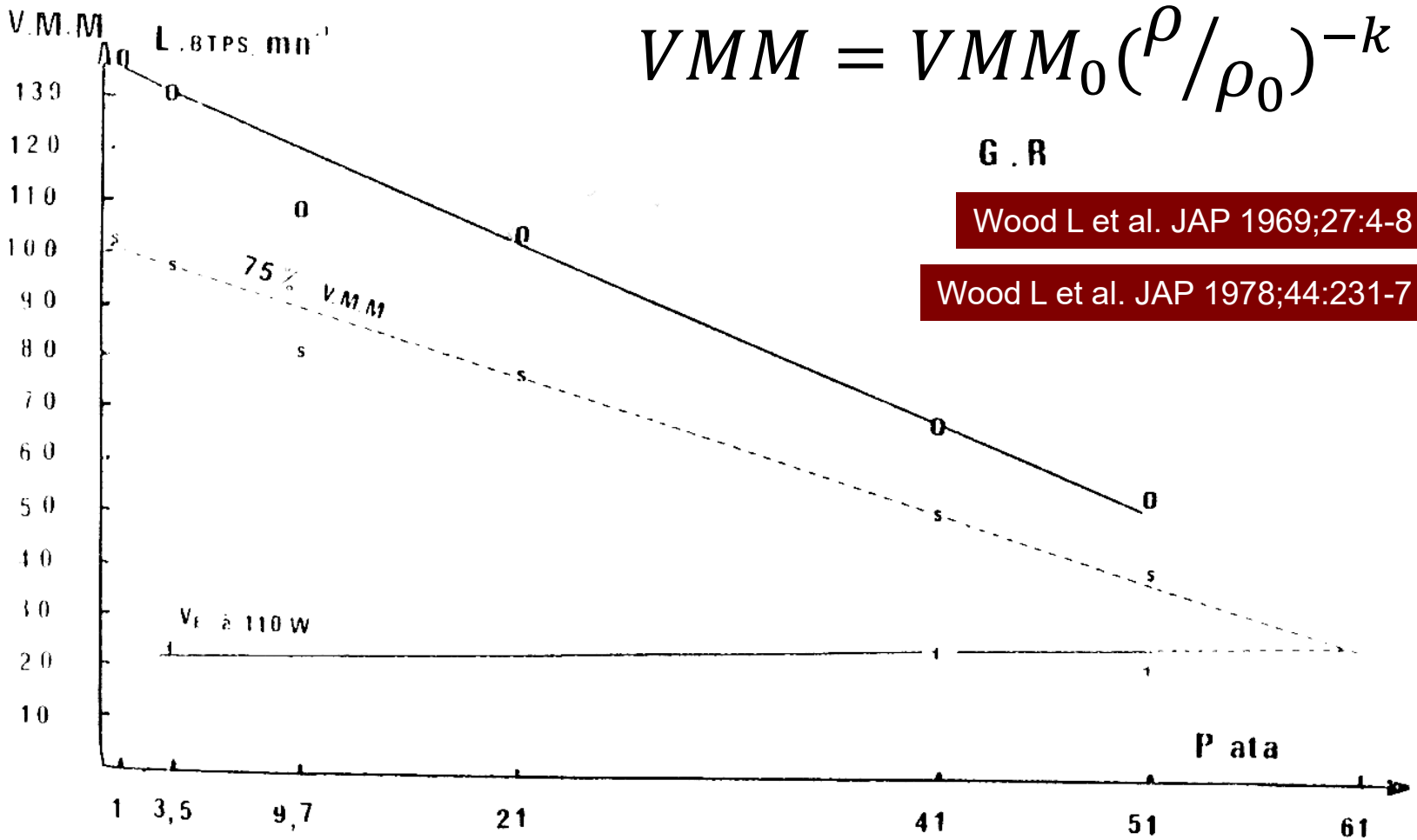
Wood L et al. JAP 1978;44:231-7

Courbes des Débits expirés en fonction de la densité



VMM en fonction de la pression

$$VMM = VMM_0 \left({}^{\rho}/_{\rho_0} \right)^{-k}$$



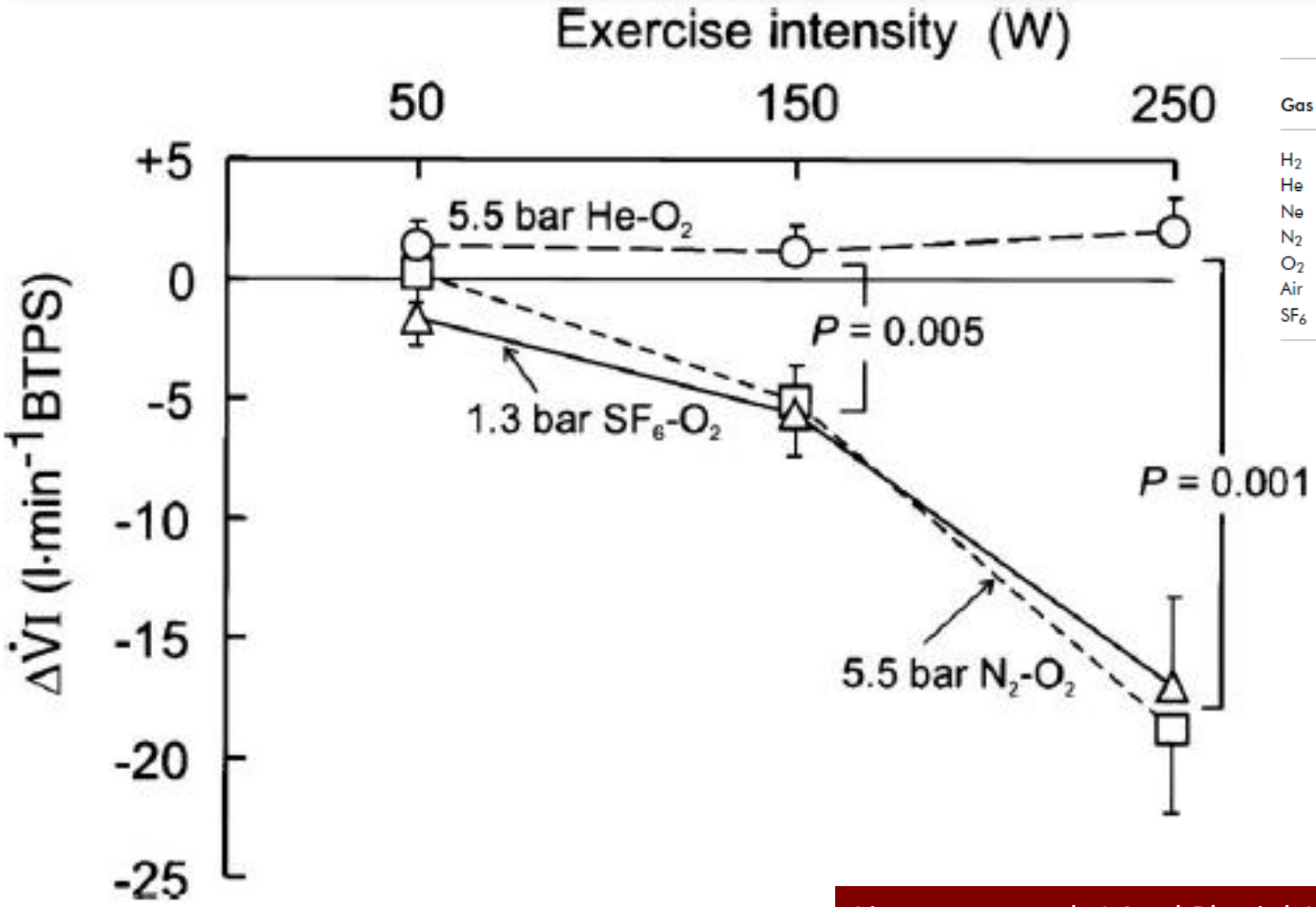
G.R

Wood L et al. JAP 1969;27:4-8

Wood L et al. JAP 1978;44:231-7

VMM = Ventilation Maximale Minute

Effet de la densité gazeuse sur la réponse ventilatoire à l'exercice.

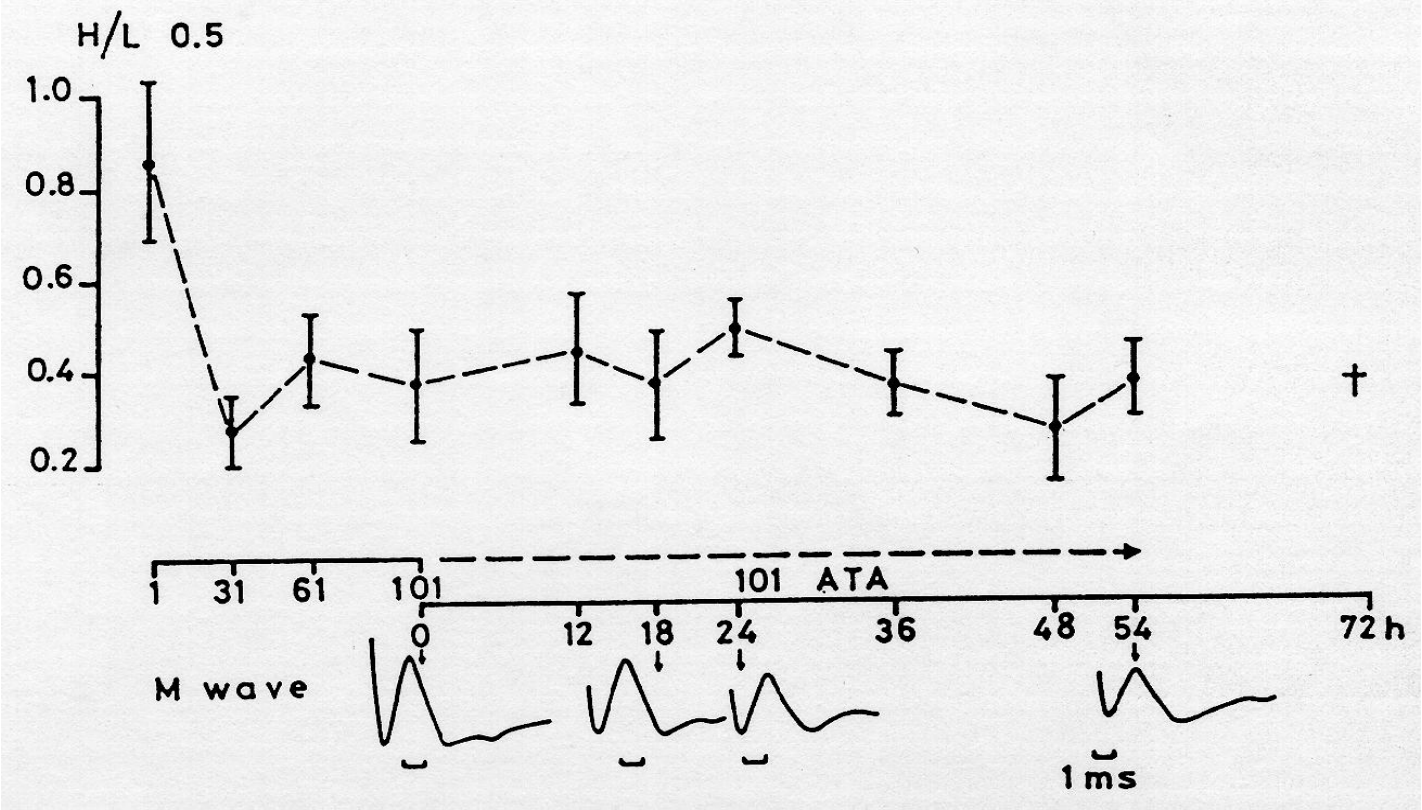


Gas	Molecular weight	Density[a]
H_2	2.016	0.090
He	4.003	0.179
Ne	20.183	0.901
N_2	28.016	1.251
O_2	32.0	1.428
Air	28.966	1.293
SF_6	146.066	6.521

Linnarsson at al. *J Appl Physiol 1987*: 1428–1432, 1999.

Miller JN. Undersea & Hyberbaric Medical Society, 1989, p. 5-18.

Signes de fatigue diaphragmatique (épuisement) chez le chat à 101 ATA



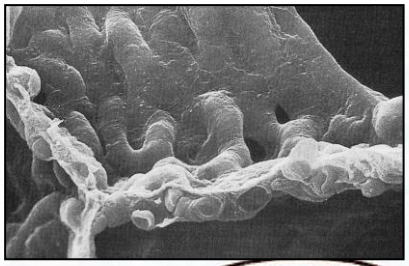
Conséquences de l'augmentation de la pression ambiante sur les résistances

- Augmentation des résistances insp et exp
  - + de flux turbulent
  - Corrélée à l'augmentation de la pression ambiante
  - Syndrome Obstructif ++++
- Compression dynamique des voies aériennes intra-pulmonaires
- Compression sur les voies aériennes extra -pulmonaires.
- Charge ventilatoire élevée

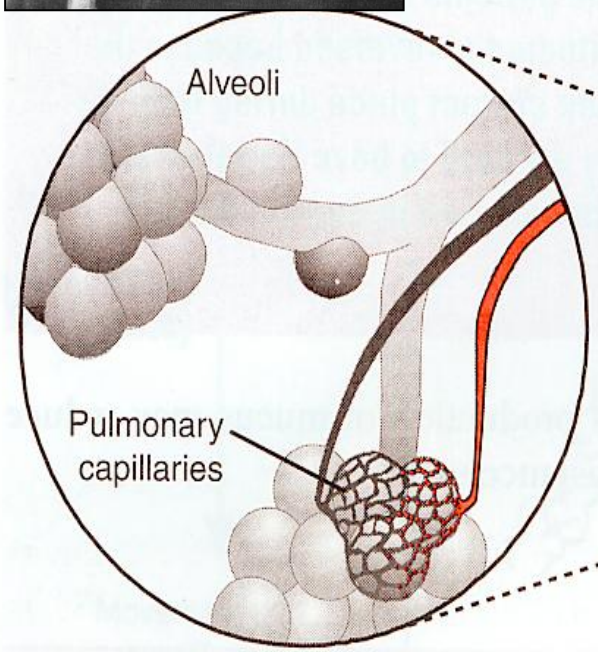
2 EFFETS DE L’AUGMENTATION DE LA PRESSION AMBIANTE SUR L’ ECHANGEUR PULMONAIRE

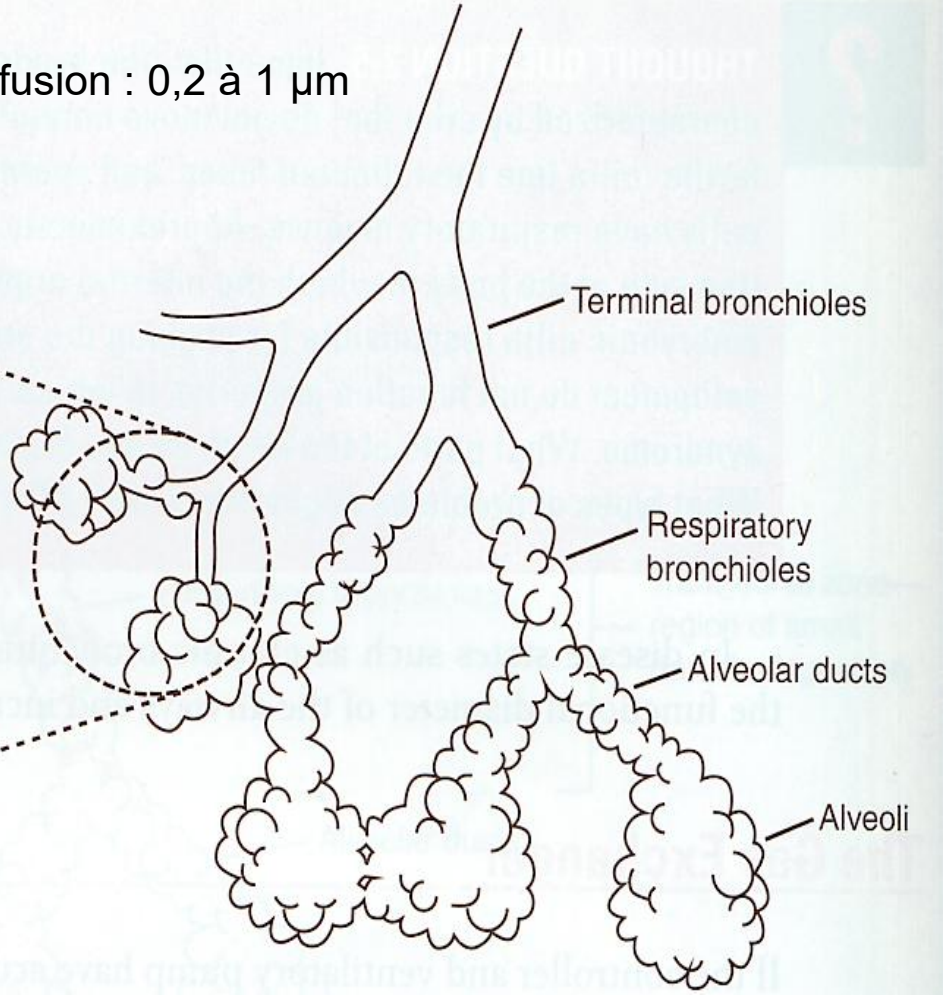
2.1 ECHANGEUR PULMONAIRE

Echangeur pulmonaire



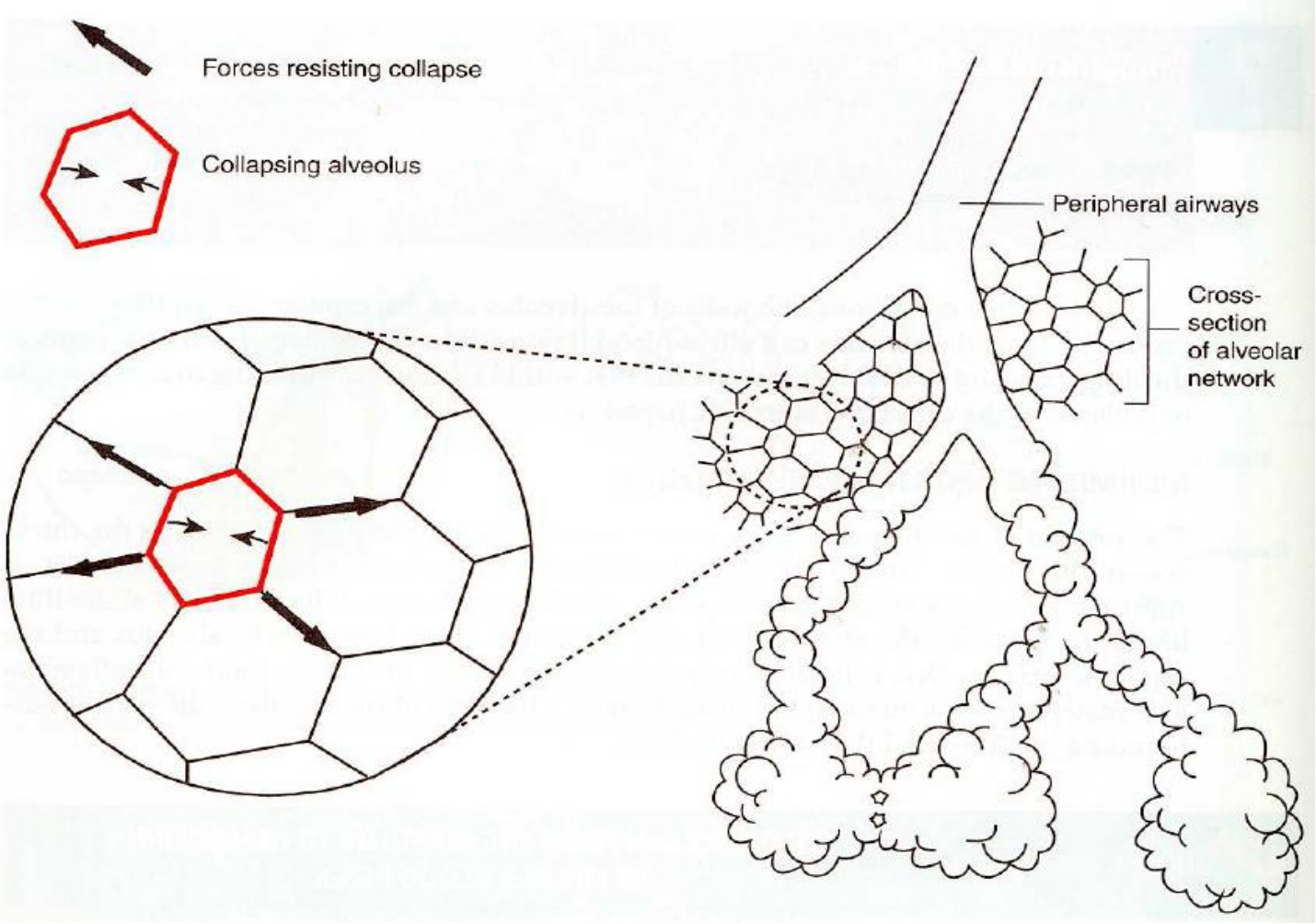
Distance de diffusion : 0,2 à 1 µm

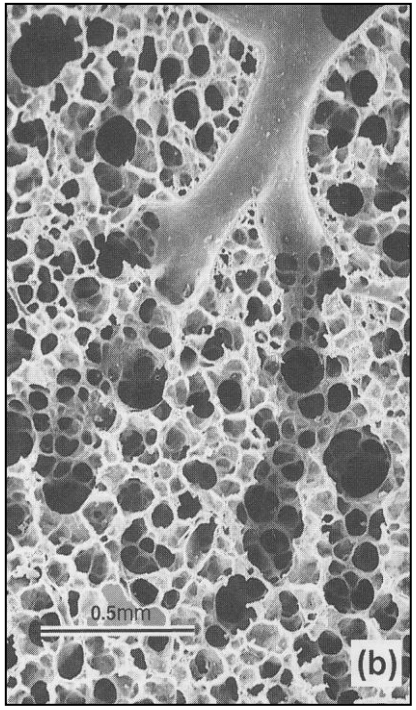




1000 capillaires/alvéole
10 µm de diamètre

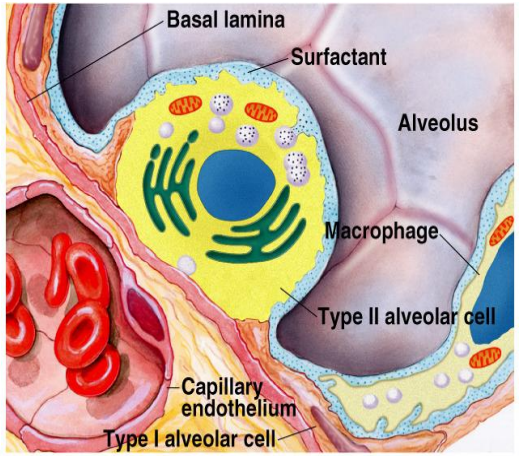
Forces stabilisant les alvéoles





Obstacles à la diffusion pour les gaz (O2 – CO2)

Fluide alvéolaire
Paroi alvéolaire
Intertistium
Paroi capillaire
Plasma
Membrane GR



Obstruction

Alveolus and vessels

↓ PO_2

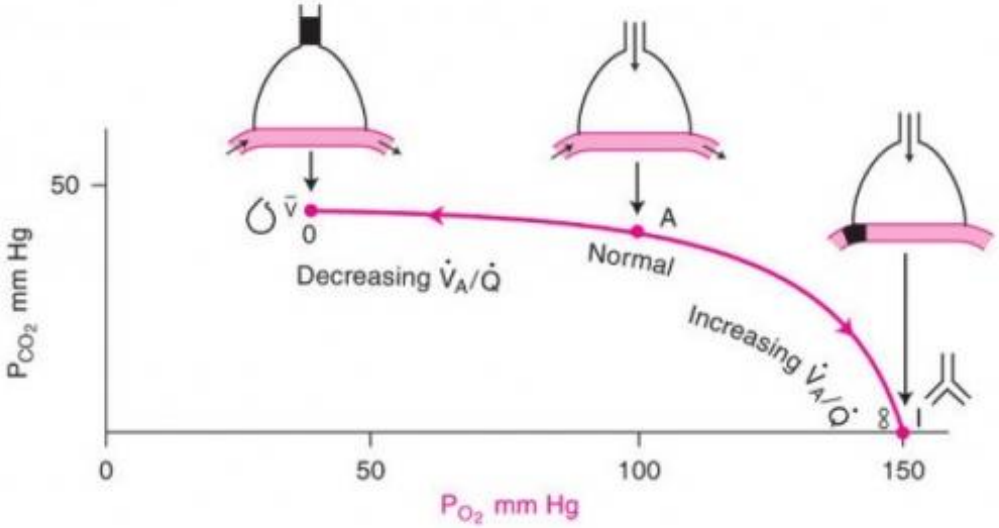
↓ PCO2

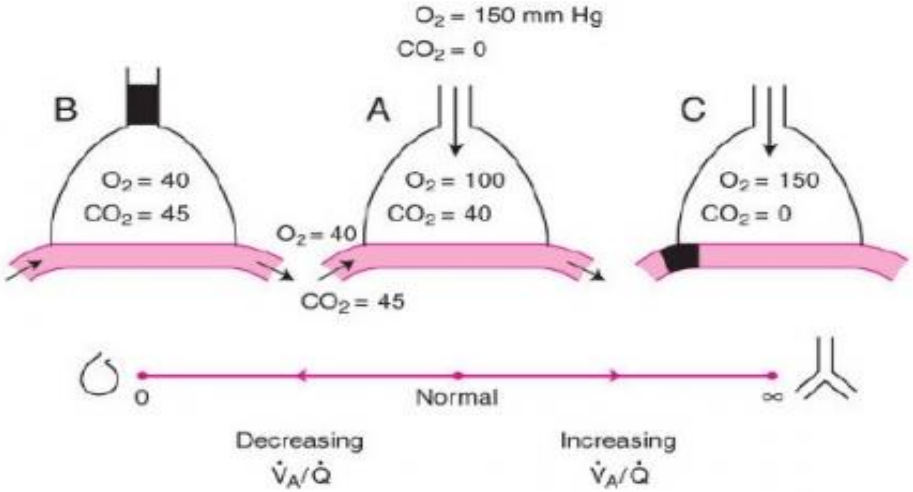
Alveolus and vessels

Pre-capillary vessel

Capillaries

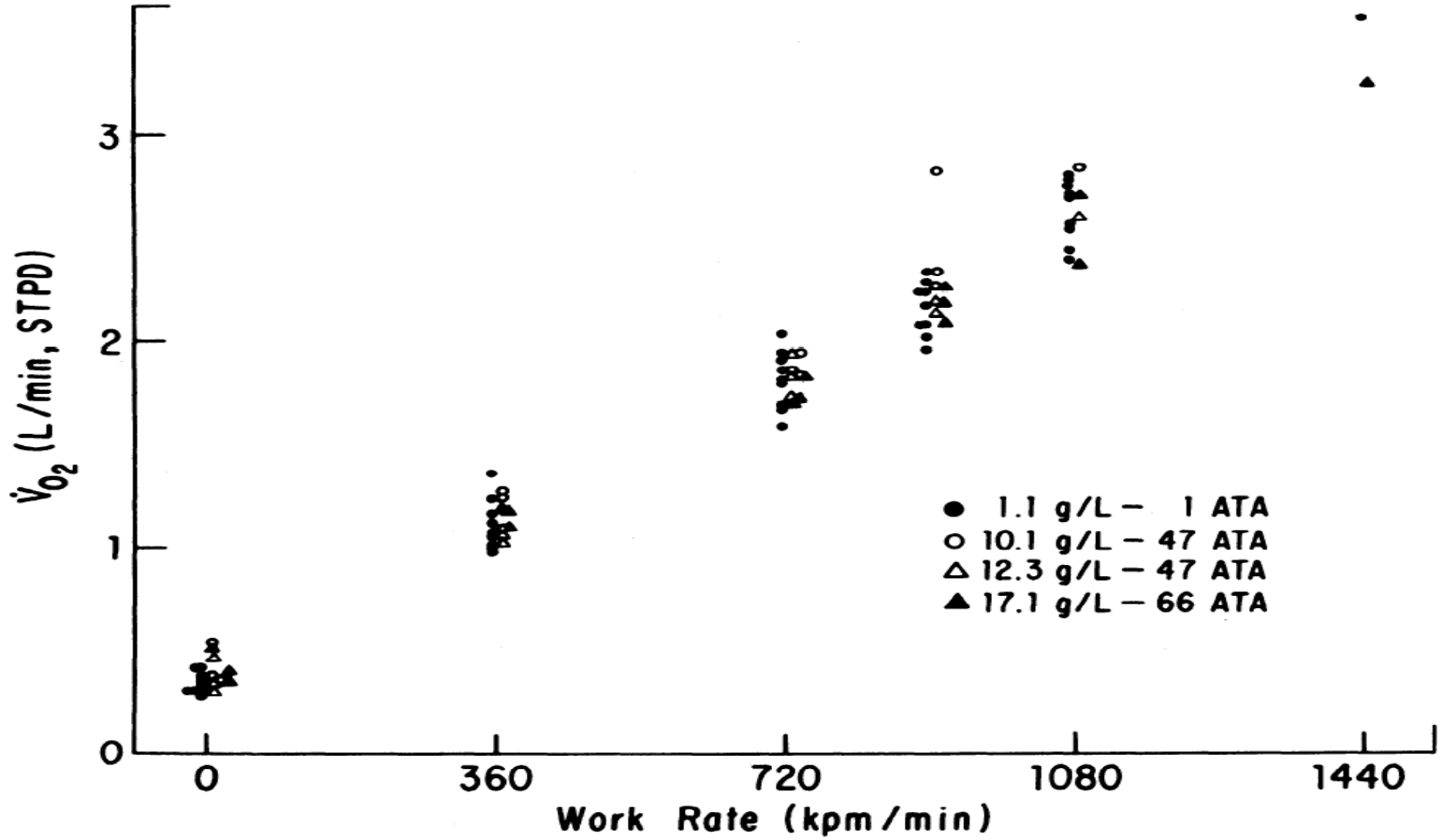
Diagramme PO2-PCO2 / V/Q (Diagramme de Rahn et Fenn)





2.2 EFFETS DE L'AUGMENTATION DE LA PRESSION AMBIANTE SUR LA VO2 (CONSOMMATION O2)

VO2 et Augmentation de Pression



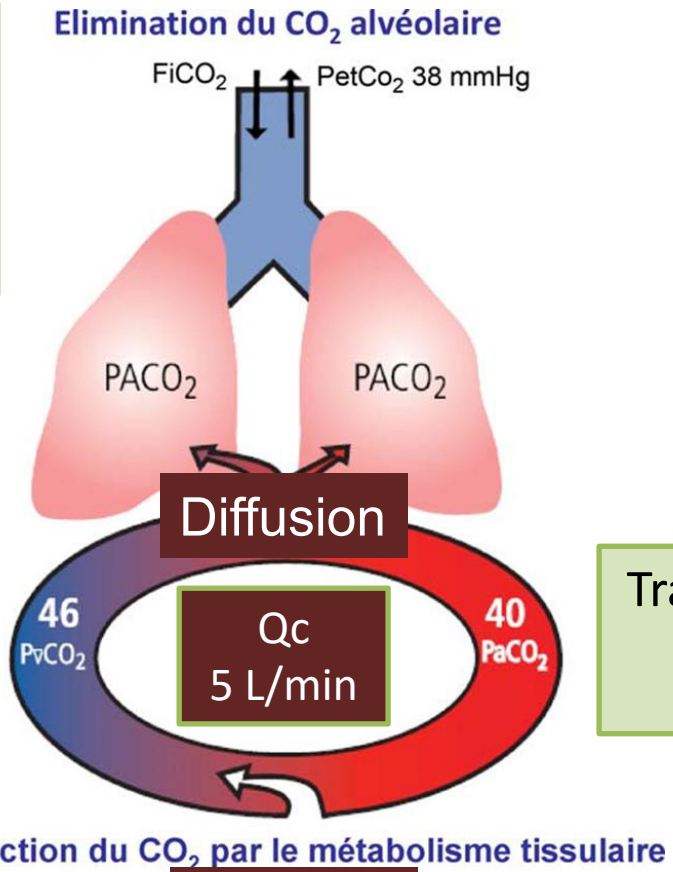
Heliox

Salzano et al. JAP 1984 57:1055-68

2.3 EFFETS DE L'AUGMENTATION DE LA PRESSION AMBIANTE SUR LE CO2

Homéostasie du CO2

Elimination(Convection)
VCO2 = 200-250 ml/min
PECO2 = 25 mmHg (≠ PetCO2)
VE = 6 L/min – VA = 4 L/min
PACO2 = 38 mmHg



Transport (Convection)
PvCO2 = 45-46 mmHg
CvCO2 = 520 ml/L

Transport (Convection)
PaCO2 = 40 mmHg
CaCO2 = 480 ml/L

Diffusion

METABOLISME (Krebs) Production CO_2
VCO2 = 200-250 ml/mn
Stock Tissulaire = 15 litres

Transport du CO2

- Dissous (10%)
  - Diffusion passive dans le sang (PvCO2 45 mmHg)
  - Solubilité (0.06 mlCO2/100ml/mmHg)
- Fixé à l'hémoglobine (5-10%)
  - Composés carbaminés
  - Libéré grâce à l'effet Haldane
- Bicarbonate (80-90 %)
  - Action de l'anydrase carbonique globulaire
  - $CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H + +HCO_3{}^-$

Elimination du CO2

Ventilation alvéolaire déterminant principal de l'élimination du CO2 (VCO2)

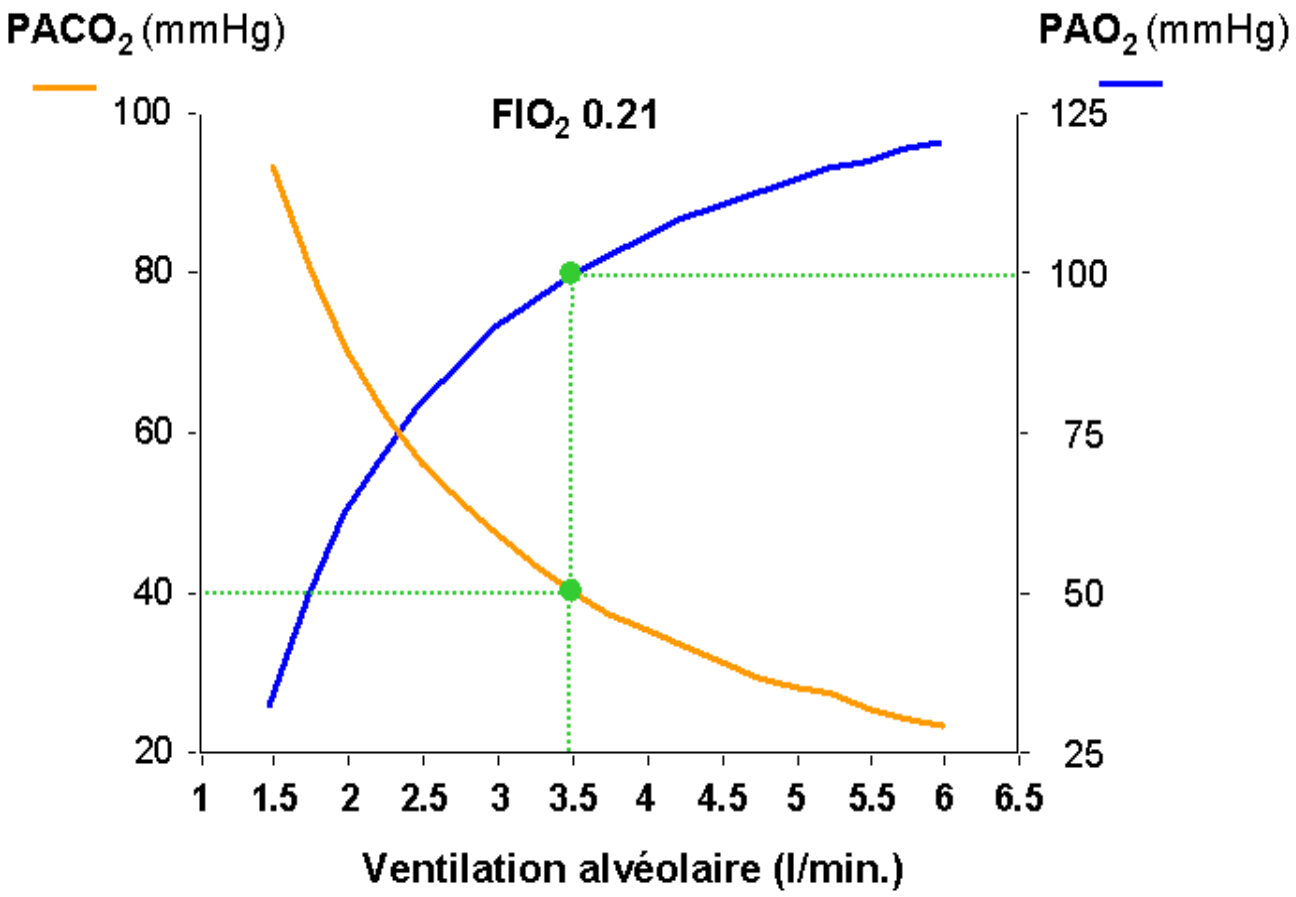
$\dot{V}_E = \dot{V}_A + \dot{V}_D$ ou $\dot{V}A = \dot{V}E - \dot{V}D$

$$\dot{V}CO_2 = P_ACO_2 \times \dot{V}_A \longrightarrow P_ACO_2 = P_aCO_2 = \frac{\dot{V}CO_2}{\dot{V}_A}$$

$$\dot{V}_A = (Vt - VD) \times f$$

$$P_aCO_2 = \frac{\dot{V}CO_2 \times 0{,}863}{\dot{V}_E(1 - \frac{V_D}{V_T})}$$

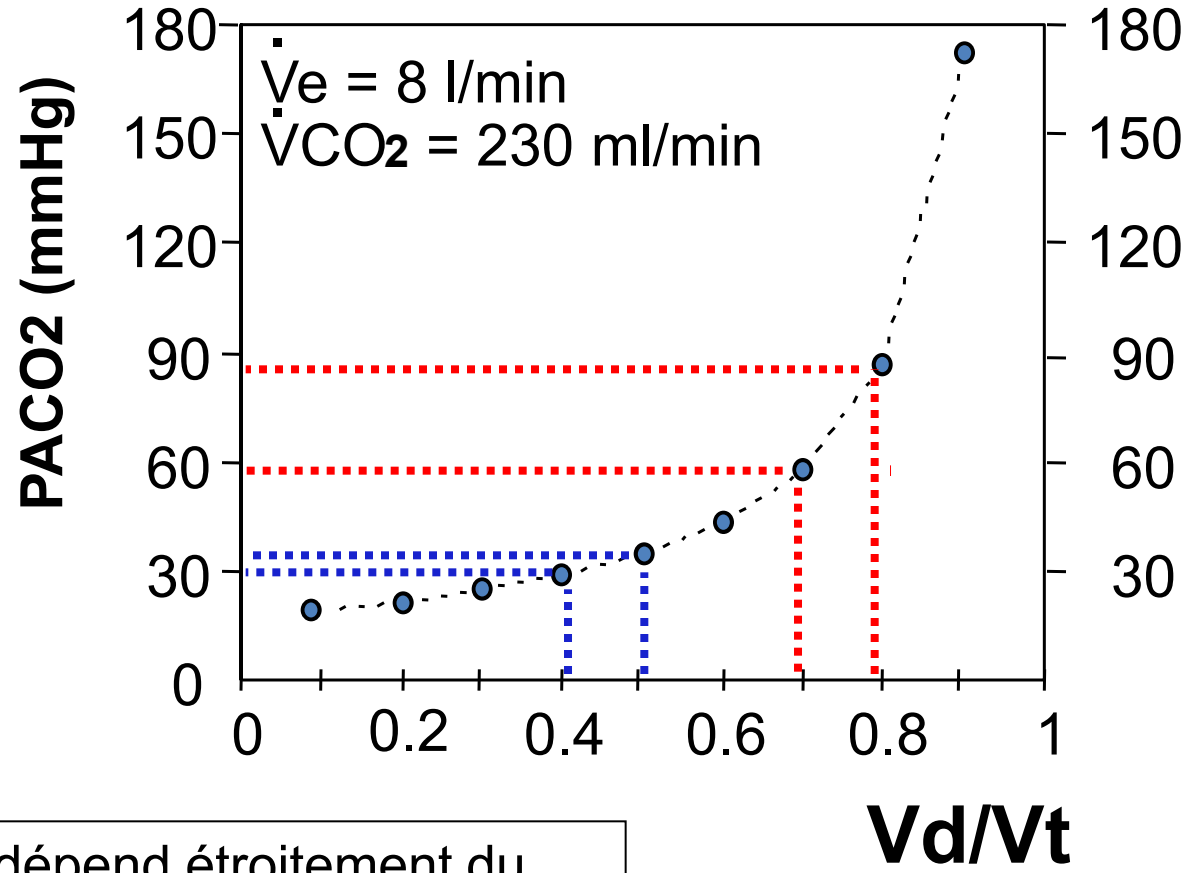
Relation PACO2 et ventilation alvéolaire



VA (nbre de litres d'air qui à chaque min débarrassent les alvéoles du CO2 provenant du métabolisme)

Relation PACO2 et Espace mort à VCO2 et VE Constante

$$P_aCO_2 = \frac{\dot{V}CO_2 \times 0{,}863}{\dot{V}_E(1-\frac{V_D}{V_T})}$$

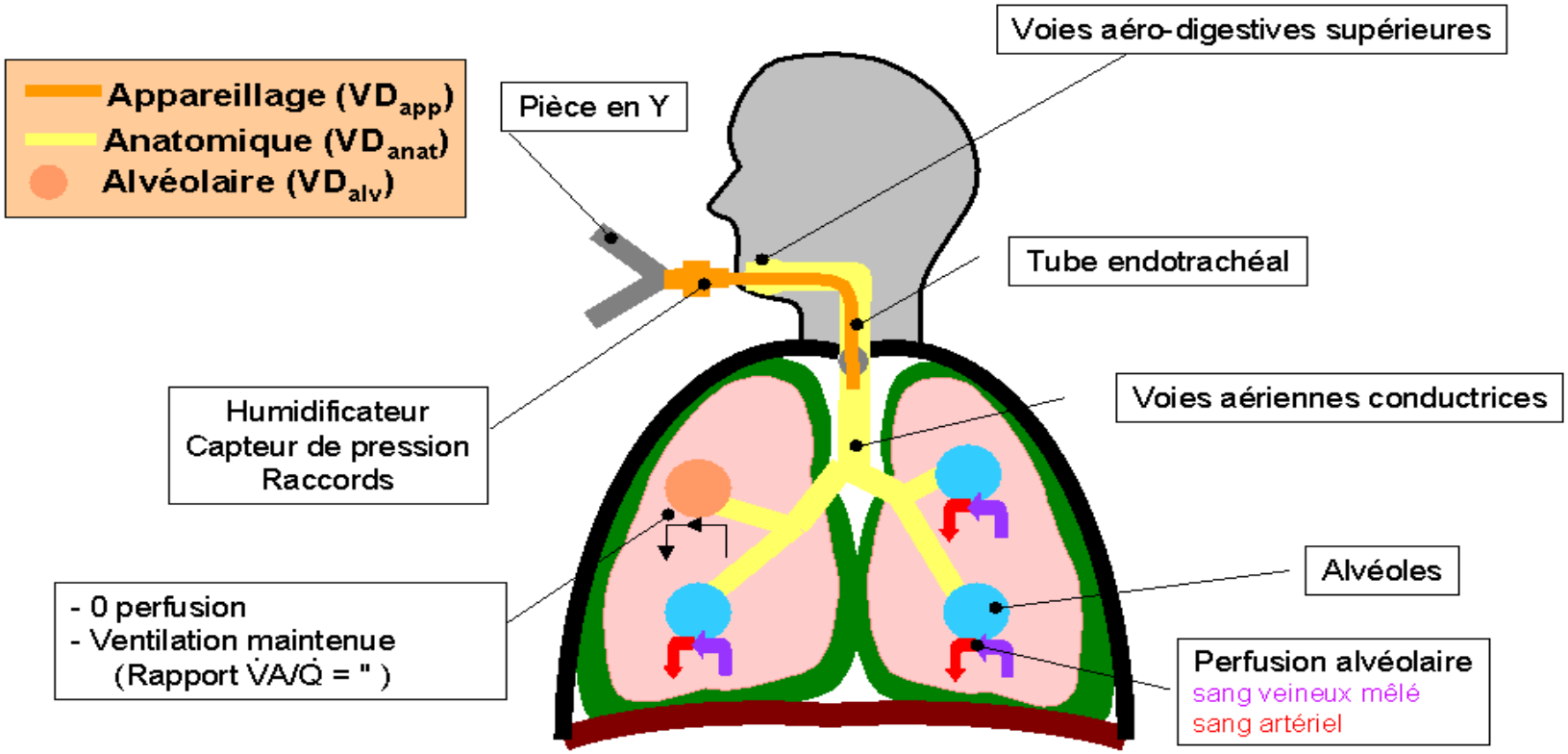


PaCO2 dépend étroitement du rapport du volume de l'espace mort sur le volume courant Vd/Vt

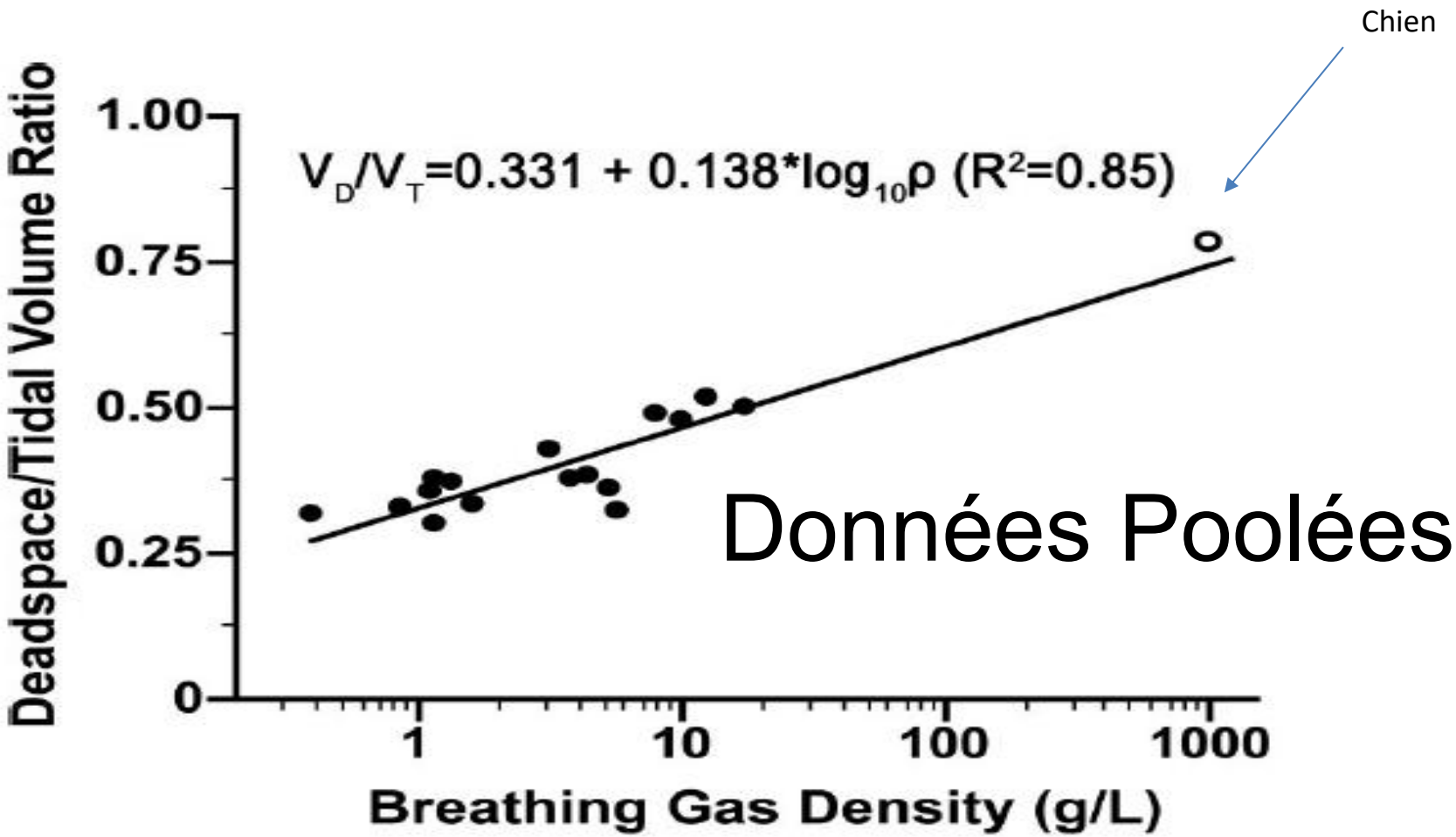
Vd / Vt = 1/3 = 2 ml/kg (Radford)
(sujets normaux au repos)

Espace mort physiologique

$$VD/VT = VD_{app} + VD_{anat} + VD_{alv}$$

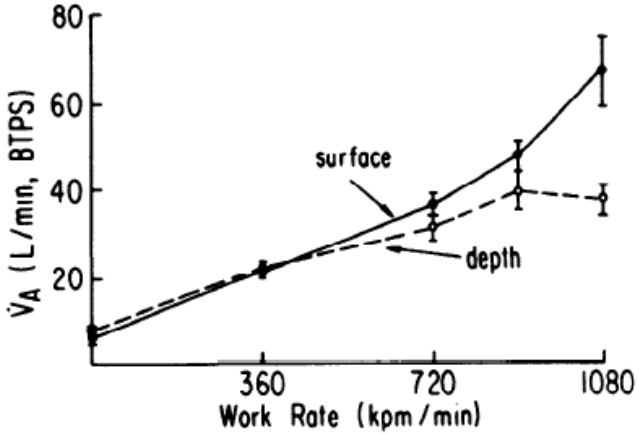


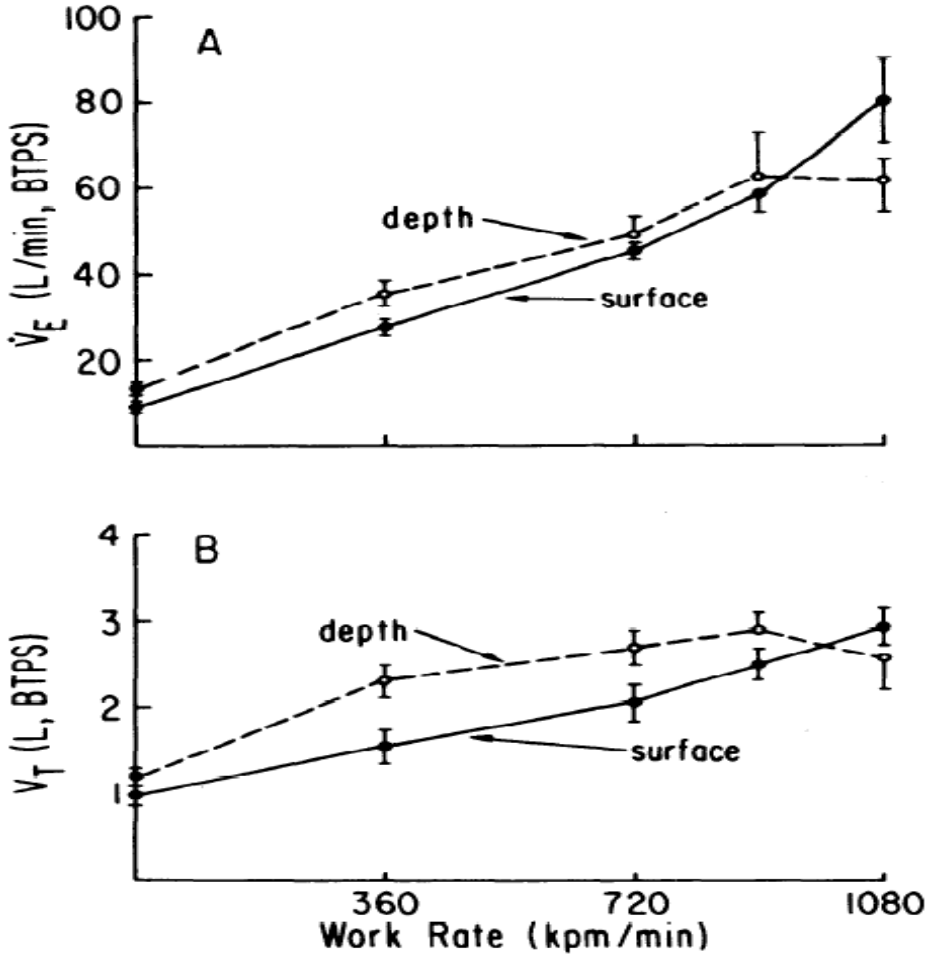
Effet de la densité gazeuse sur l'espace mort



Moon R et al. JAP 2009 ;106: 668-677

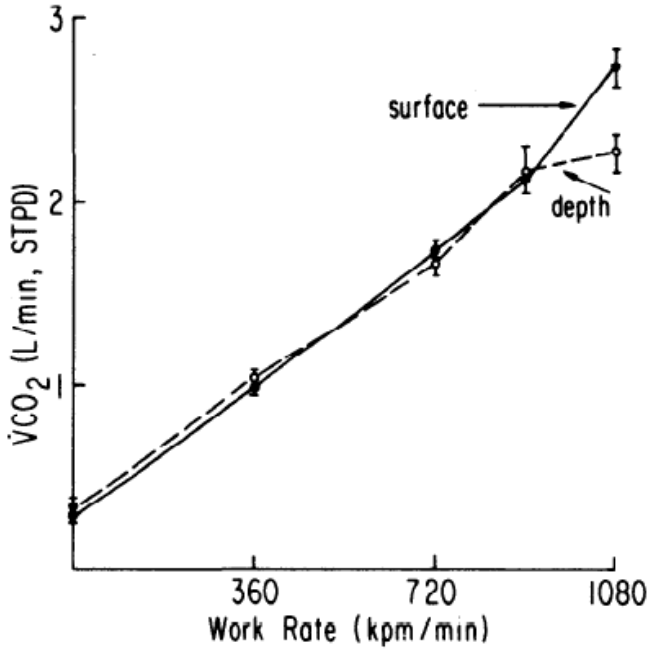
VE, VA, VT selon la profondeur au repos et a l'effort (5 sujets)

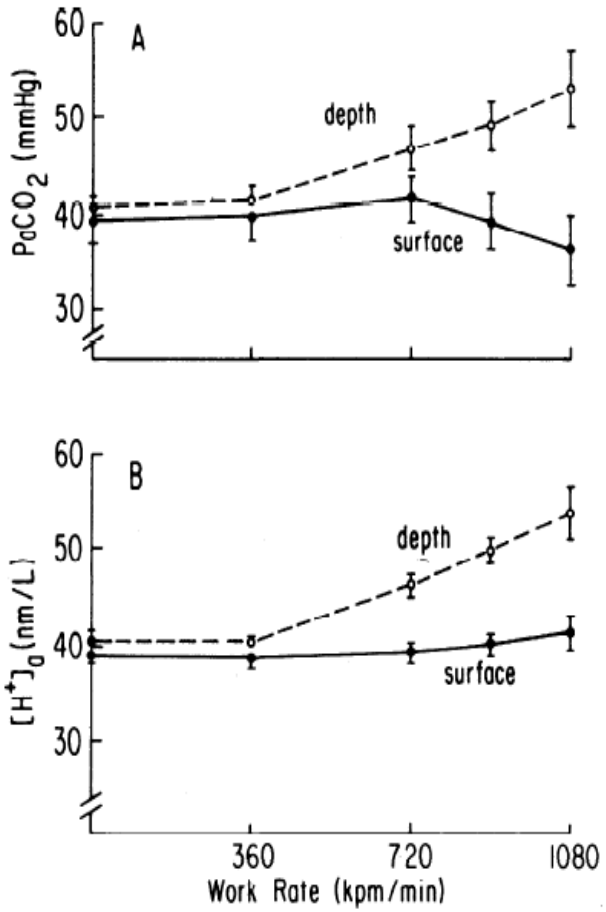




Salzano et al. JAP 1984 57:1055-68

Effet de la profondeur sur la PaCO2

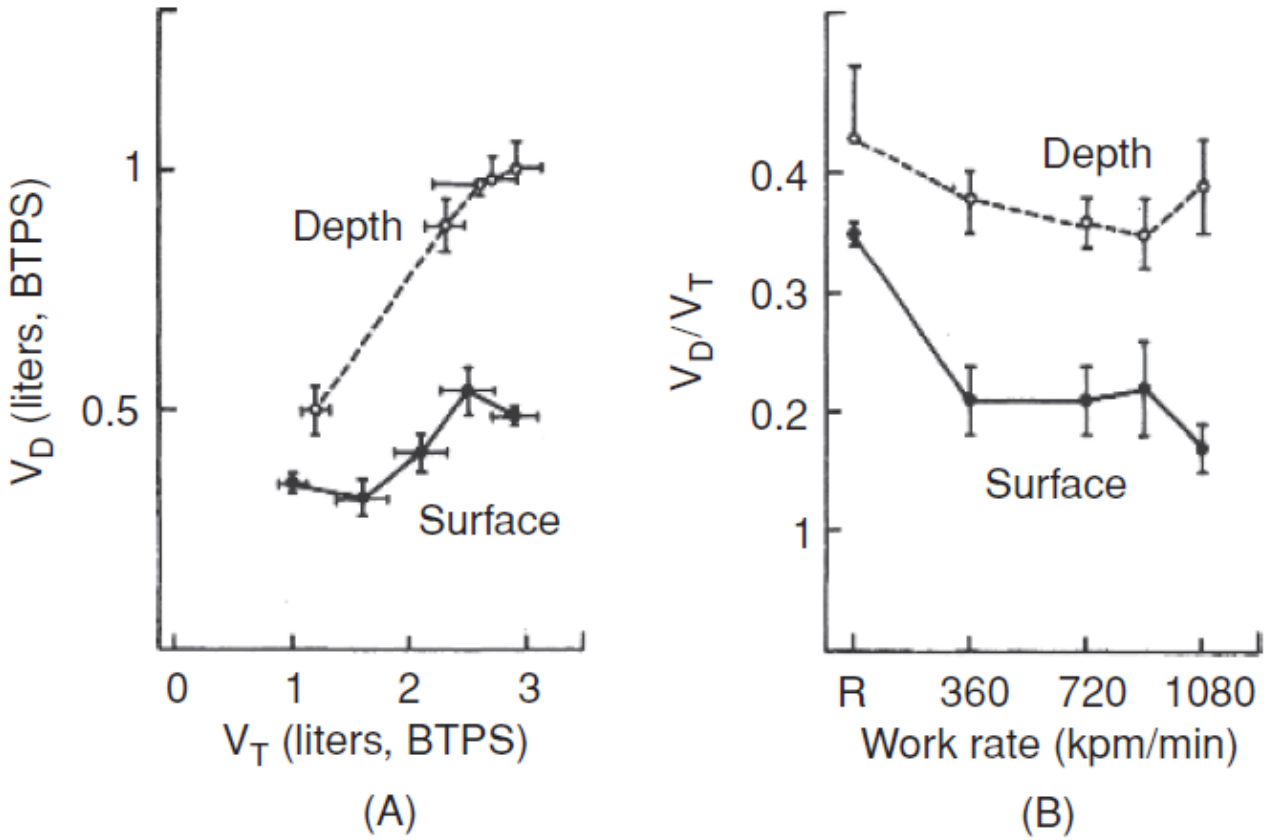




Salzano et al. JAP 1984 57:1055-68

VD/VT selon profondeur

Chambre Hyperbare 47 à 66 ATA – Effort



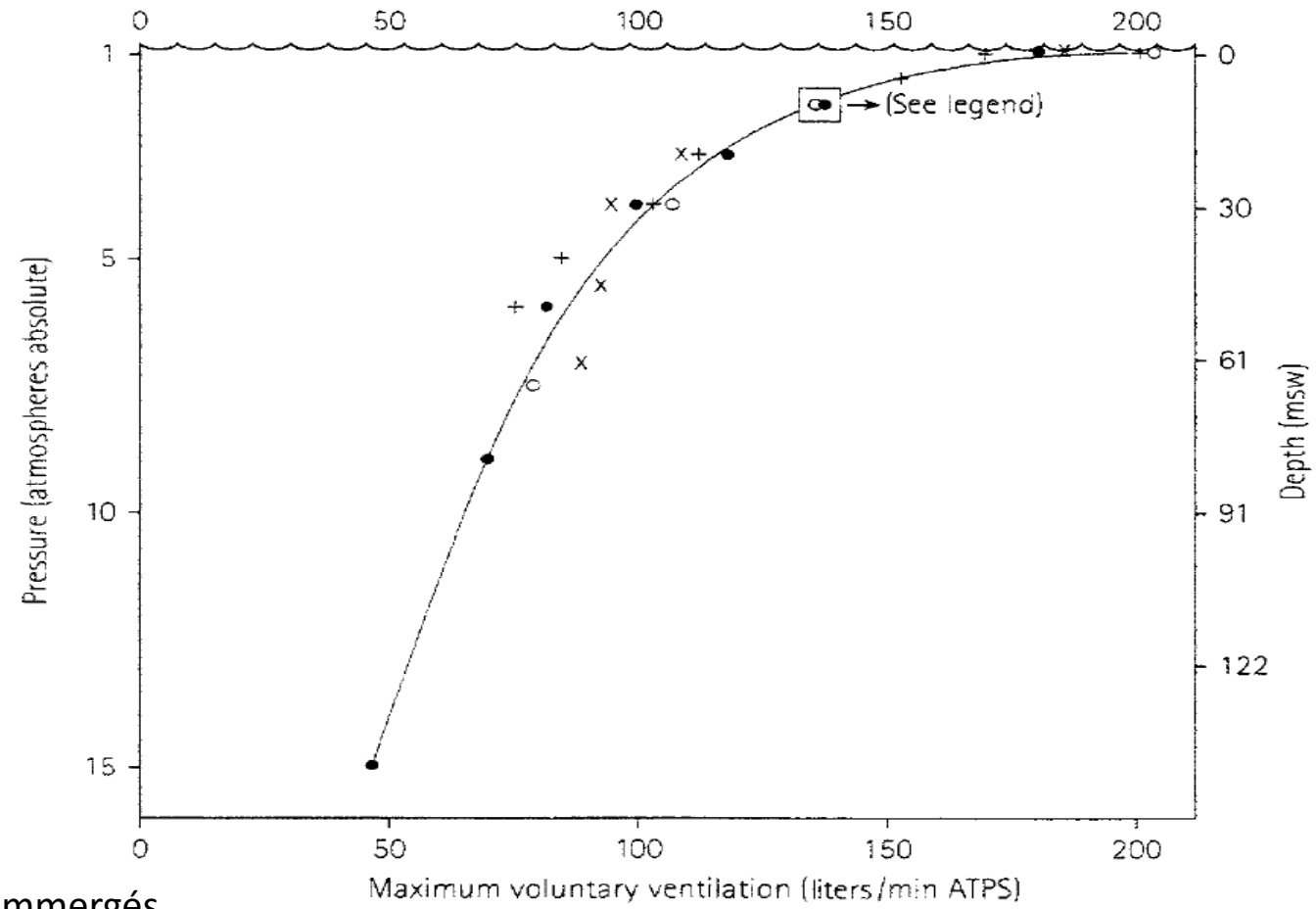
Salzano et al. JAP 1984 57:1055-68

Effets de la pression sur l'espace mort

- VD/VT au repos
  - 35% niveau de la mer
  - 42 % à 47 ATA !!!
- VD/VT effort
  - 20 % au niveau de la mer
  - 40 % à 47 ATA
  - Risque d'hypercapnie en plongée profonde à l'effort
    - 46.7 – 62.2 mmHg

Salzano et al. JAP 1984 57:1055-68

Capacité ventilatoire maximale à l'effort et pression ambiante

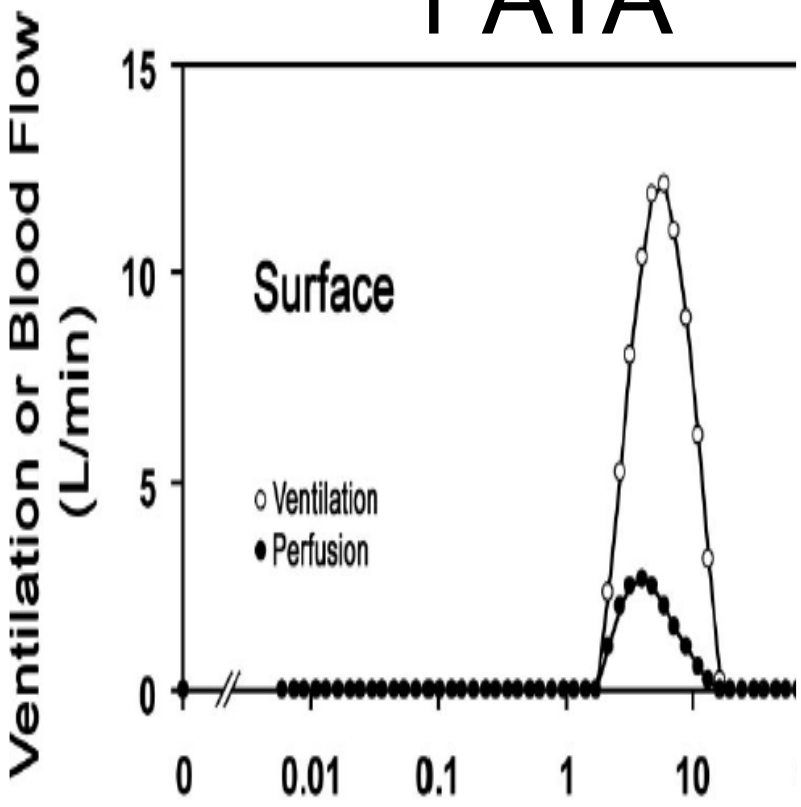


Sujets non immergés

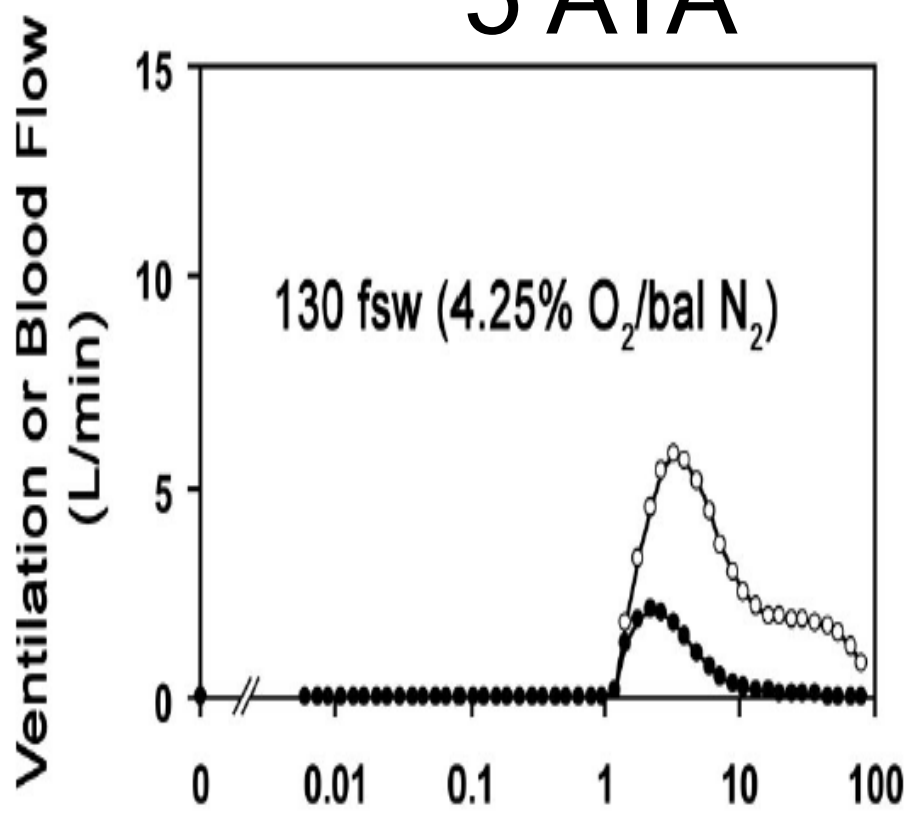
Camporesi EM, Bosco G. 2003 Physiology and Medicine of Diving (5th ed). Saunders p. 77-114

Rapports VA/Q (MIGET)
Exercice 1 ATA vs 5 ATA – Volontaire Sain

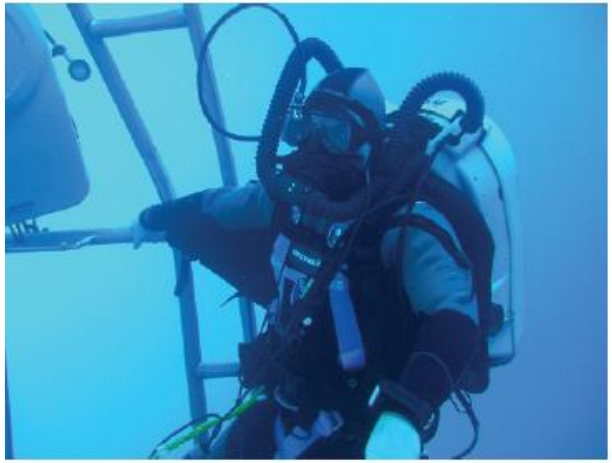
1 ATA



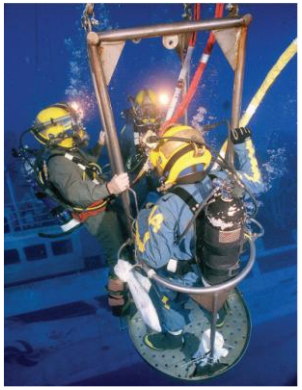
5 ATA



Reventilation de CO2 (Rebreathing) (Circuit fermé)



$$P_{ACO_2} = 863 \times \frac{\dot{V}_{CO_2}}{\dot{V}_A} + P_{ICO_2}$$



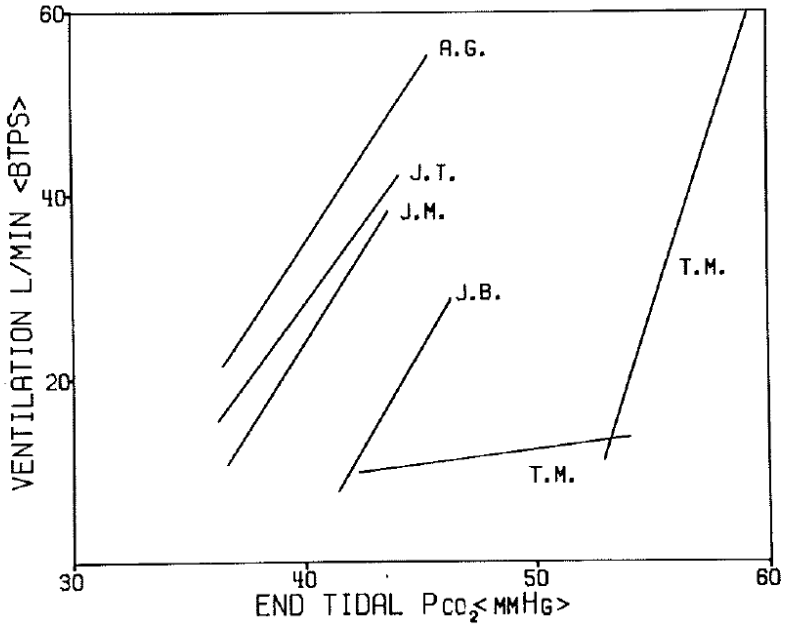
$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3$$
$$H_2CO_3 + 2NaOH \leftrightarrow Na_2CO_3 + 2H_2O + heat$$
$$Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \leftrightarrow CaCO_3 + 2NaOH$$

Possibilité de Faillite du système d'absorption de CO2 (Chaux sodée)
Capacité absorption : 12 à 15 litres de CO2 /100 g
Fonction de

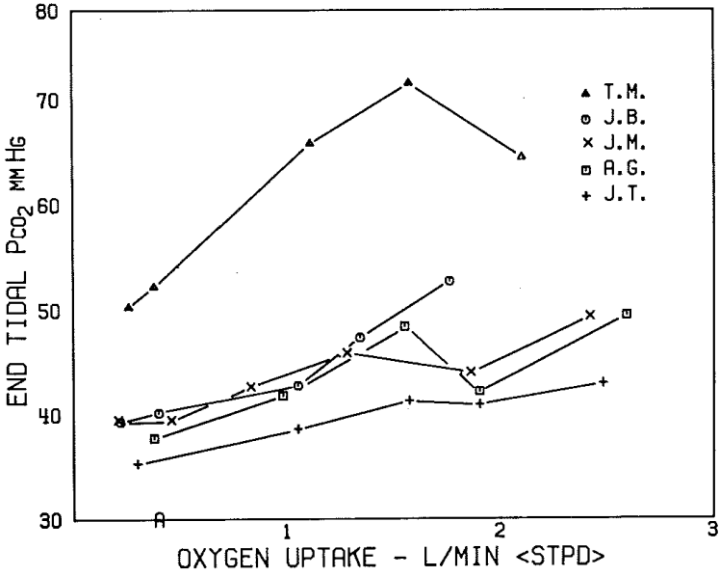
- Température
- Densité du gaz
- Intensité exercice
  - Modéré VCO2 = 1500 mml/min VE = 32,4 litres/min pour PaCO2 40 mmHg (PiCO2= 0)
  - Modéré VCO2 = 1500 mml/min VE = 43,2 litres/min pour PaCO2 40 mmHg (PiCO2= 10)

Variabilité de la réponse au CO2

TM : Céphalées, Anxiété, Dyspnée



1 ATA



4 ATA
Circuit ouvert

Morisson J et al . Underea Biomed Research 1981 ; 8(4): 209-216

Mitchell SJ, Cronjé FJ, Meintjes WAJ, Britz HC.
Fatal respiratory failure during a “technical” rebreather dive at extreme pressure.
Aviat Space Environ Med 2007; 78:81–86.

A diving fatality at the extreme depth of 264 m fresh water is described.

The diver was equipped with an underwater video camera which recorded events leading to his death.

These events corroborated predictions about respiratory complications at extreme pressure made by early researchers. Review of the video and relevant literature resulted in the following physiological interpretation: an increase in respired gas density during descent caused a progressive increase in resistance to flow in both the airways and the breathing circuit. Initially, this was associated with a shift to ventilation at higher lung volumes, a relative degree of hypoventilation, and mild permissive hypercapnia. The promotion of turbulent airway flow by increasing gas density resulted in effort-independent expiratory flow at lower flow rates than usual. The consequent inability to match ventilation to the demands of physical work at the bottom precipitated a spiraling crisis of dyspnea, increasing PaCO2, and wasted respiratory effort, thus producing more CO2. Extreme hypercapnia eventually led to unconsciousness.

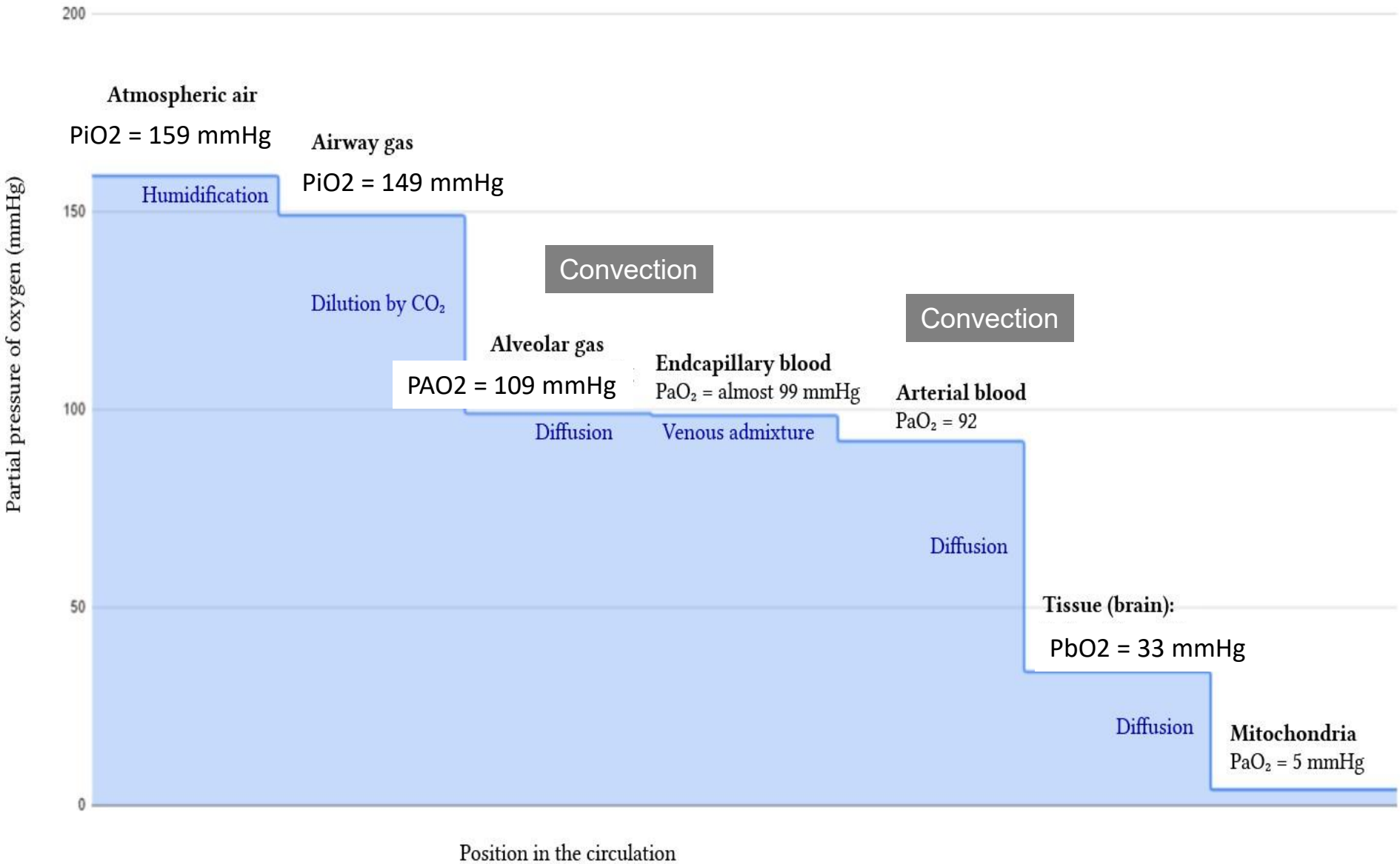
This tragic case provides a timely and salient lesson to a growing population of deep “technical” divers that there are physiological limitations that must be understood and considered when planning extreme dives.

CO_2 et Hyperbarie

- Rétention de CO_2 possible en plongée
  - Augmentation espace mort
  - Difficulté à augmenter VMM : Effort ++
  - Appareillage
- Risques
  - Variables (notion de CO_2 retainers - Réponse au CO_2)
  - Narcose, Noyade
  - Dyspnée
  - Augmentation de la toxicité cérébrale de l'O_2

2.4 EFFETS DE L'AUGMENTATION DE LA PRESSION AMBIANTE SUR L'O2

Cascade de l'oxygène



Equation des gaz alvéolaires

FiO2 air ambiant

PaCO2

$$P_AO_2 = (FiO_2 \times (P_{atmos} - P_{H2O})) - \left(\frac{PaCO_2}{RespQ}\right)$$

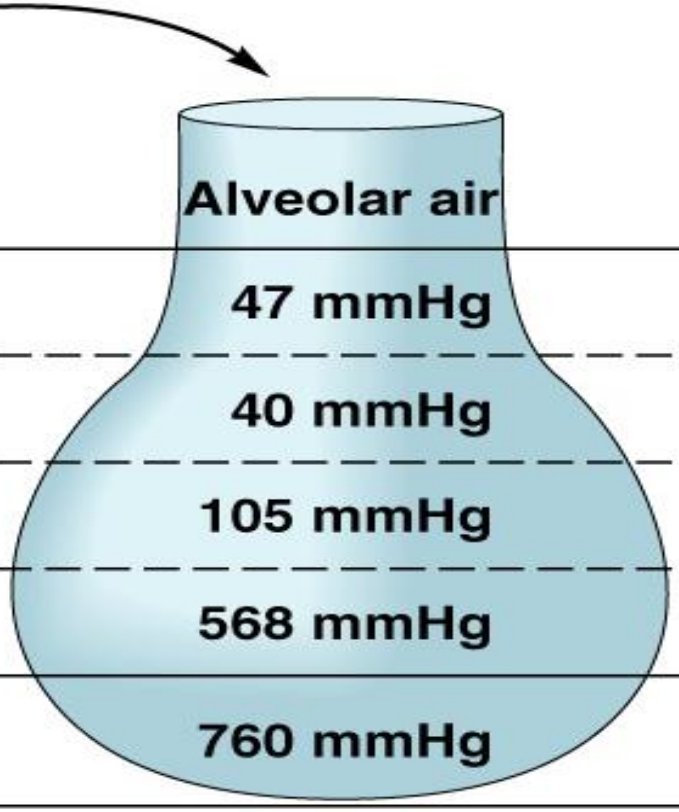
Pression partielle O2 alvéole PAO2

Quotient respiratoire : 0,8

Pression atmosphérique niveau mer (760 mmHg)

Pression de vapeur d'H20 (47 mmHg à 37 °C)

Pression partielle des gaz dans l'air inspiré et l'air alvéolaire

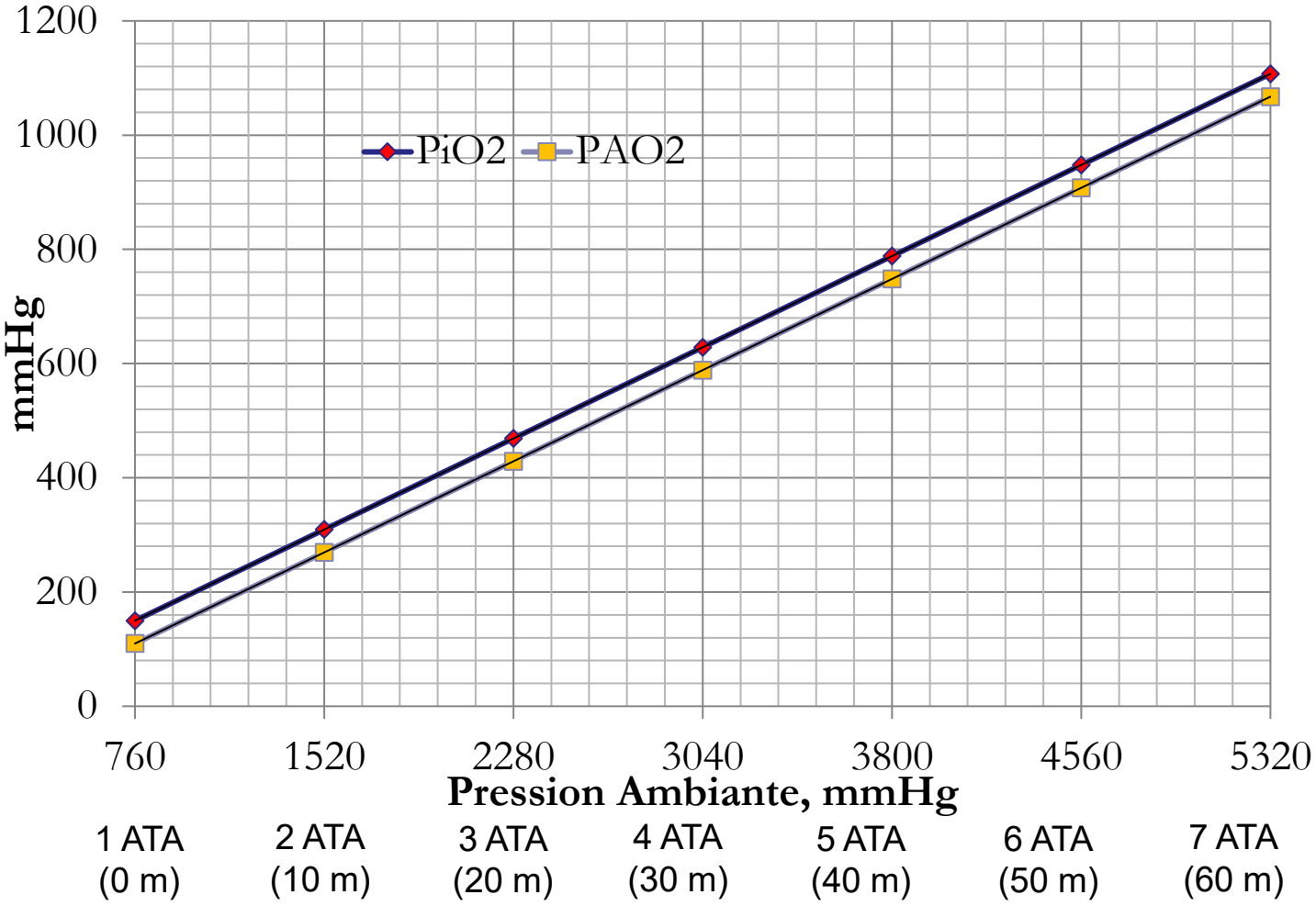


	Inspired air	Alveolar air
H_2O	Variable	47 mmHg
CO_2	000.3 mmHg	40 mmHg
O_2	159 mmHg	105 mmHg
N_2	601 mmHg	568 mmHg
Total pressure	760 mmHg	760 mmHg

Patm = Pgaz1+Pgaz2+…+Pgazn (Loi de Dalton)

FiGazx = Pgazx/Ptot

PAO2 et PiO2 selon la pression ambiante (Ventilation avec de l'air – FiO2 0.21)



Pression et valeur PO2 à différentes profondeurs

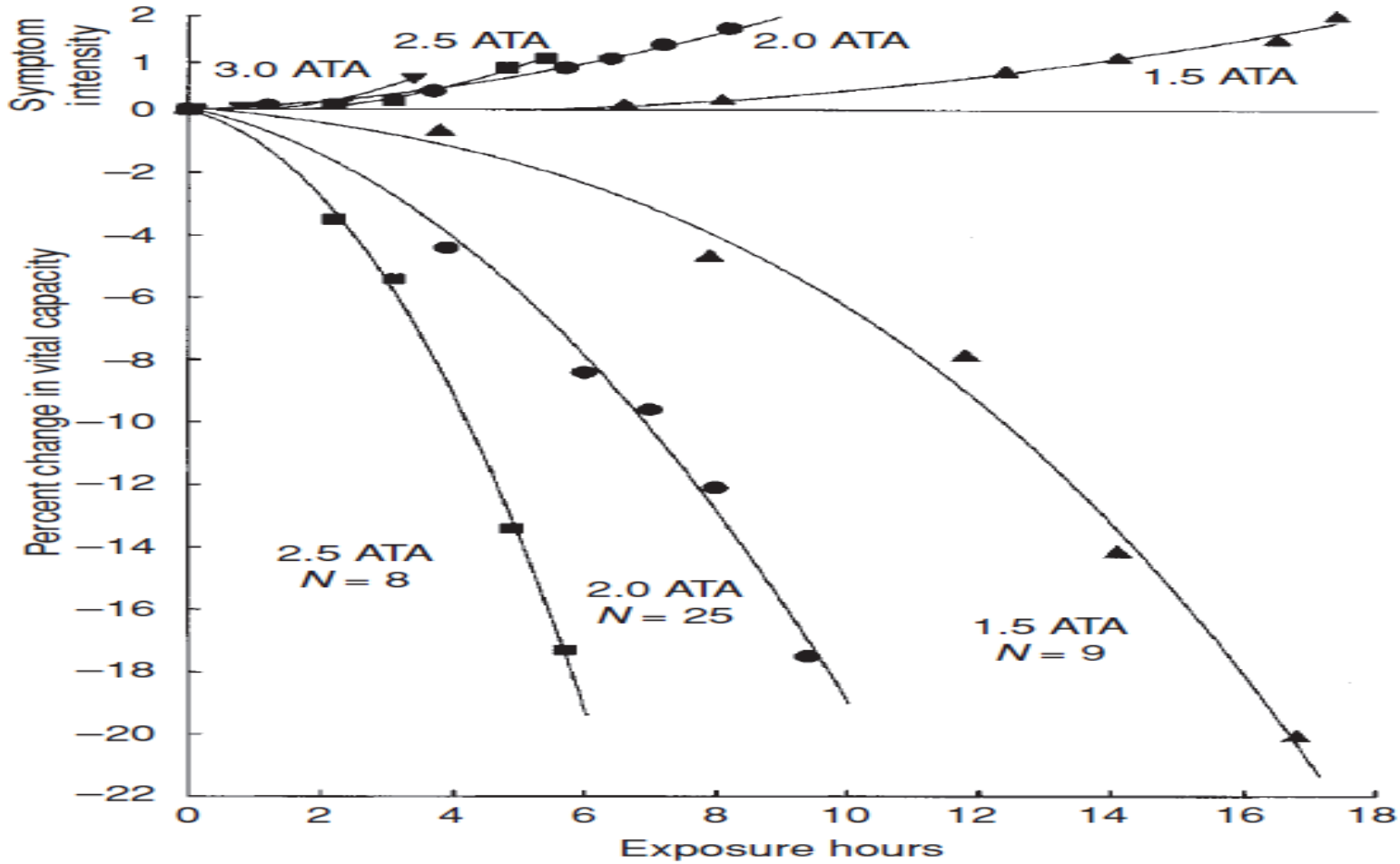
Profondeur (mètres)	Pression (ATA-mmHg)	PiO2 (mmHg)	PAO2 (mmHg)	%O2 pour PIO2 = PiO2 à 1 ATA
0	1 – 760	159	104	20,9
10	2-1520	309	264	10,1
20	3-2280	467	422	6,69
50	6-4560	945	900	3,31
100	11-8360			1,8
200	21-15960			0,94
500	51-38760			0,39
1000	101-76760	Cachalot ?		0,20
2000	201-152760			0,098
2500	251-190760			0,078

Risque Hyperoxie

- Toxicité O2
  - Faible si PIO2 < 1,3 atm (6 ATA x 0,21)
  - Danger au-delà de 40 m si plongée air
  - PIO2 et durée de l'exposition
  - Plongeur à saturation 0,3 à 0,5 atm

- HBOT : 2 à 2,4 ATA 1-2 H

Effets de l'exposition prolongée à l'O2



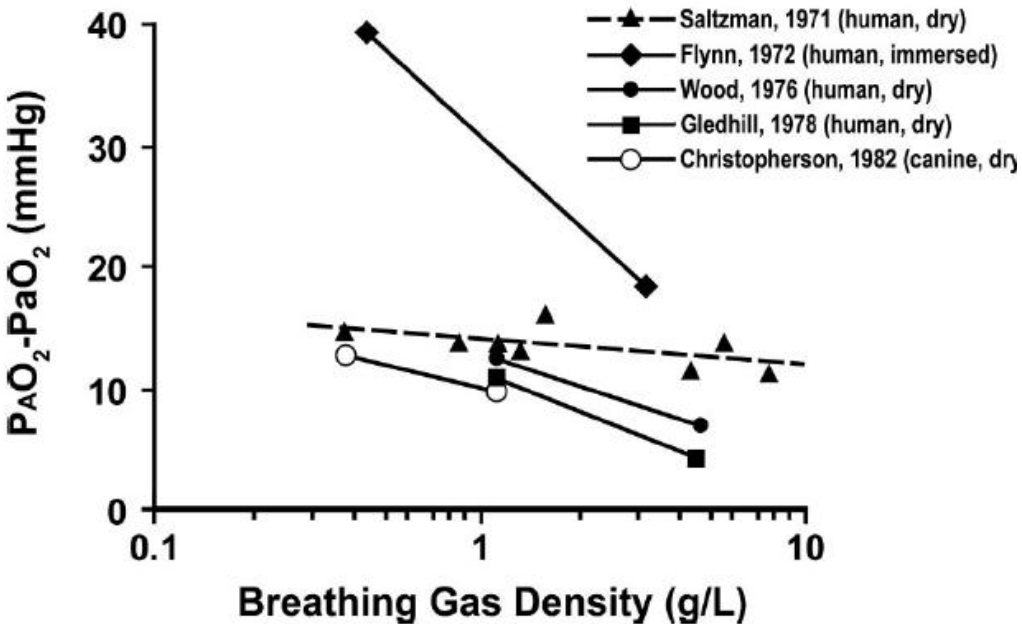
Clark JM et al. JAP 1999;86:243-59

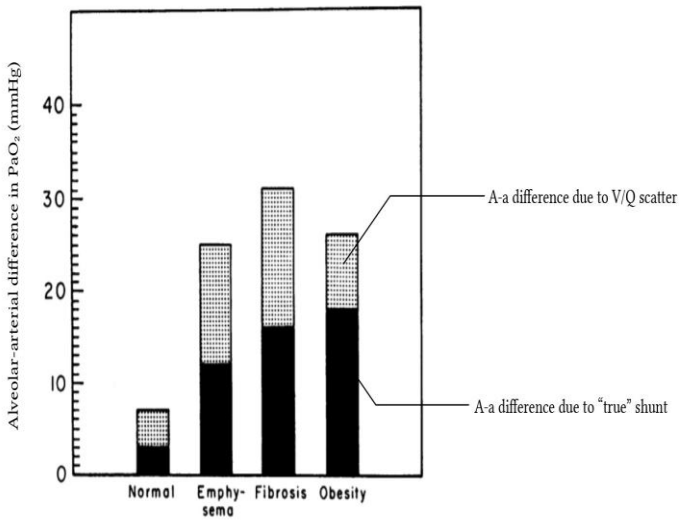
Pression et valeur PN2 à différentes profondeurs (Ventilation en Air – FiN2 = 0.79)

Profondeur (mètres)	Pression (ATA-mmHg)	PiN2 (mmHg)	PAN2 (mmHg)
0	1 - 760	601	568
10	2-1520	1200	1120
20	3-2280	1800	1600
50	6-4560	3600	3200
100	11-8360		
200	21-15960	Anesthésie	Chirurgicale
500	51-38760		
1000	101-76760		
2000	201-152760		
2500	251-190760		

Narcose

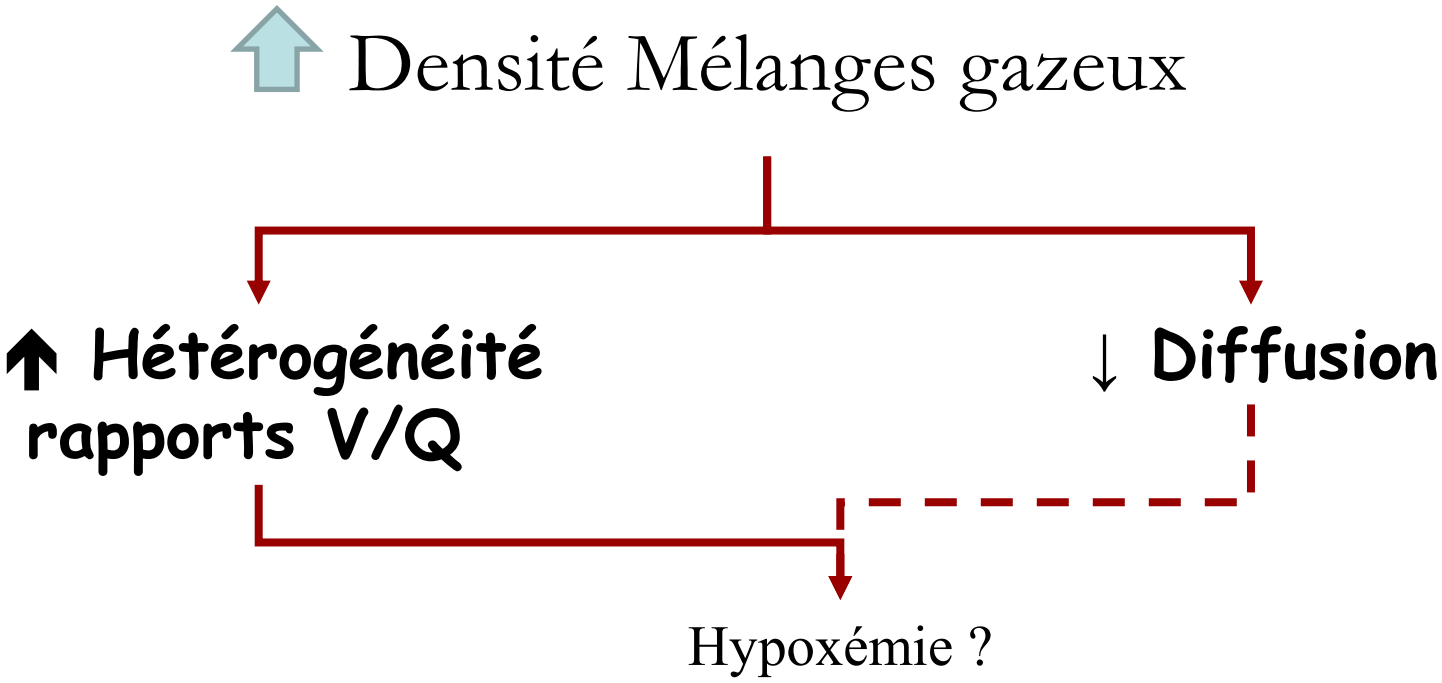
PAO2 – PaO2 selon la densité





Moon R et al. JAP 2009 ;106: 668-677

ECHANGES GAZEUX

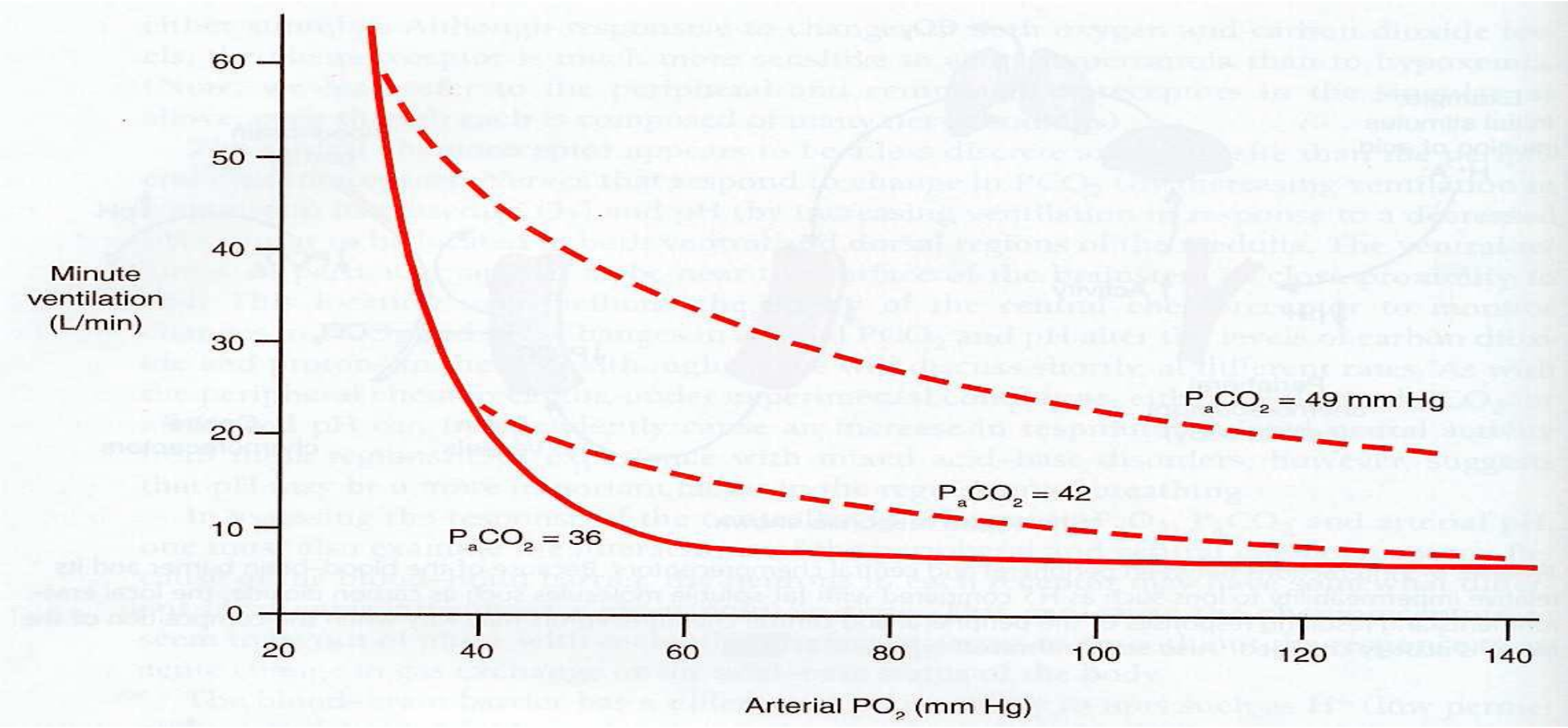


Wood et al. JAP 1976 41(2):206-9

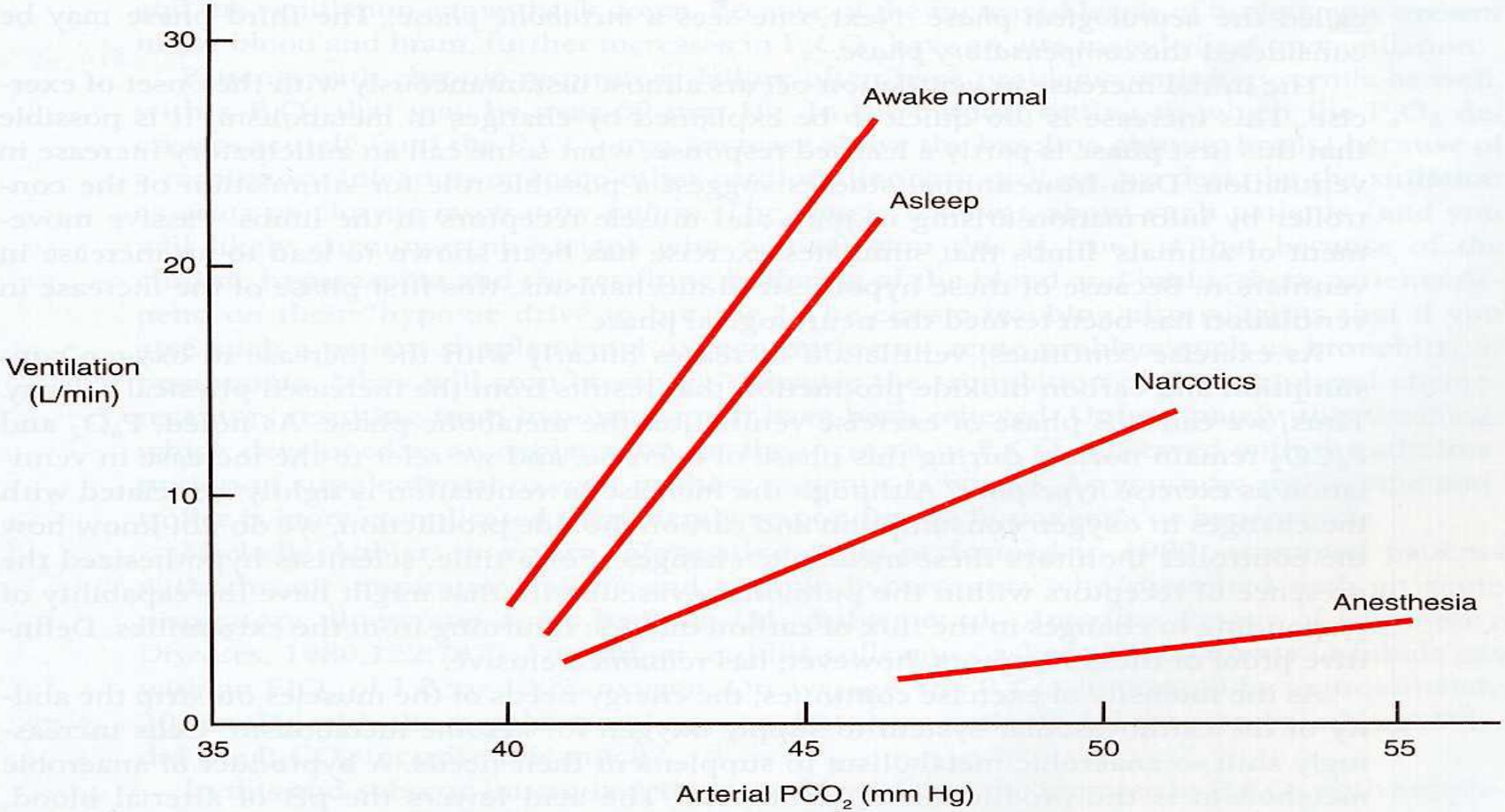
Type d’activité de plongée et effets respiratoires Apnée

- Temps limité : 60-70 sec (en moyenne)
- Dépend
  - Volume pulmonaire
  - PAO2
  - PACO2
  - Phénomènes adaptatifs (entrainement)

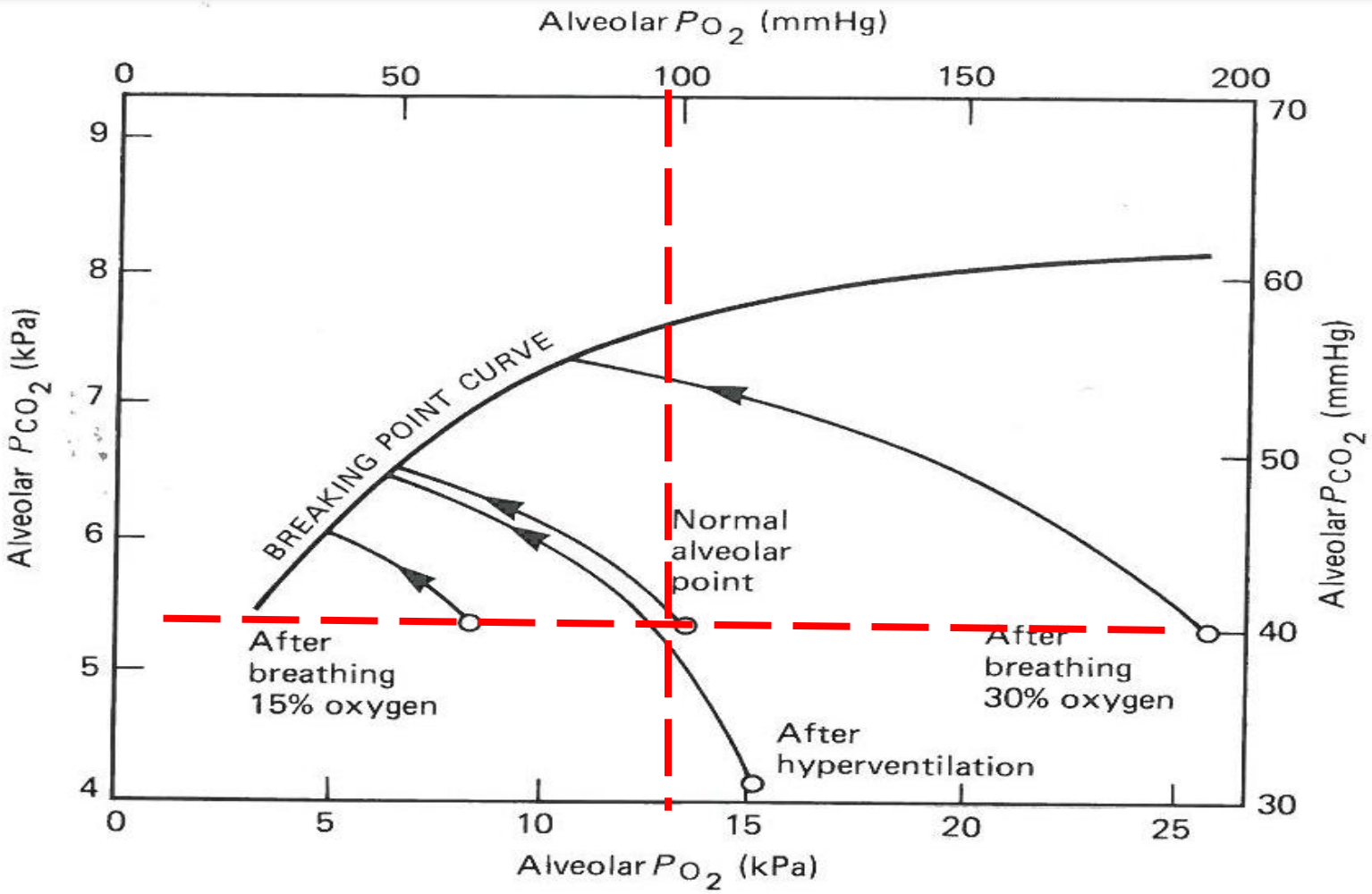
Réponse à l'hypoxie



Réponse à l'hypercapnie



Le point de rupture en apnée (breaking point)



Type d'activité de plongée et effets respiratoires
Apnée et PAO2

- PAO2 double tous les 8-10 m à la descente
- Risque de syncope hypoxique à la remontée
- Transfert de gaz du sang vers l'alvéole si PAO2 < PvO2

Adaptation chez les mammifères marins

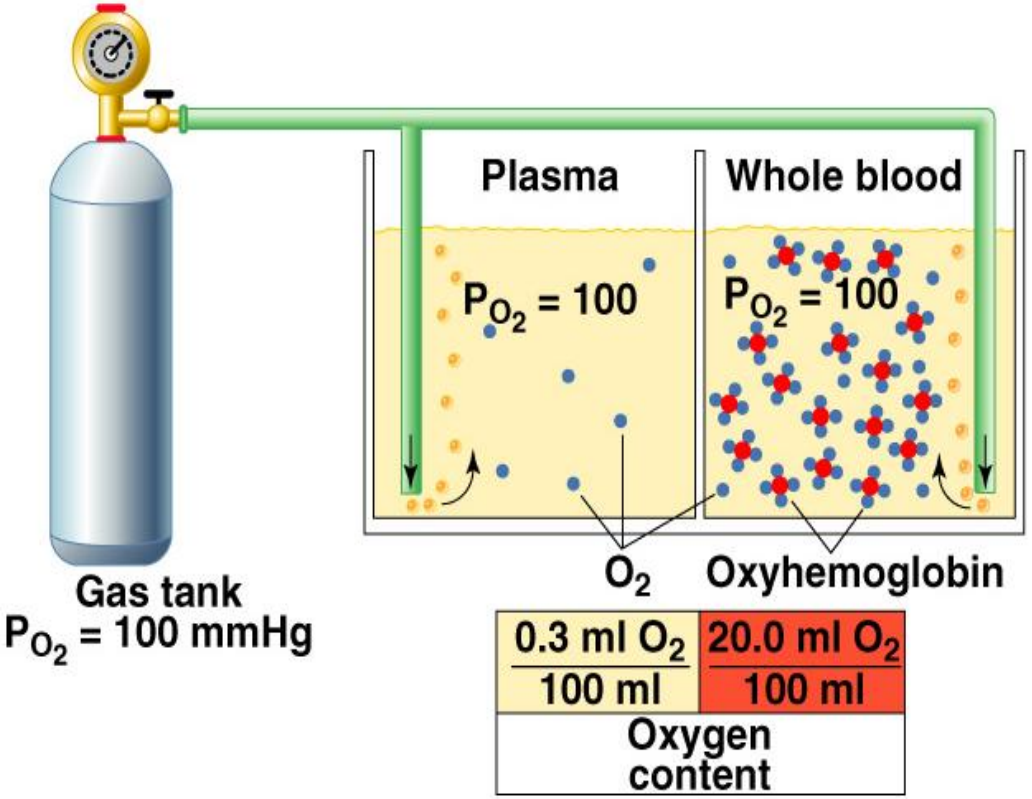
- Profondeurs
  - 1000 m (Grand cachalot)
  - 100 -150 m (Phoque de Weddell) – plusieurs minutes
- Phoque (weddell seal)
  - Collapsus pulmonaire complet dès 25-50 mètres
  - Utilisation de la rate comme réservoir de sang (10 % de la masse corporelle)
  - Hb : 25 g/l
  - Préservation de la circulation cérébrale et cardiaque
  - Acidose lactique extrême

Zapol et al. Diving adaptations of the Wedell Seal. Sci Am 1987;256:80-5

3. EFFETS DE L’AUGMENTATION DE LA PRESSION AMBIANTE SUR LE TRANSPORT DES GAZ

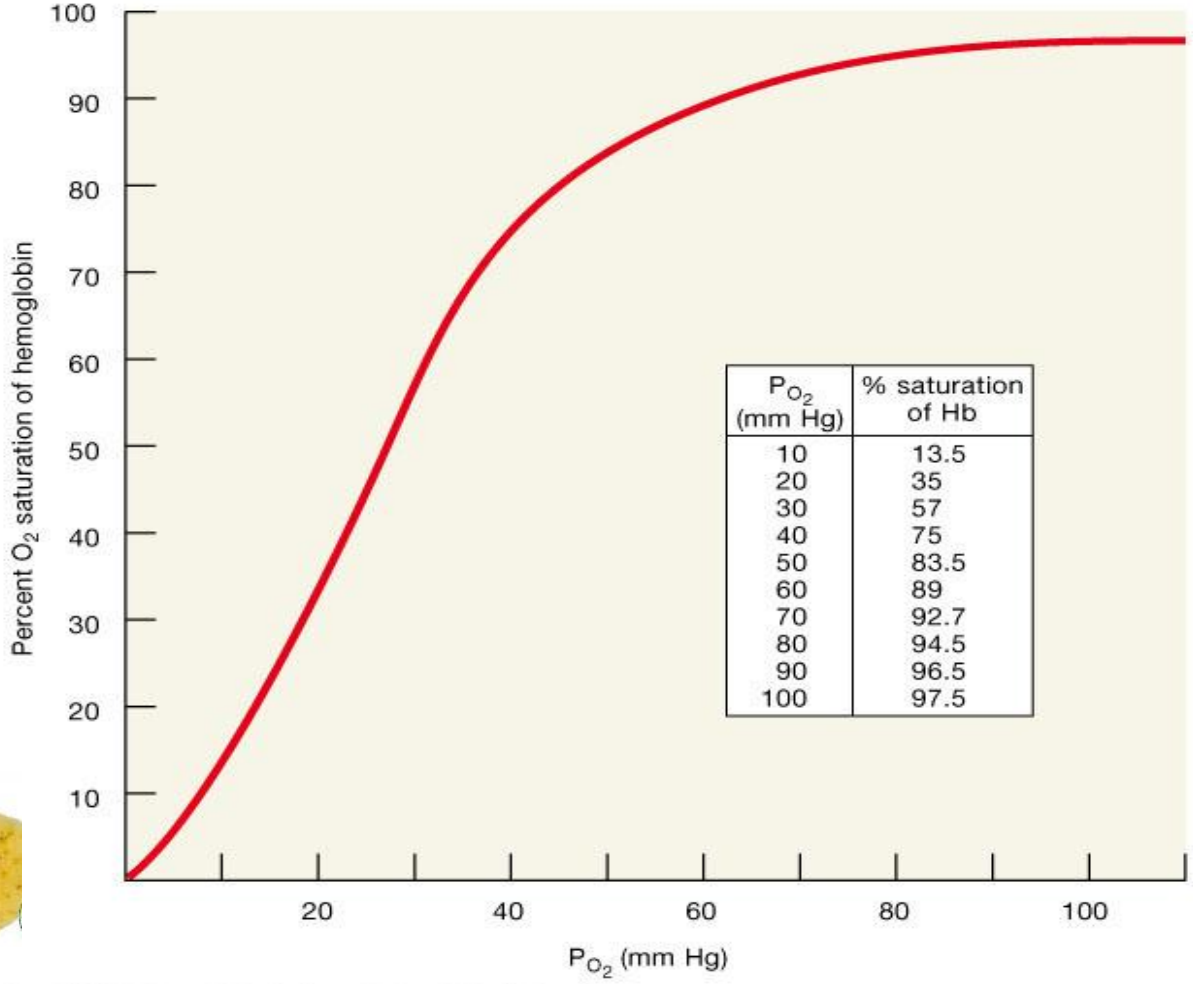
Hémoglobine et transport 0_2

- 280 millions molécules hemoglobine/GR.
- 4 polypeptides et 4 hèmes.
- 1 O2 / Hème.
- Fixation réversible de l'O2
- Transport O2 influencé par
  - temperature
  - pH
  - Po_2
  - Pco_2
  - 2,3-DPG
  - Pression



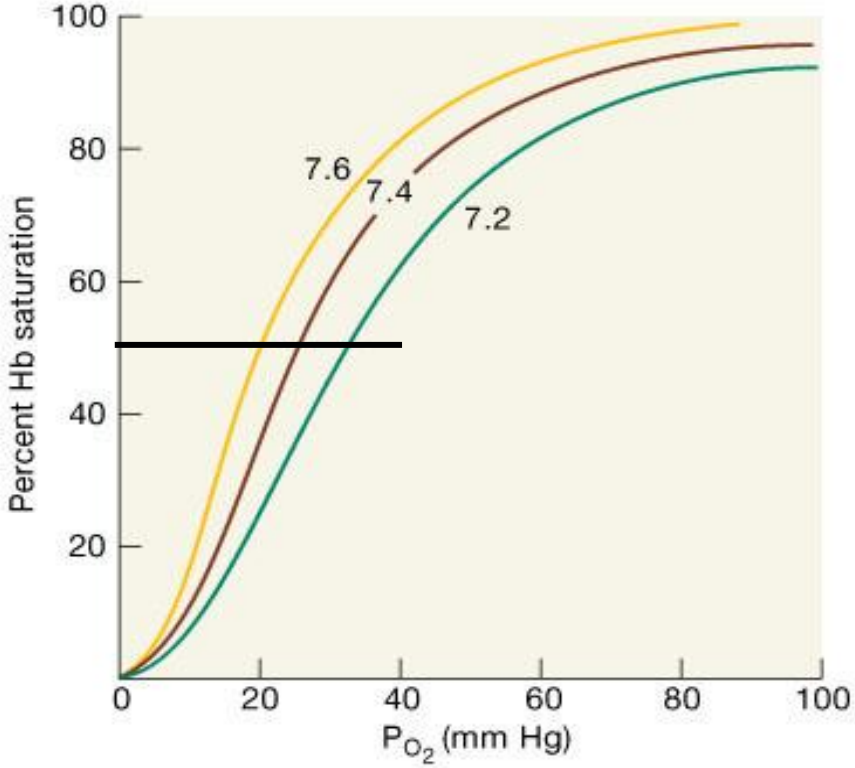
$$CaO2 = (Hbx1{,}34xSaO2) + (PaO2x0{,}003)$$

Courbe de saturation de l'Hb

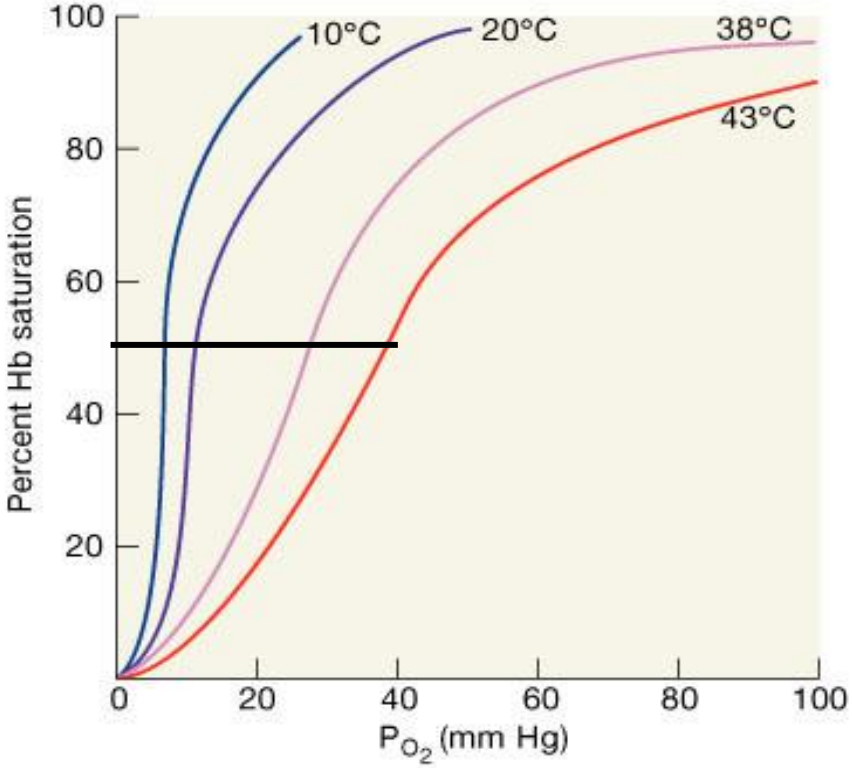


P_{O_2} (mm Hg)	% saturation of Hb
10	13.5
20	35
30	57
40	75
50	83.5
60	89
70	92.7
80	94.5
90	96.5
100	97.5

Effet du pH et de la température sur l'Hb

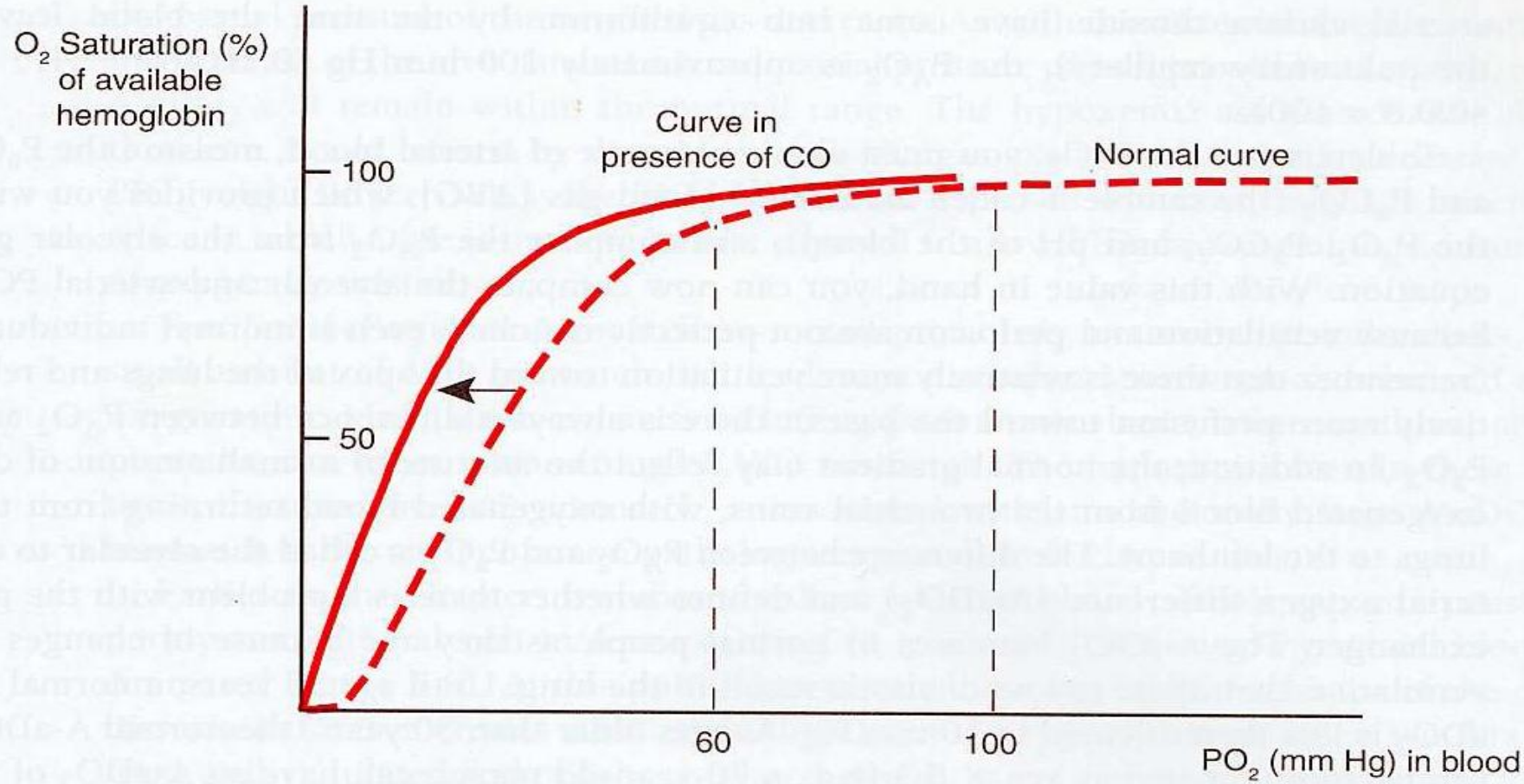


(a) Effect of pH

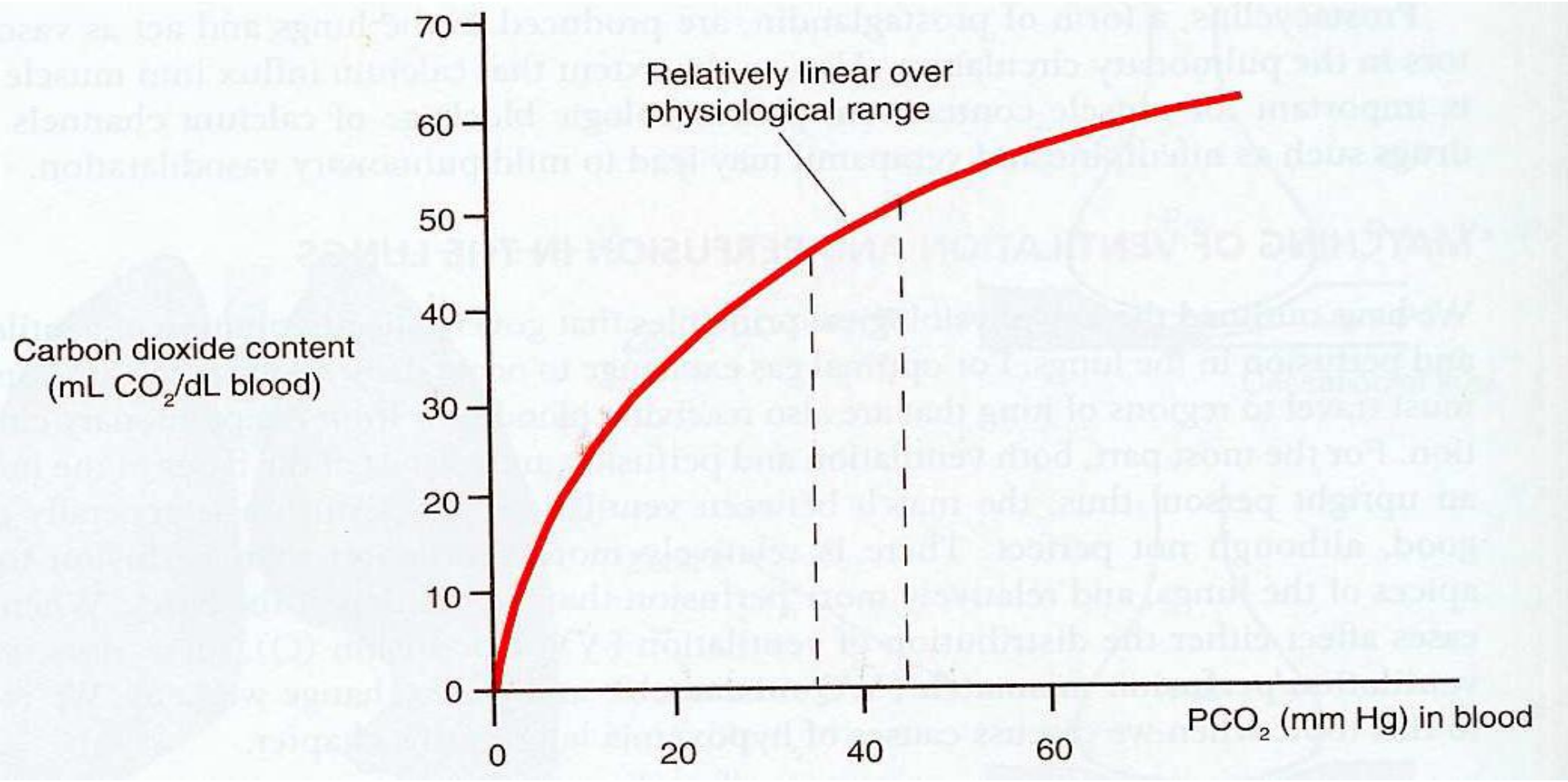


(b) Effect of temperature

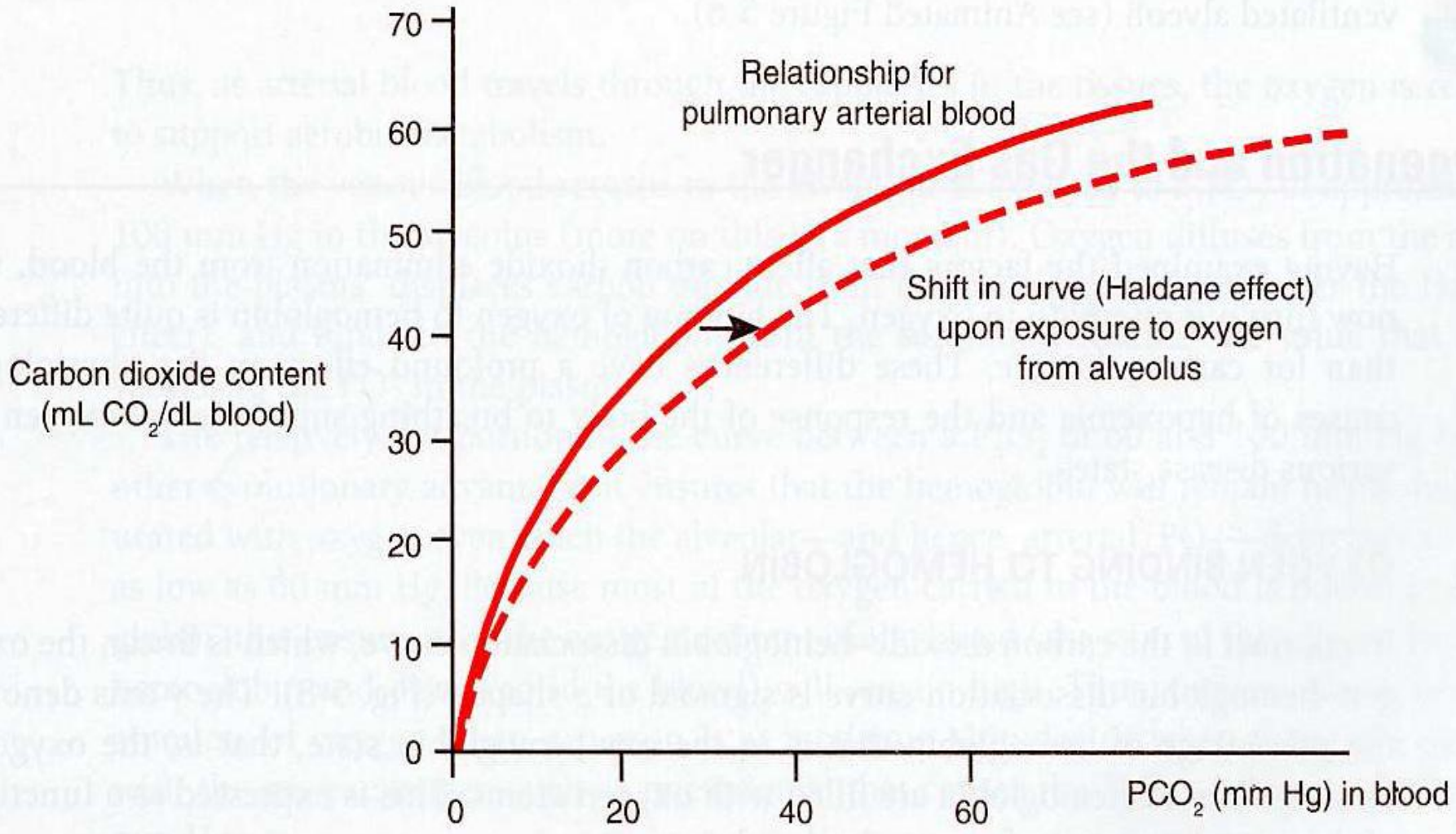
Hb et CO


O_2 Saturation (%) of available hemoglobin
100
50
Curve in presence of CO
Normal curve
60
100
PO_2 (mm Hg) in blood

Courbe de dissociation du CO2



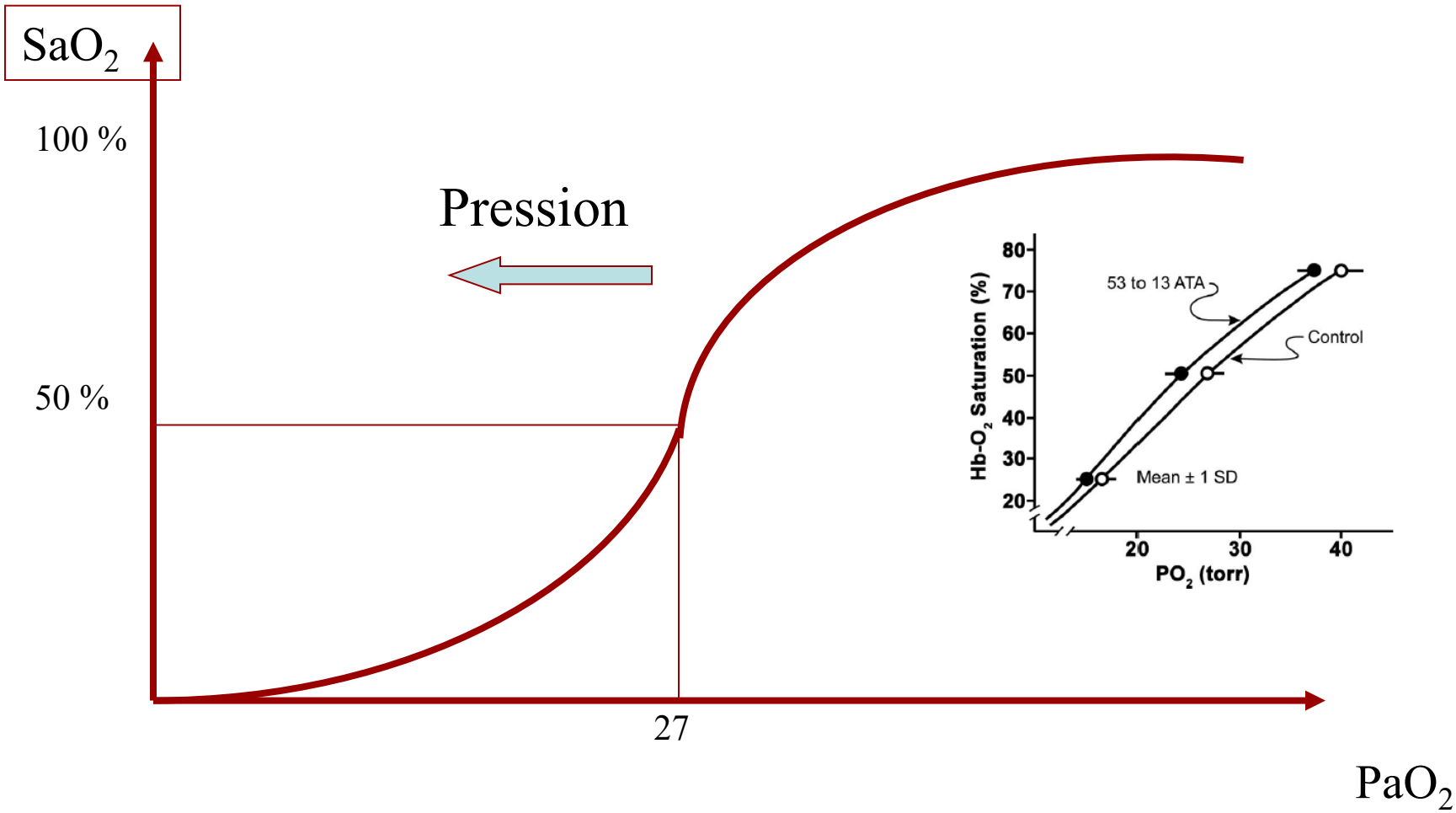
Courbe de dissociation du CO2
Effet Haldane



Effets de la Pression sur P50 et 2.3 DPG

	P50	2.3 DPG
Avant plongée	25.4	0.23
46 ATA		
1er jour	18.4	1.73
2ème jour	16.4	1.16
7ème jour	14.7	3.82
Retour		
2ème jour	26	0.27
7ème jour	26	

Affinité de l ’hémoglobine et pression



Stolp et al. Proceedings of the Undersea Med Soc 1984 ; 315-326

PaCO2 - Transport du CO_2 dans le sang
Effet de la pression

↑ affinité de l 'Hb pour l 'O_2

⇨ (Effet Haldane)

↓ production de bicarbonates
(↓ anhydrase carbonique)

↓

Augmentation du CO2 dissous

↓

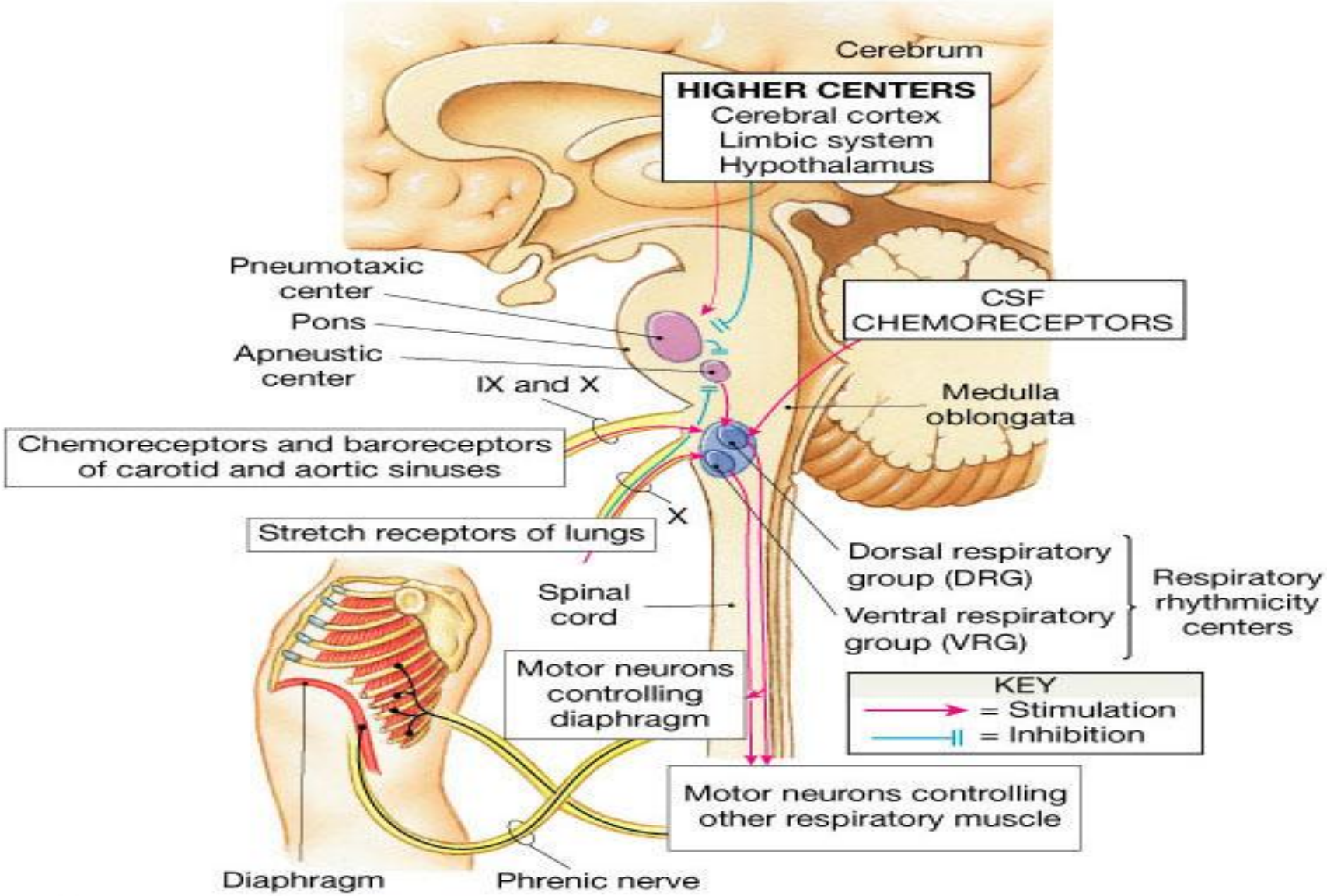
Constitution de noyaux gazeux

↓

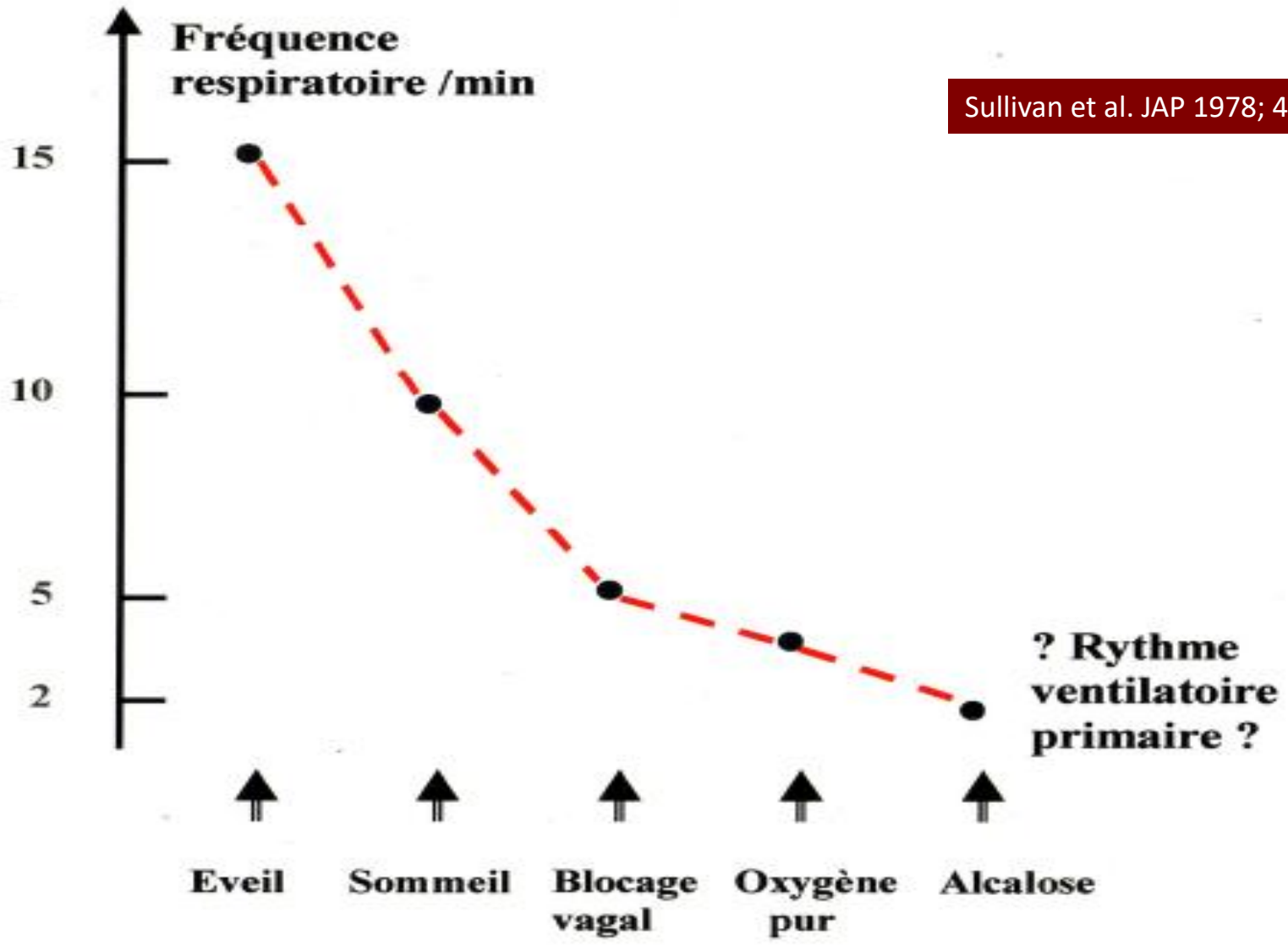
Formation de bulles

4. EFFETS DE L’AUGMENTATION DE LA PRESSION AMBIANTE SUR LA COMMANDE VENTILATOIRE

Centres respiratoires
Contrôle automatique de la respiration

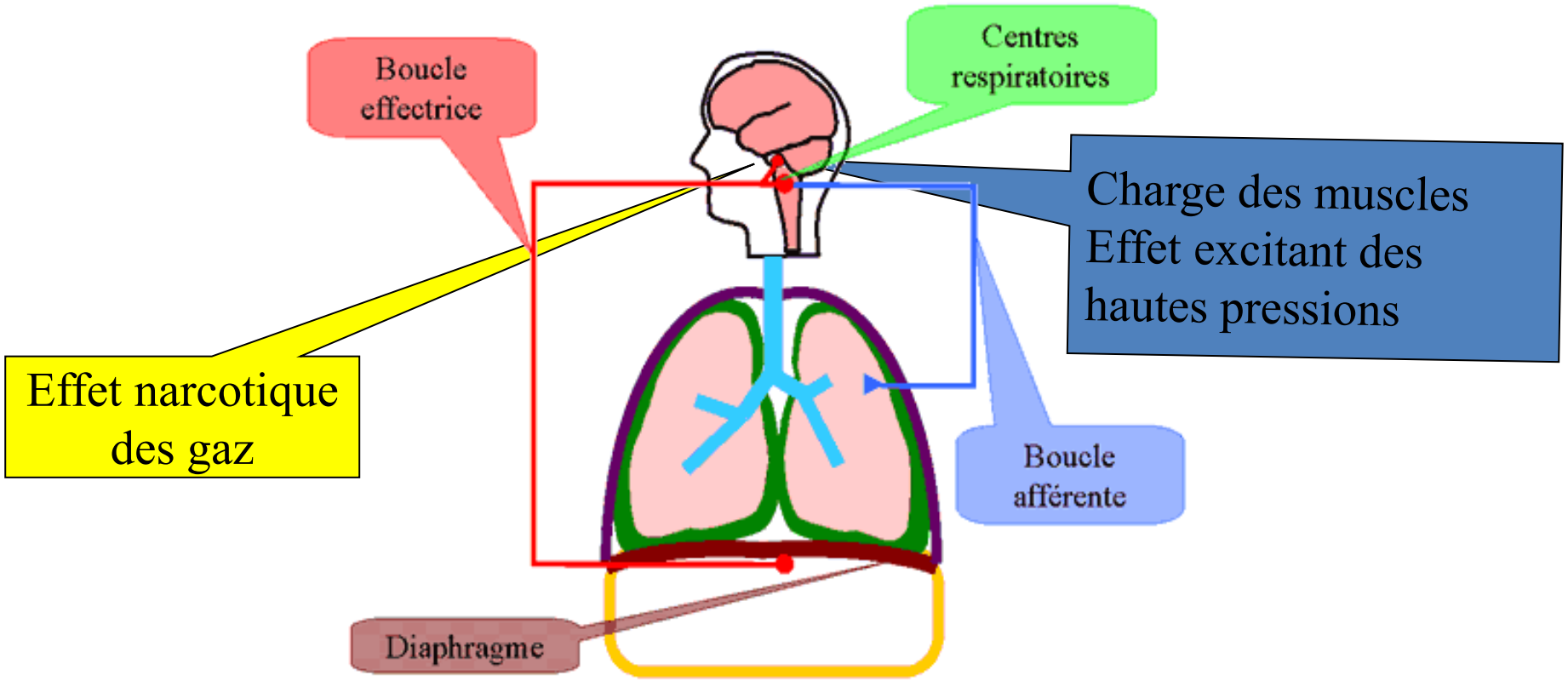


Rôle des afférences dans le contrôle ventilatoire

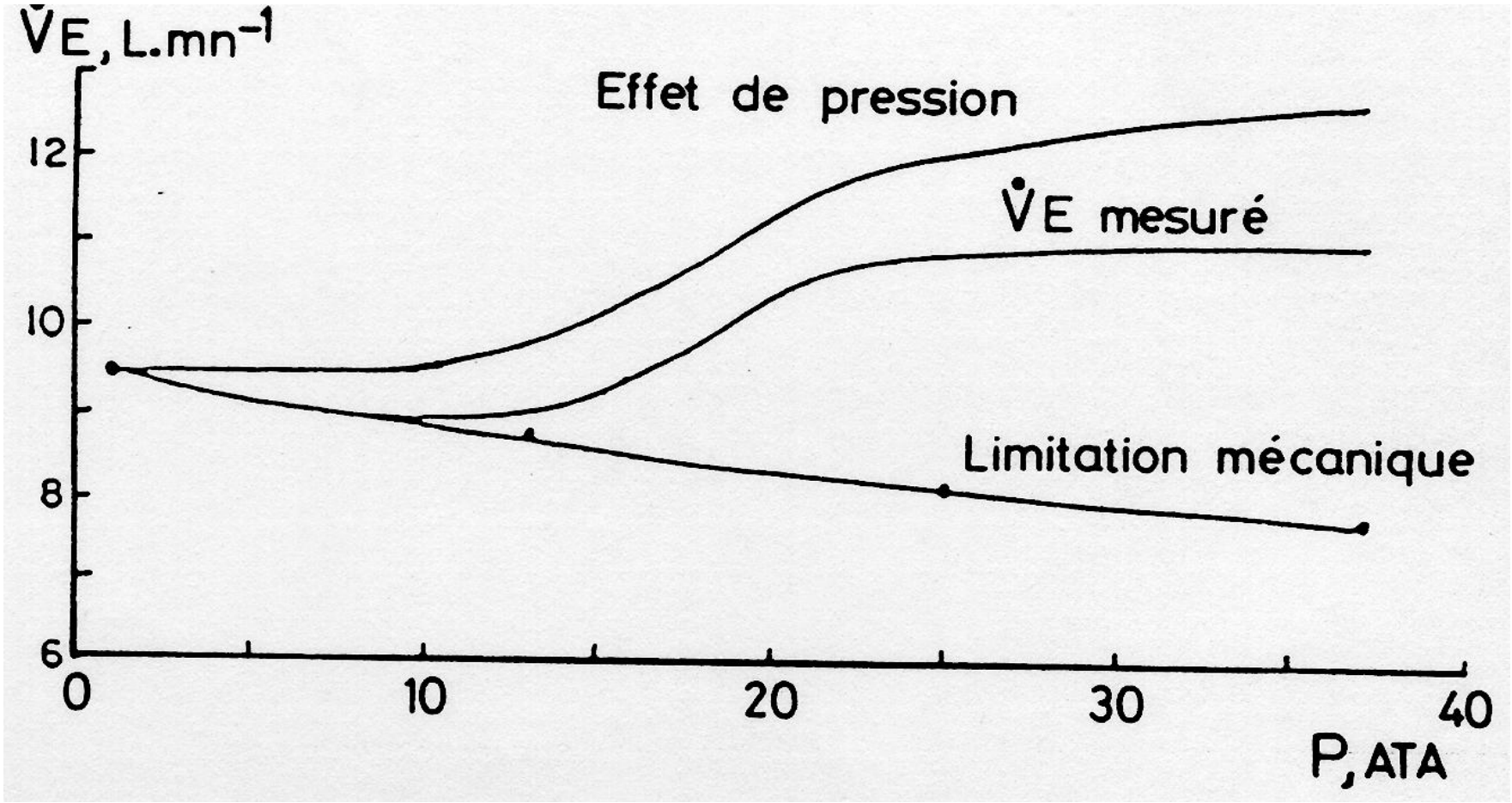


Sullivan et al. JAP 1978; 45:11-17

Effet sur la commande centrale



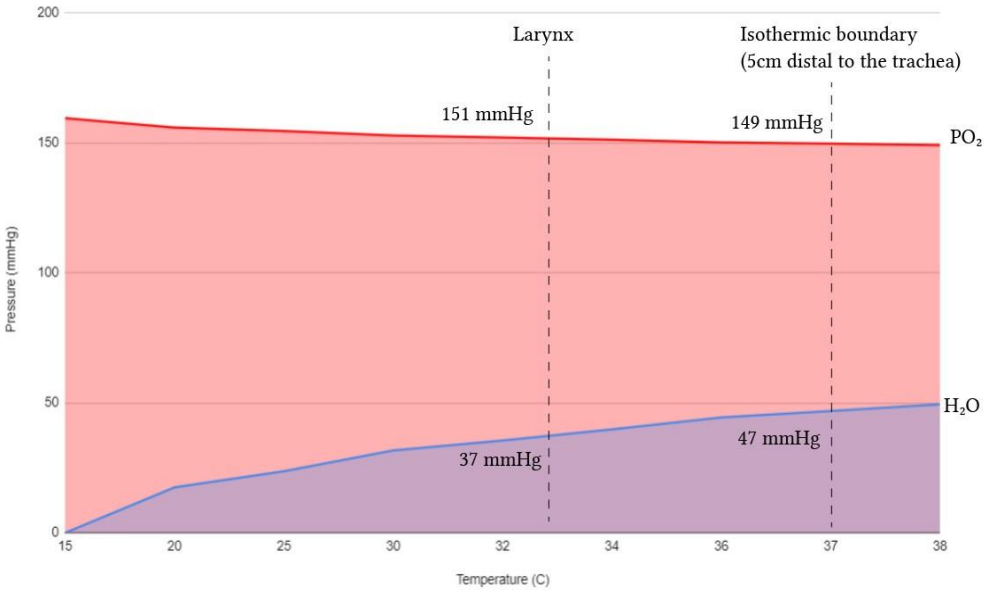
Effets de hautes pression de He-O2 sur la ventilation de repos



5. EFFETS DE L’AUGMENTATION DE LA PRESSION AMBIANTE SUR LES ECHANGES THERMIQUES VENTILATOIRES

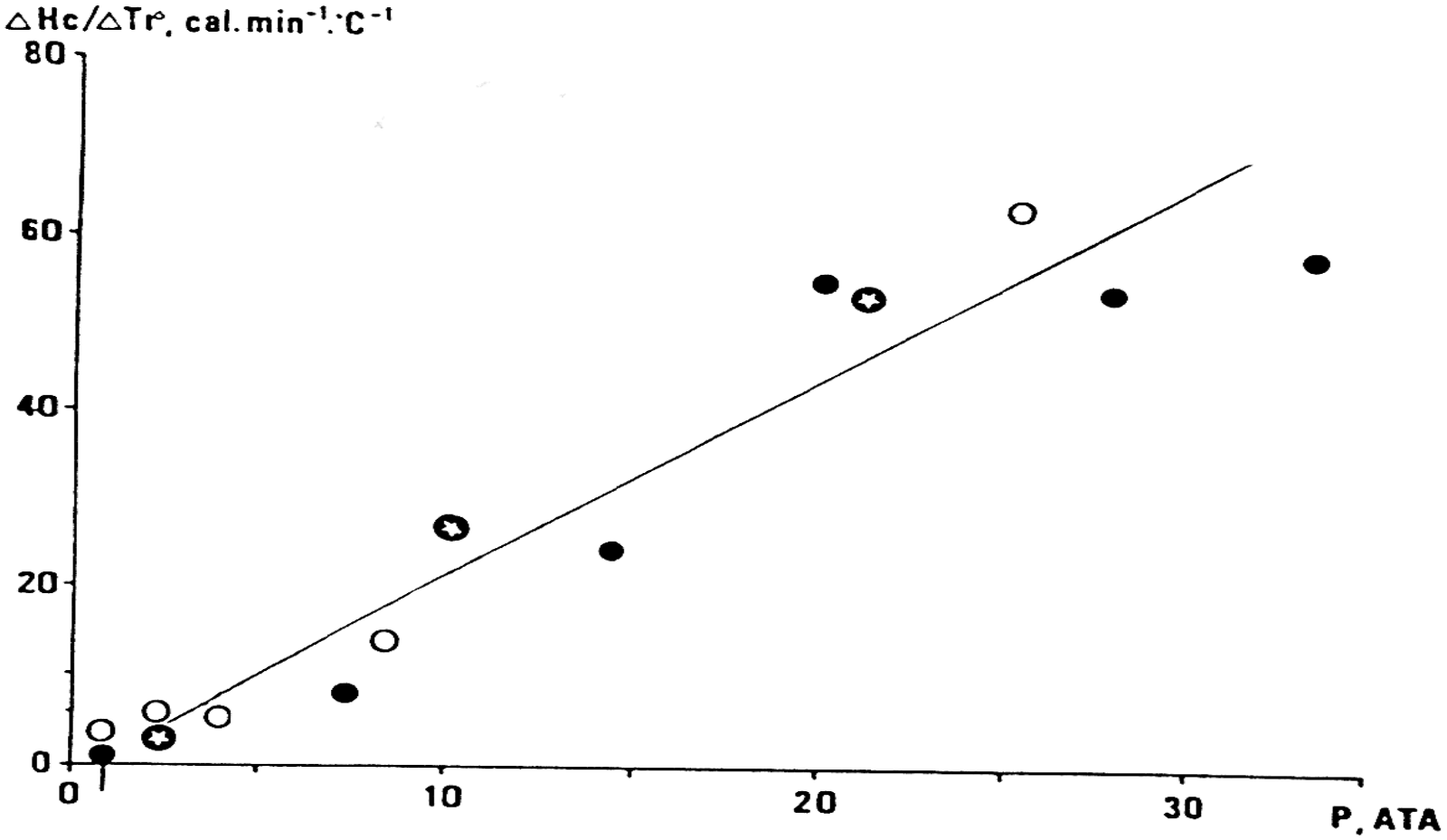
Température et humidification des gaz en normobarie

- Gaz alvéolaire
  - Température corporelle
  - Humidifié à 100%



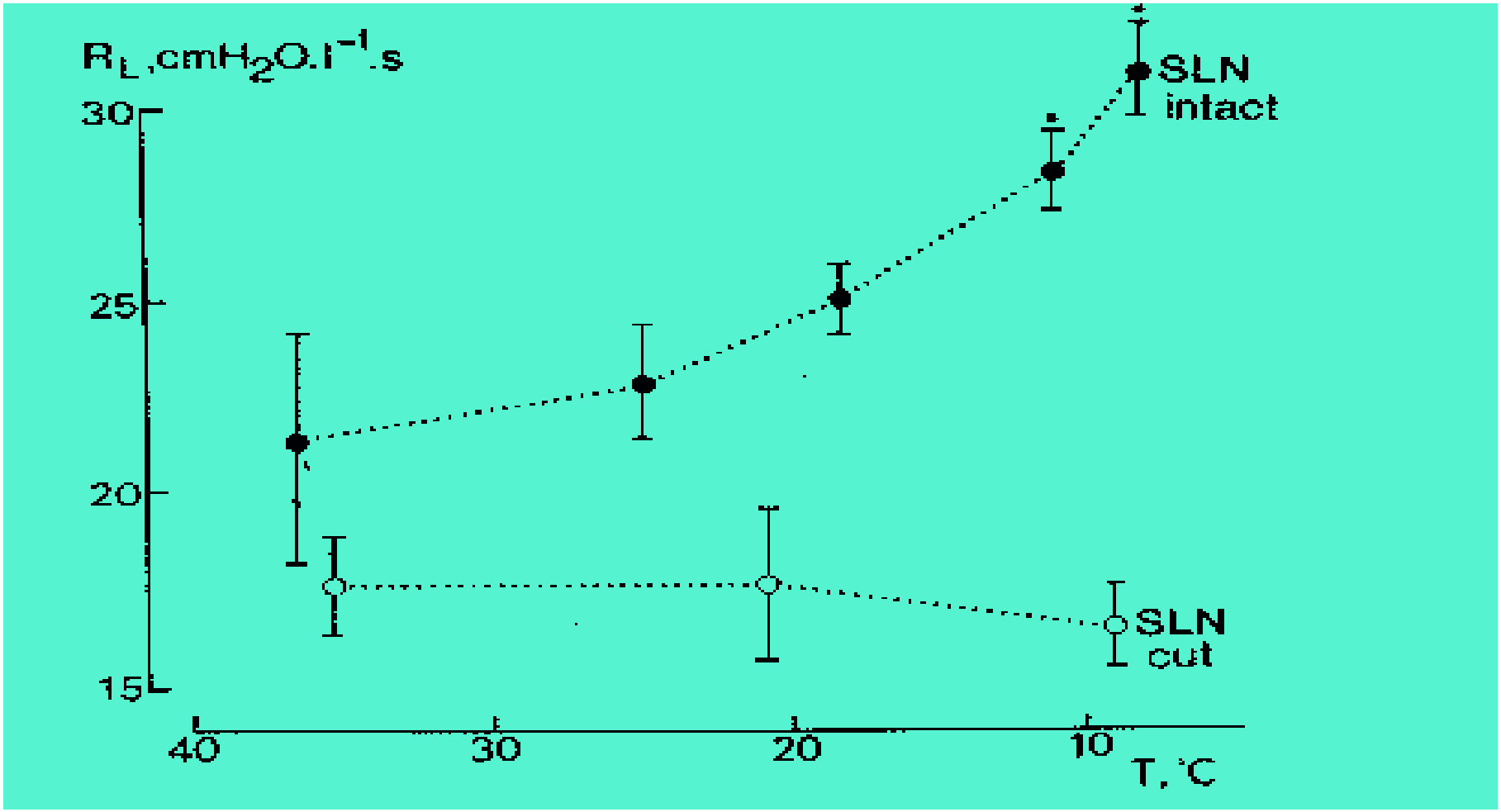
- Perte Calorique :
  - 15 % de la déperdition thermique par convection (Hcv)
- Dépend de la Conductivité des Gaz et de la densité

Pertes thermiques respiratoires
Convection respiratoire en fonction de la densité



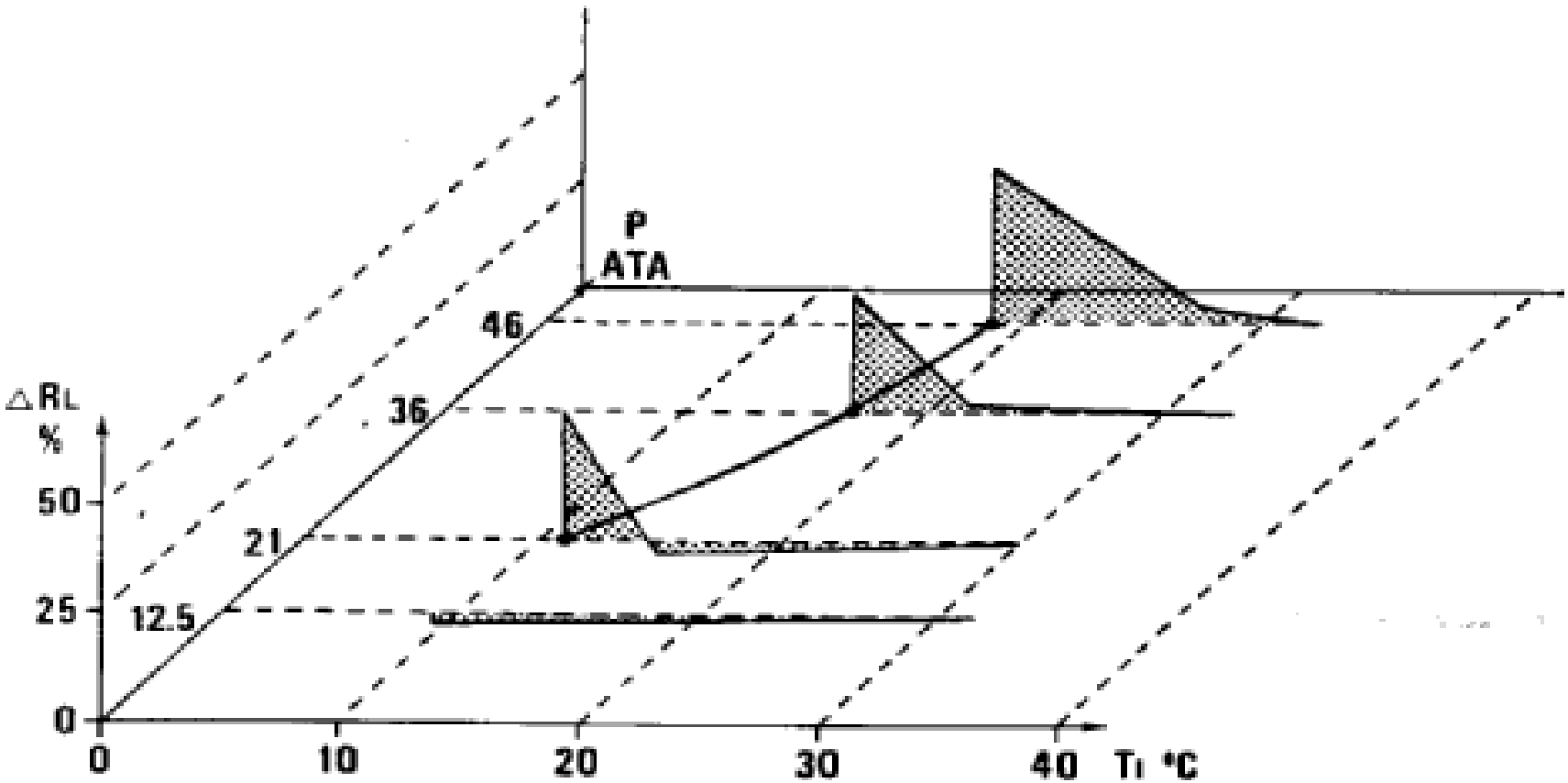
30 ATA : Confort thermique si T°C ambiante = 30 °C

Effet bronchoconstricteur des gaz froids (Animal)



Jammes. Resp Physiol. 1983.

Effets des gaz froids et secs



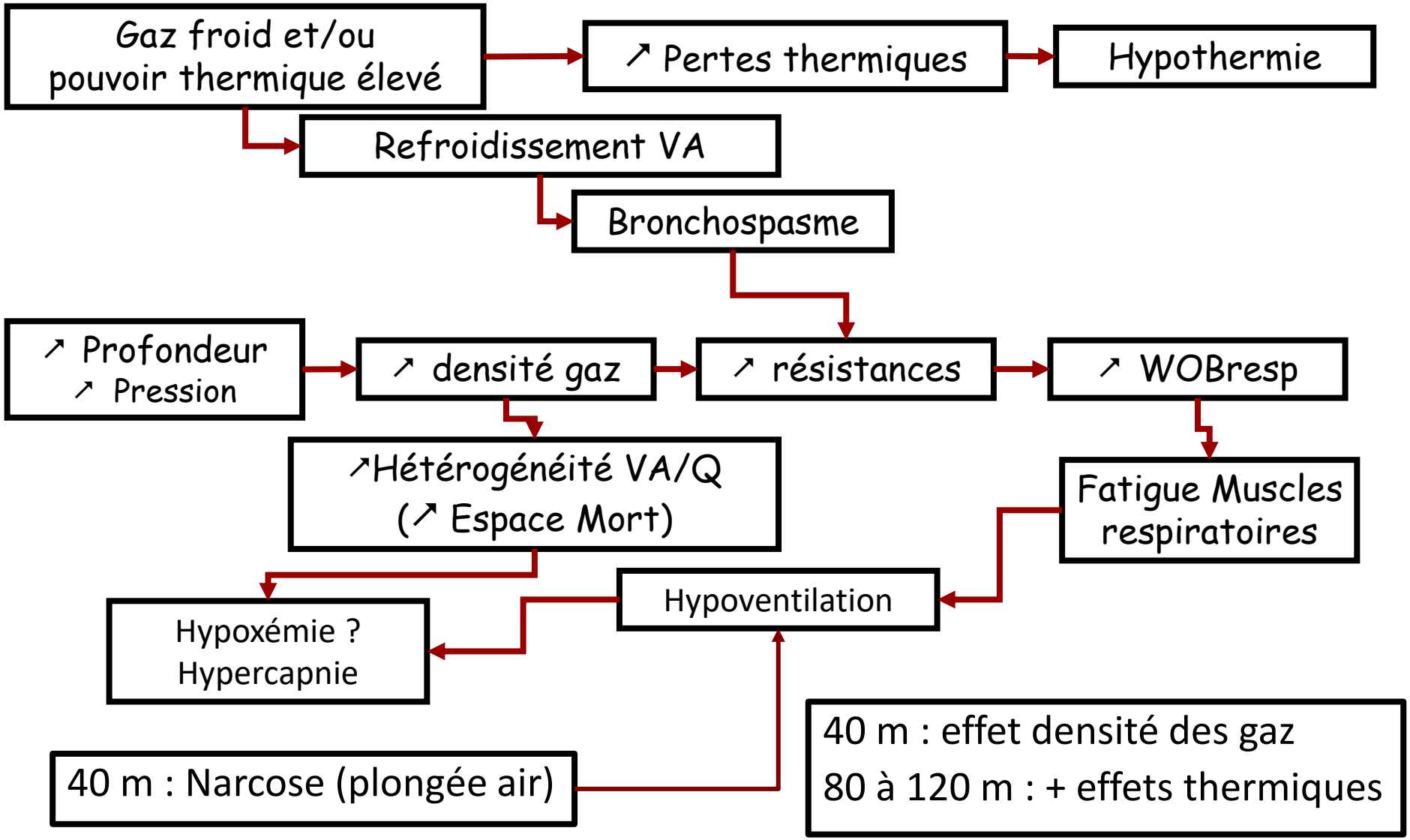
Burnet. Resp Physiol 1990

Effets des gaz froids et secs

- Hypothermie
- Diminution FR, augmentation Vt
- Bronchospasme : augmentation Rinsp
- Lésions mucociliaires

5 SYNTHESE

Effets de la pression sur la fonction respiratoire



5 Grandes contraintes ventilatoires en milieu hyperbare

- Mécanique ventilatoire :
  - résistances+++, Compliance, Inertance
- Echanges gazeux : espace mort
- Transport des gaz
- Déperditions thermiques ventilatoires
- Commande ventilatoire : Narcose - SNHP

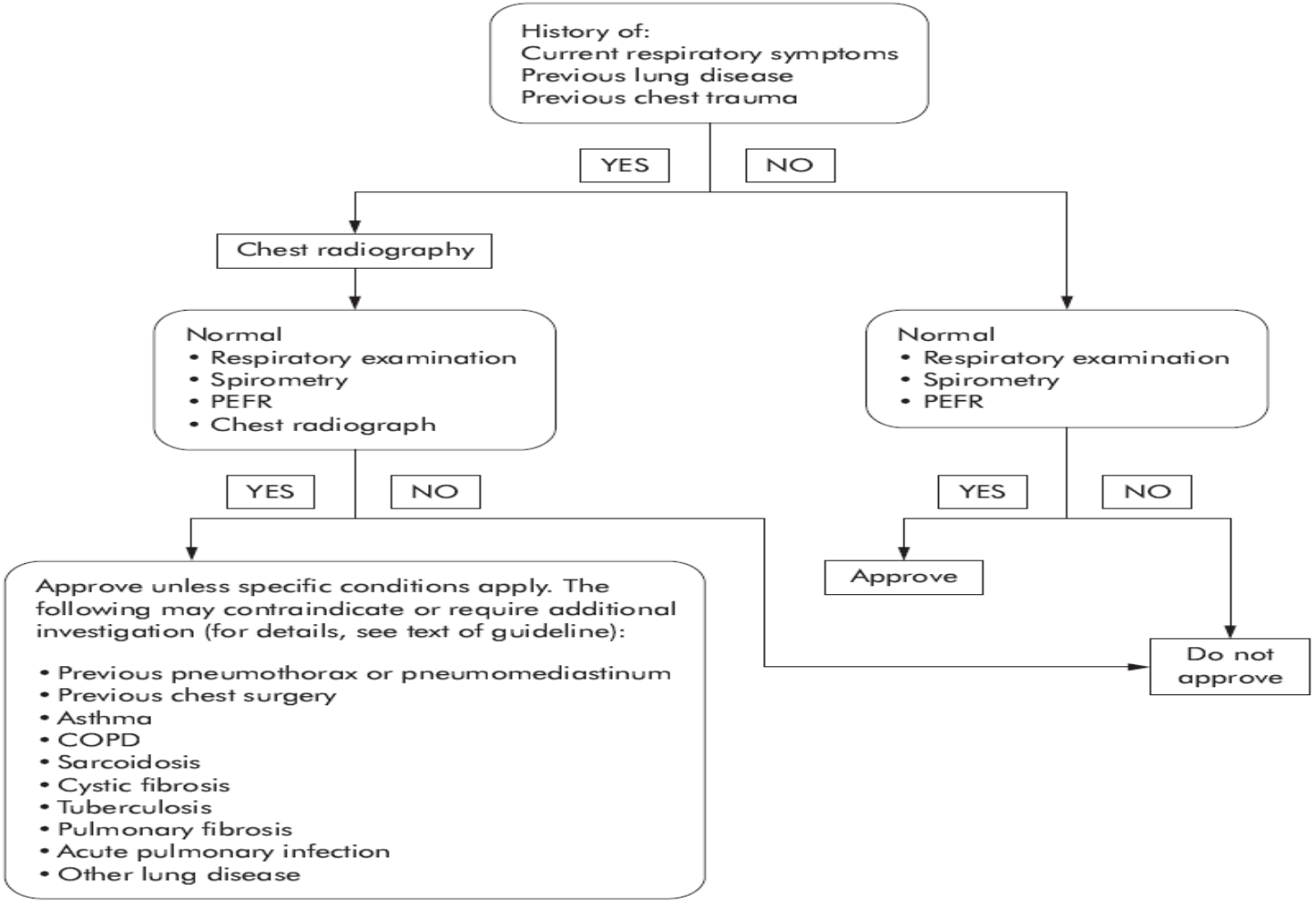
6 IMPLICATIONS PRATIQUES

Situations Cliniques à Risque

- Conditions de risque grave
  - Antécédents de pneumothorax spontané
  - Diminution des performances physiques en raison d'une maladie respiratoire
  - Troubles respiratoires secondaires à la respiration de gaz froid
  - HTAP
- Conditions de risque relatif
  - Asthme, maladie réactive des voies aériennes (RAD)
  - Bronchospasme induit par l'exercice (EIB) ou BPCO
  - Lésion solide, kystique ou cavitaire
  - Pneumothorax secondaire à :
    - Chirurgie thoracique
    - Traumatisme ou pénétration pleurale
    - Surpression pulmonaire
  - Obésité
  - Antécédents d'œdème pulmonaire d' immersion ou de maladie pulmonaire restrictive
  - Maladie pulmonaire interstitielle: peut augmenter le risque de pneumothorax et est susceptible de limiter l'effort
  - Apnée du sommeil

Godden D et al. BTS Guidelines for Diving. Thorax. 2003;58:3-13

Evaluation de la fonction respiratoire pour évaluer aptitude à la plongée



Godden D et al. BTS Guidelines for Diving. Thorax. 2003;58:3-13

Fonction respiratoire et Aptitude à la plongée

- Evaluation pulmonaire indispensable

- EFR indispensable si doute
  - Test de réactivité bronchique (métacholine)
  - Test Effort
  - TLCO

- TDM haute résolution ?

Recherche

- Informations épidémiologiques

- Prédiction du risque
  - Valeurs des explorations fonctionnelles ?
  - Valeur de l'imagerie (CT scan) ?

- Test en situation