

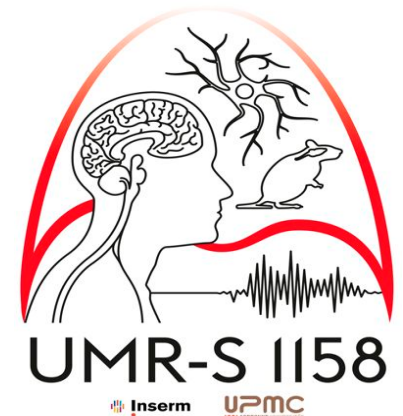
Bases de la Mécanique Ventilatoire

Marie-Noëlle FIAMMA

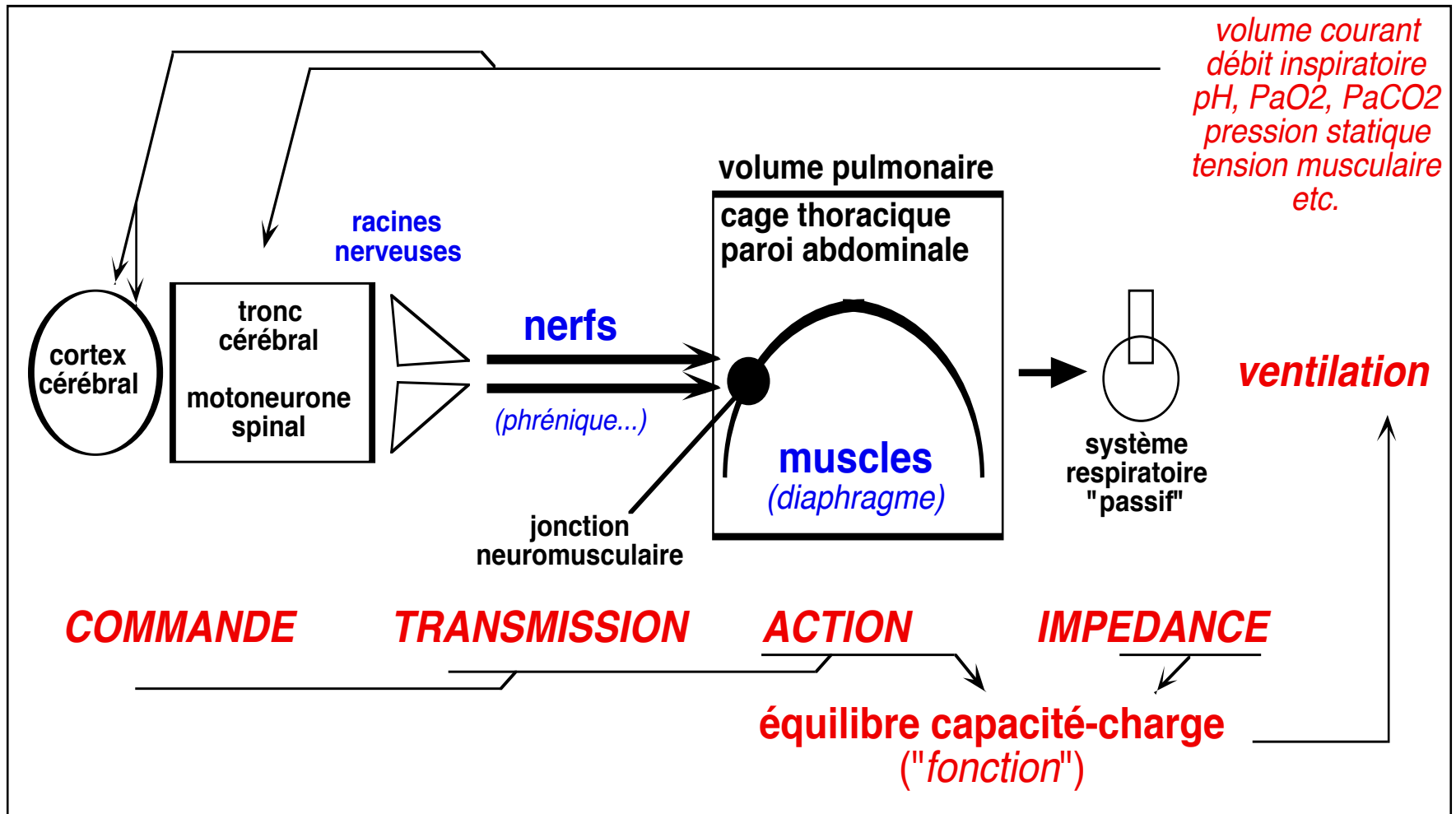
UMR-S 1158 Neurophysiologie Respiratoire Expérimentale et Clinique
Faculté de médecine Pierre et Marie Curie site Pitié-Salpêtrière

marie-noelle.fiamma@upmc.fr

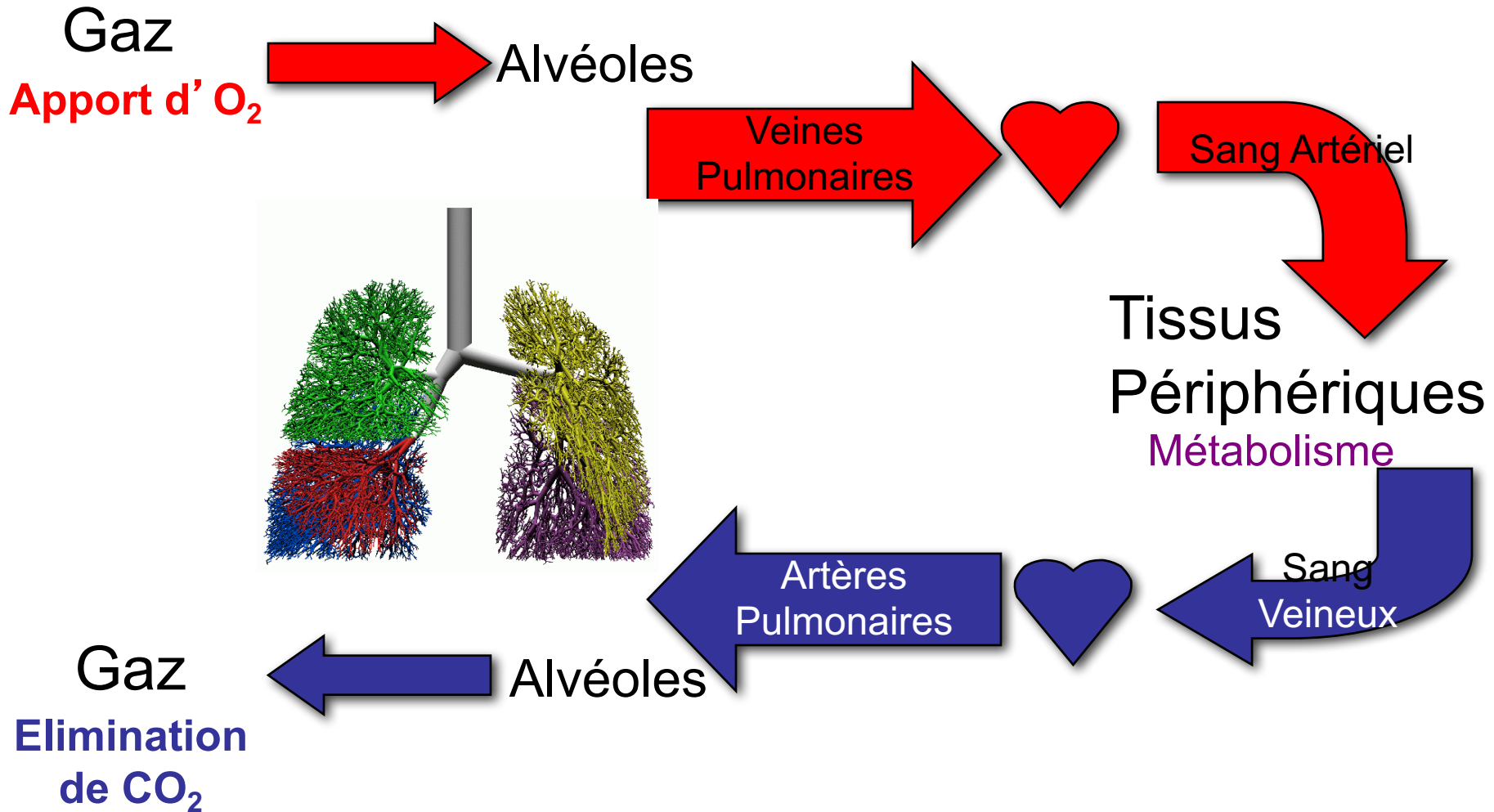
***UE 2V321 Physique des grandes fonctions
2016-2017***

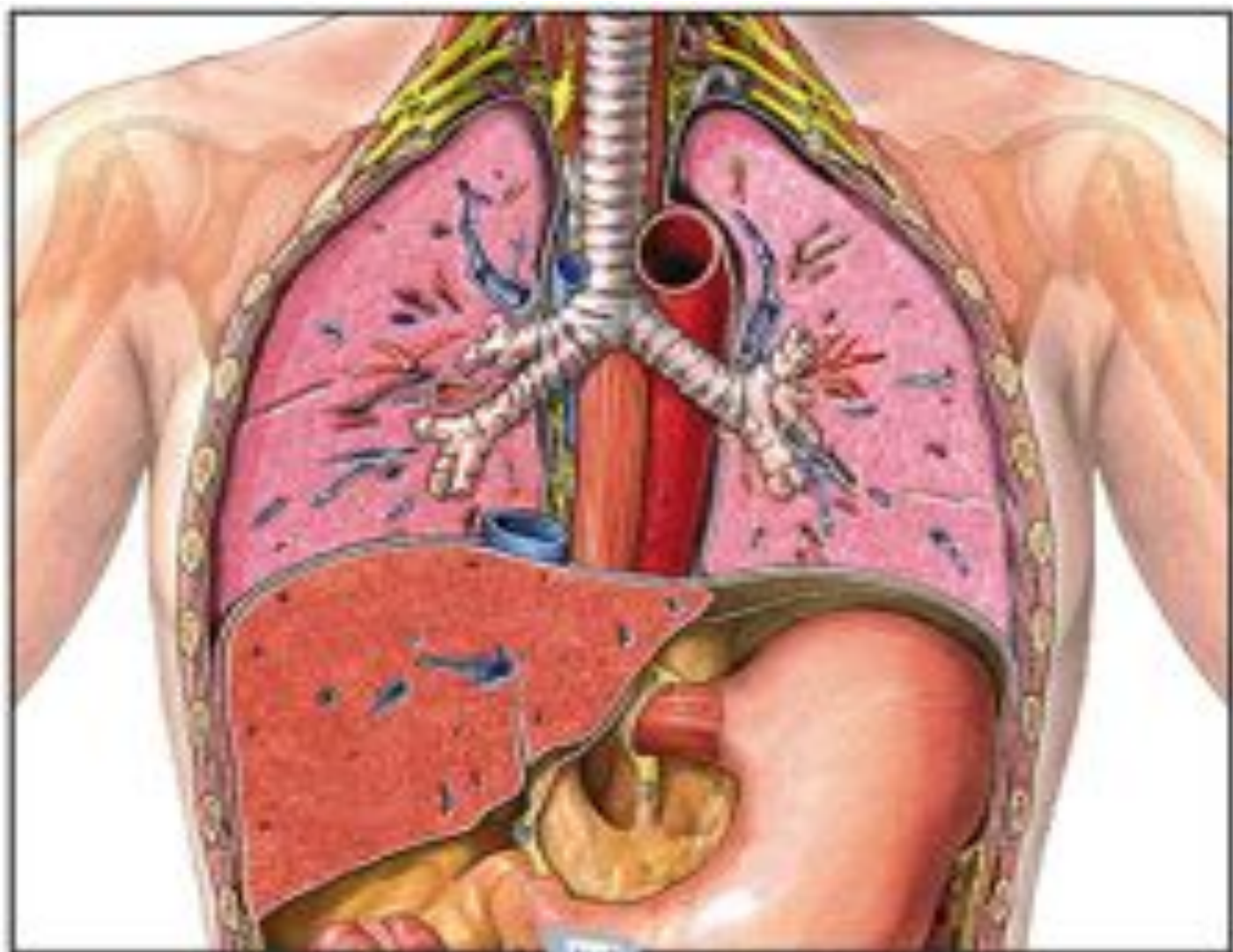


Synthèse : "chaîne" ventilatoire



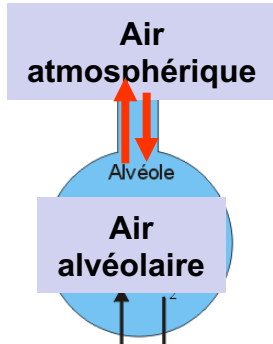
Rôle des Poumons





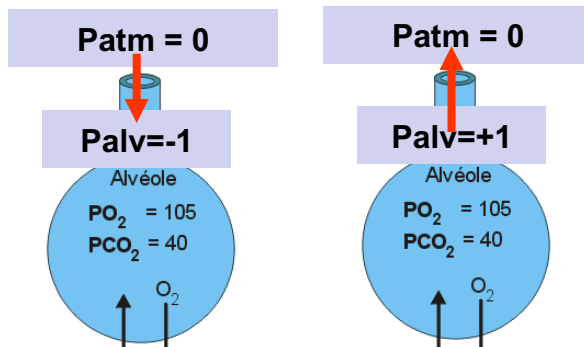
VENTILATION PULMONAIRE

- **VENTILATION:** écoulement d'air qui s'effectue entre l'air atmosphérique et l'air alvéolaire



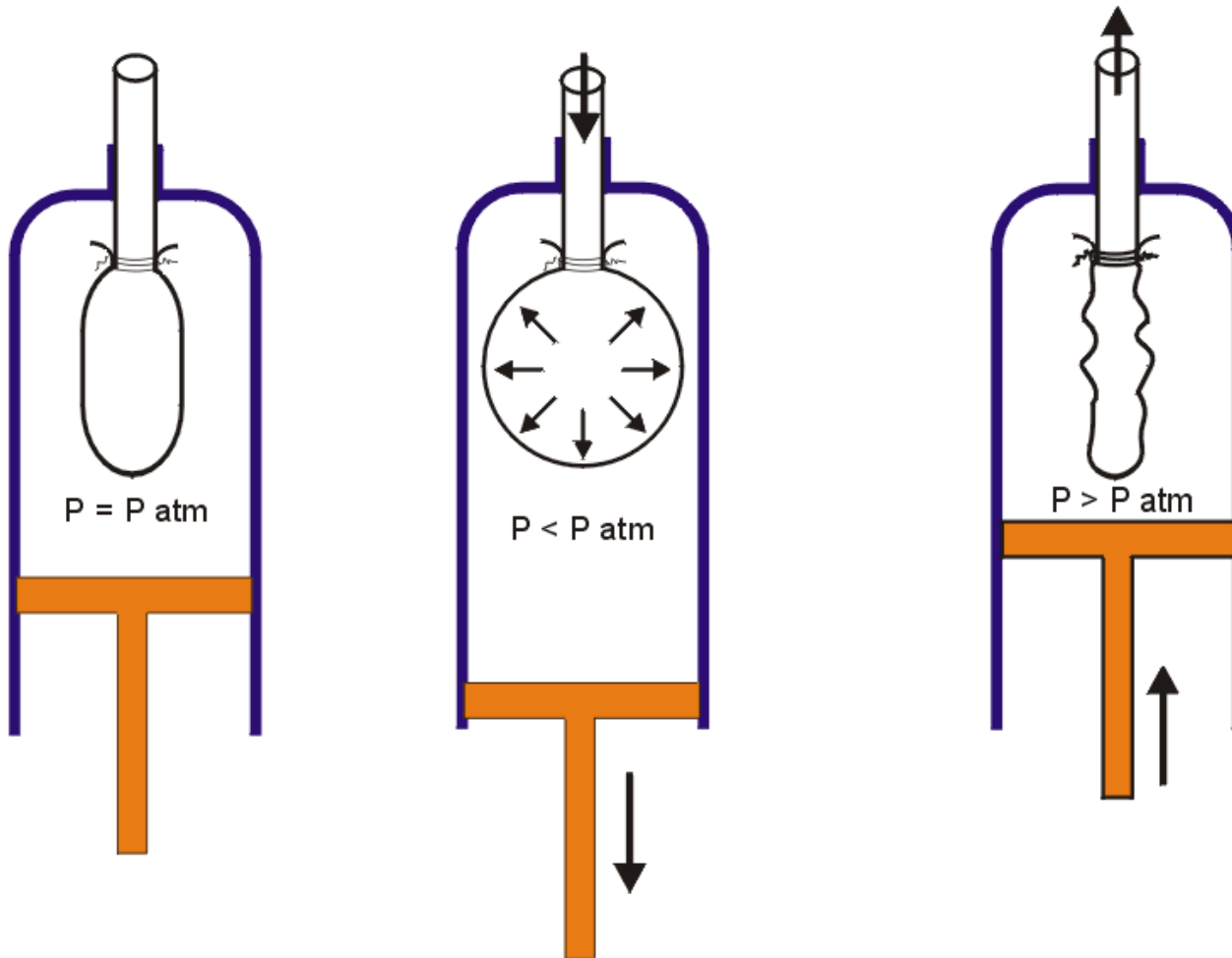
- **RÔLE:** renouveler l'air alvéolaire afin de maintenir sa composition stable

- Un écoulement d'air s'effectue lorsqu'il existe un gradient de pression entre l'air atmosphérique et l'air alvéolaire (**PRESSION ÉLEVÉE → PRESSION FAIBLE**)



Les pressions sont toujours exprimées par rapport à la pression atmosphérique ($P_{atm} = 760$ mmHg = 0) (ex: - 4 mmHg au lieu de 756 mmHg)

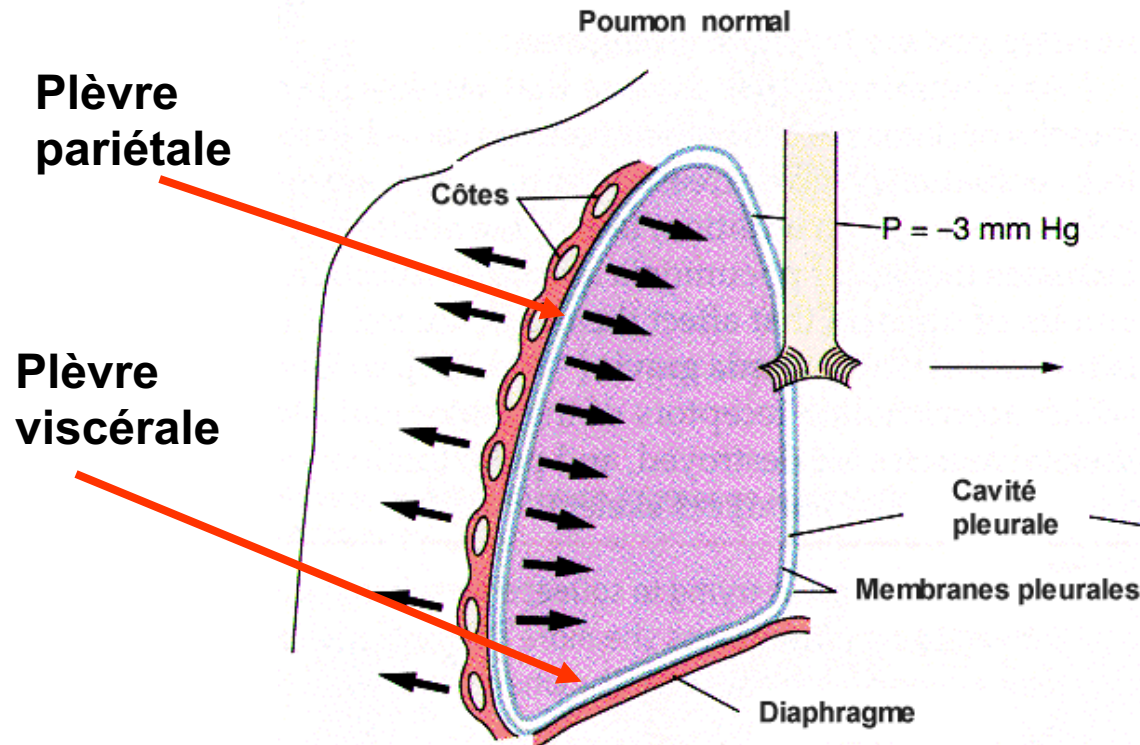
VENTILATION PULMONAIRE



Loi de Boyle-Mariotte : $PV = \text{constante}$ ($T^\circ = \text{constante}$)
 $\Delta V \rightarrow \Delta P \rightarrow E$ (écoulement des gaz)

Pressions dans la cavité thoracique

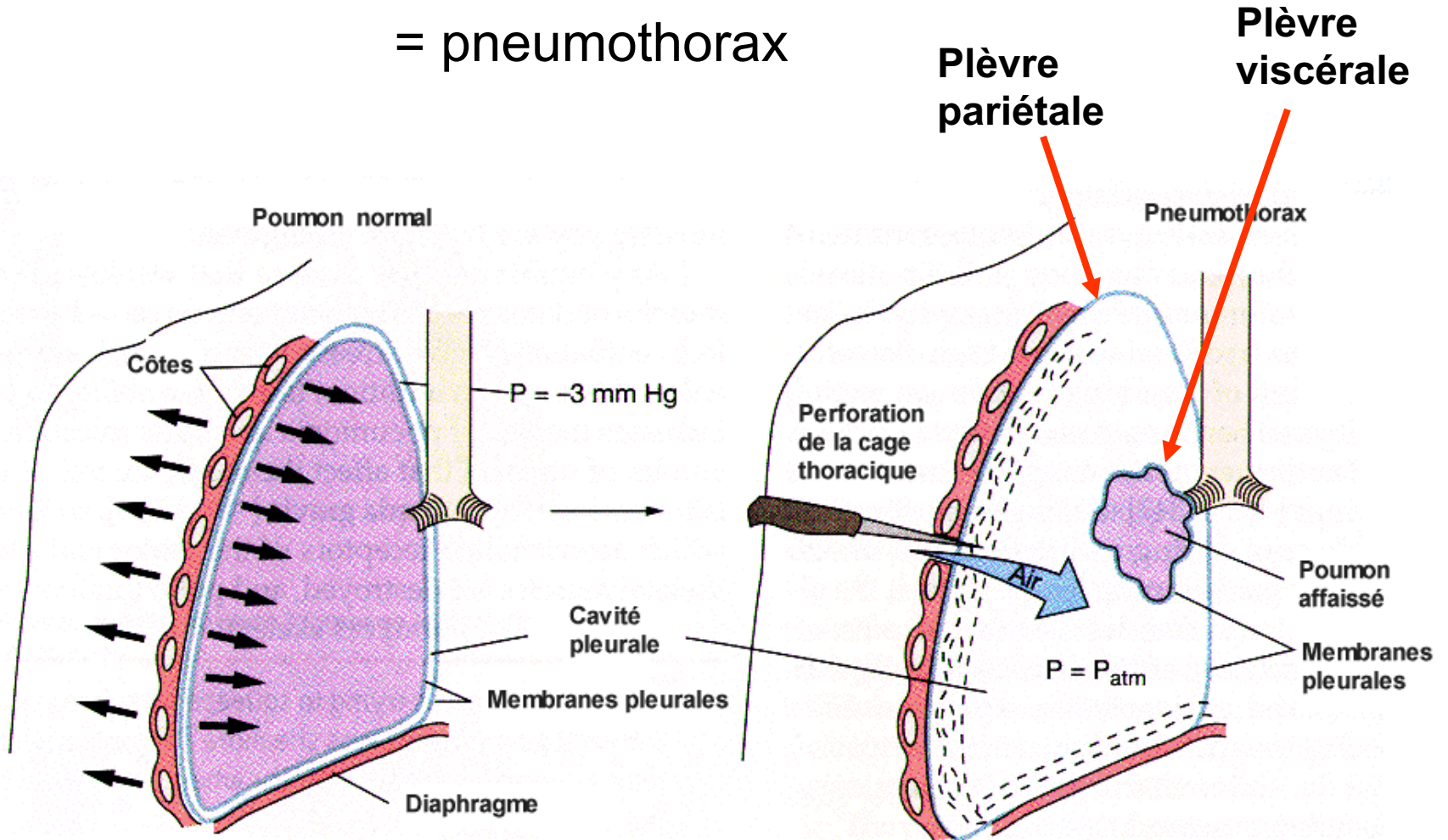
- ✓ Pression intra-alvéolaire ou intrapulmonaire :
Palv = -1 (inspiration) à +1 mm Hg (expiration)
- ✓ Pression intrapleurale (entre les 2 plèvres) :
Pip fluctue aussi mais toujours < à Palv (-4 à -7 mm Hg)

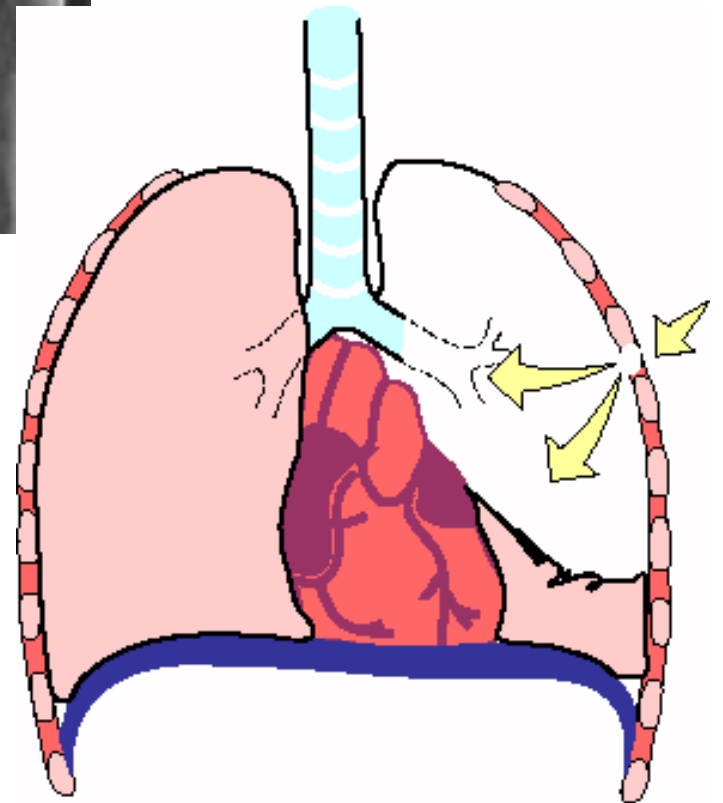
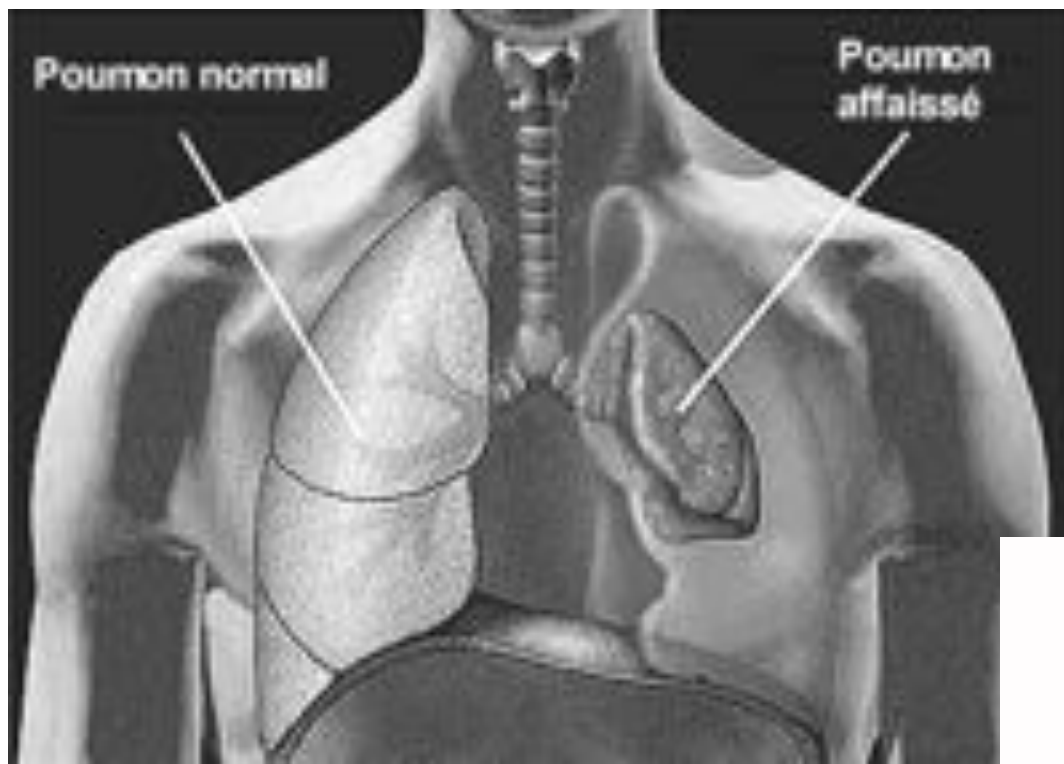


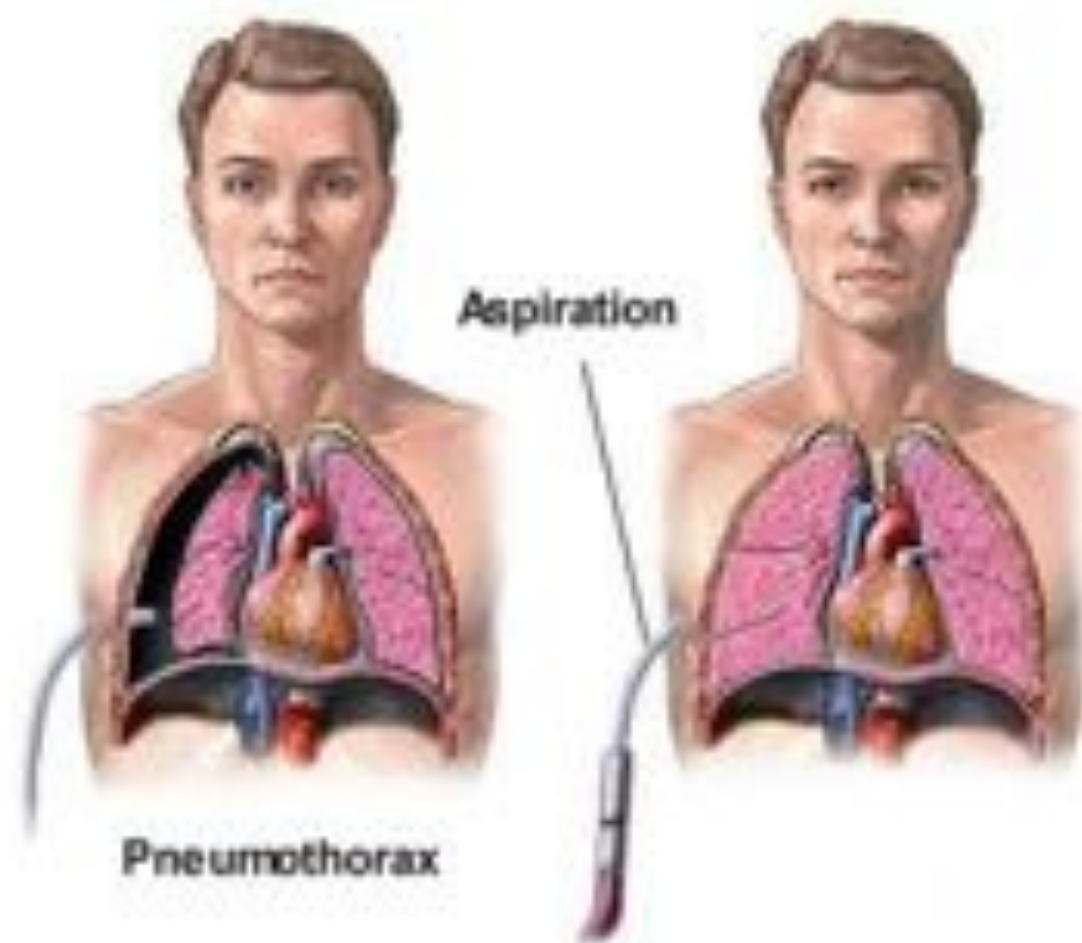
Pression transpulmonaire
 $= P_{alv} - P_{ip} > 0$
Sinon affaissement des
poumons (= atélectasie)

Ce système ne peut fonctionner si la cage thoracique est perforée ==> affaissement des poumons

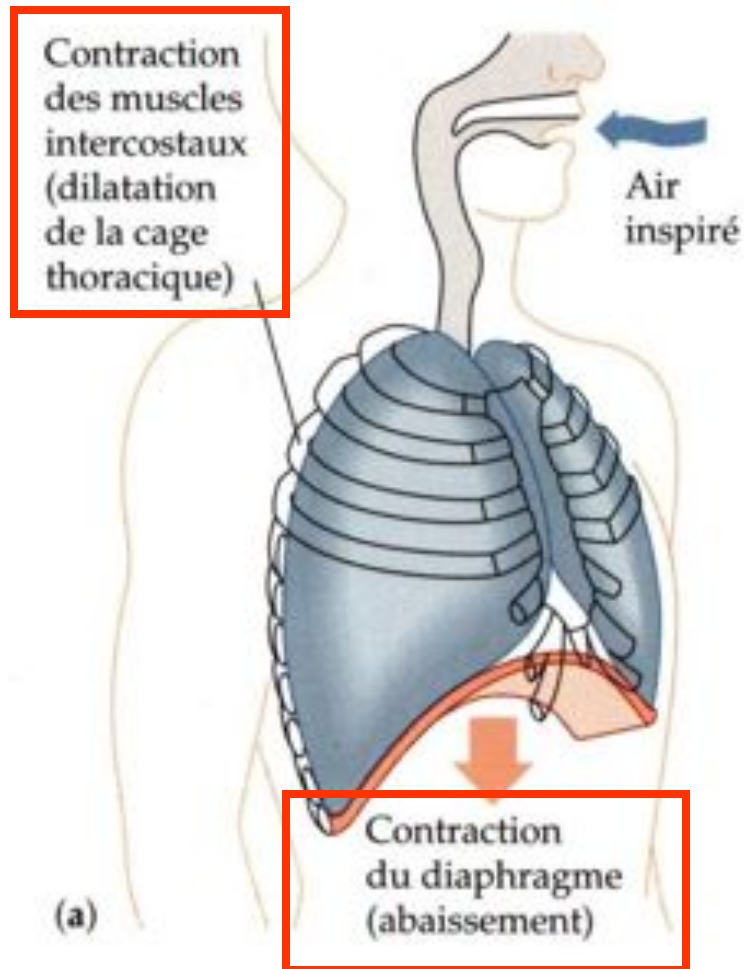
= pneumothorax



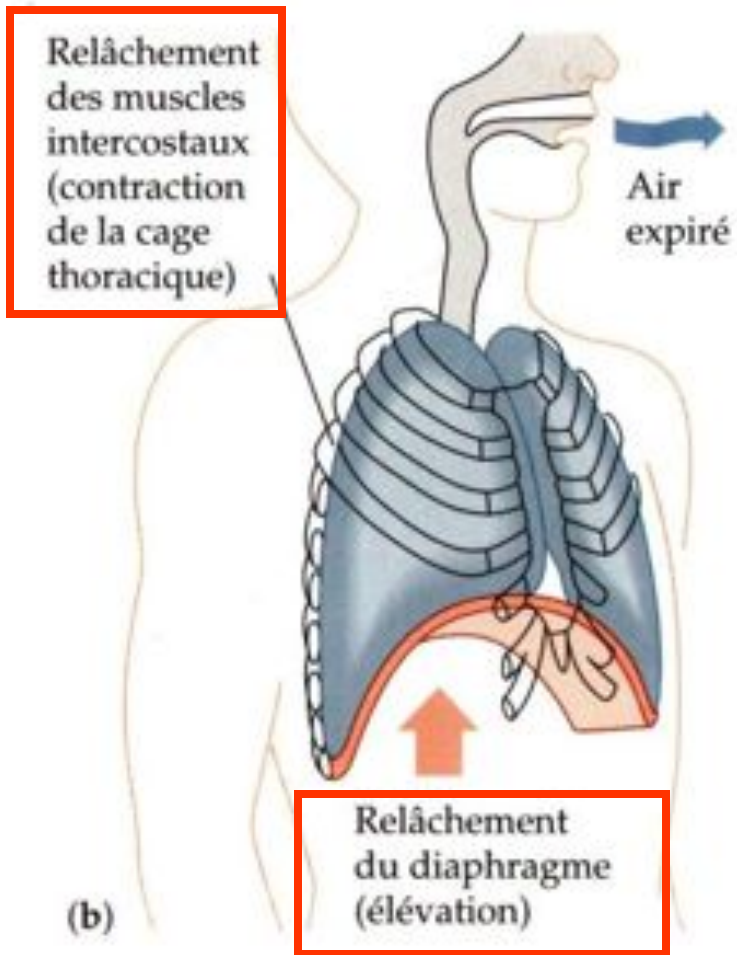




Inspiration calme



Expiration calme



Inspiration calme = active

Contraction des muscles inspiratoires :

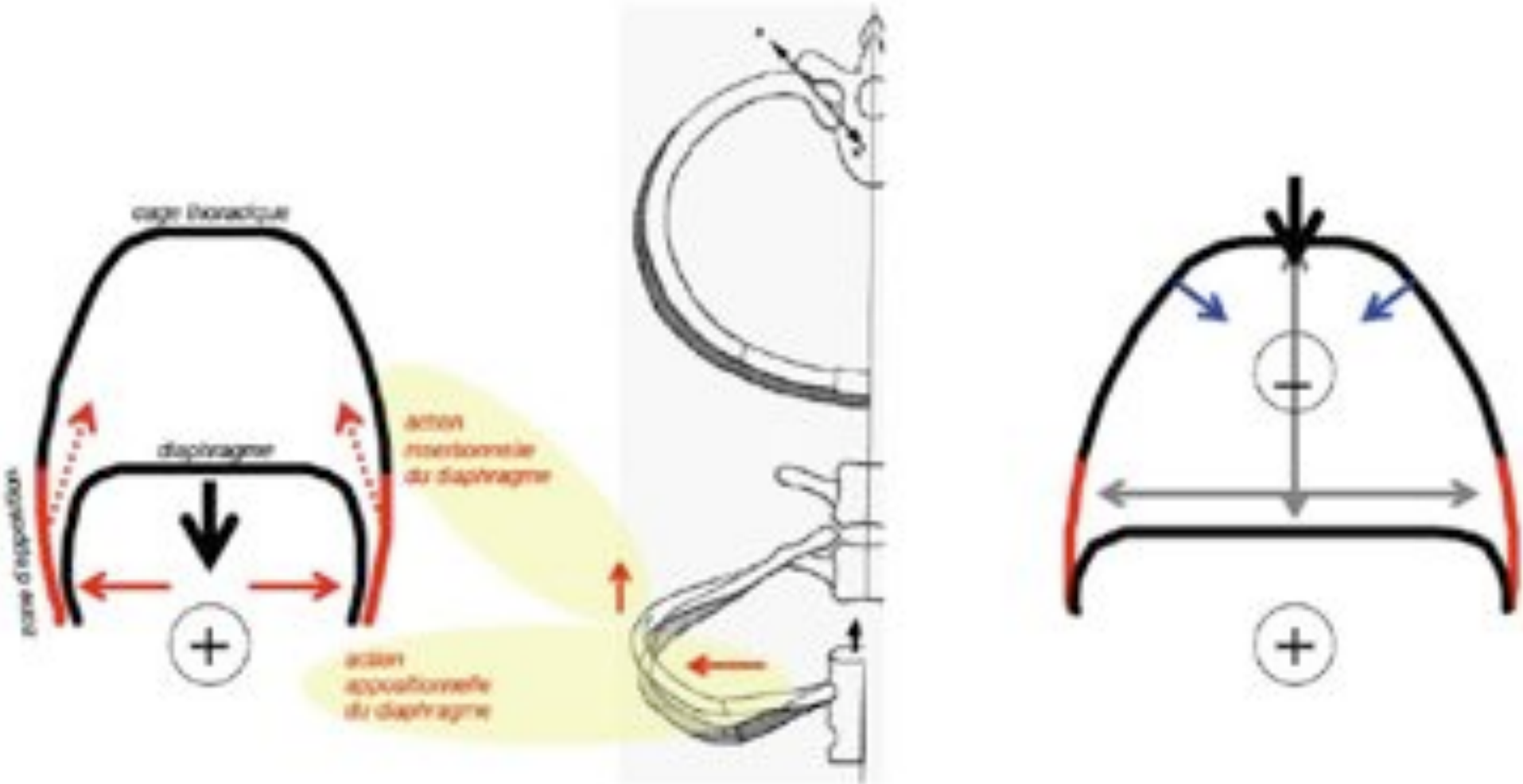
- Diaphragme
- Muscles intercostaux externes
- Muscles scalènes
- Muscles des VAS

Expiration calme = passive

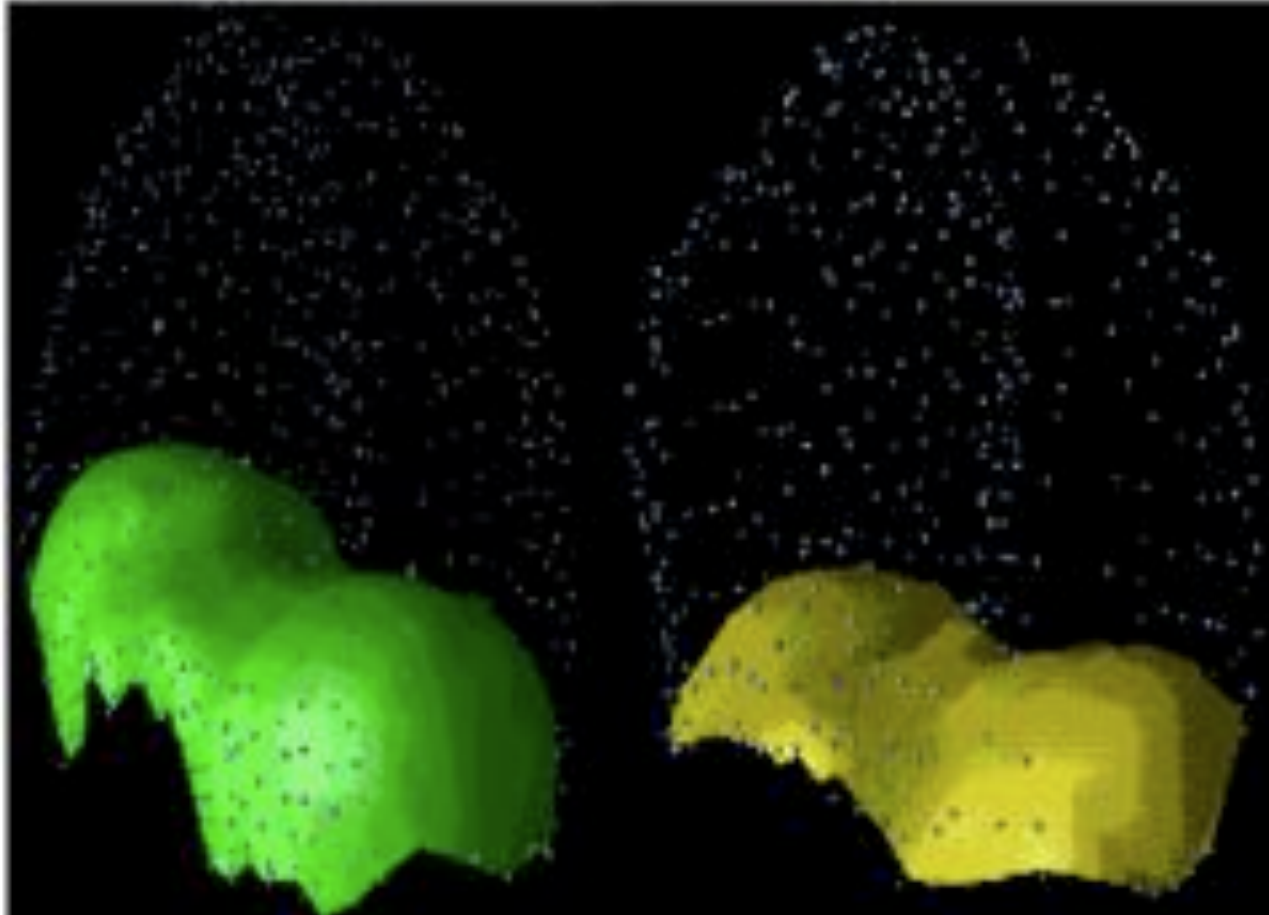
Relâchement des muscles inspiratoires :

- Diaphragme
- Muscles intercostaux externes

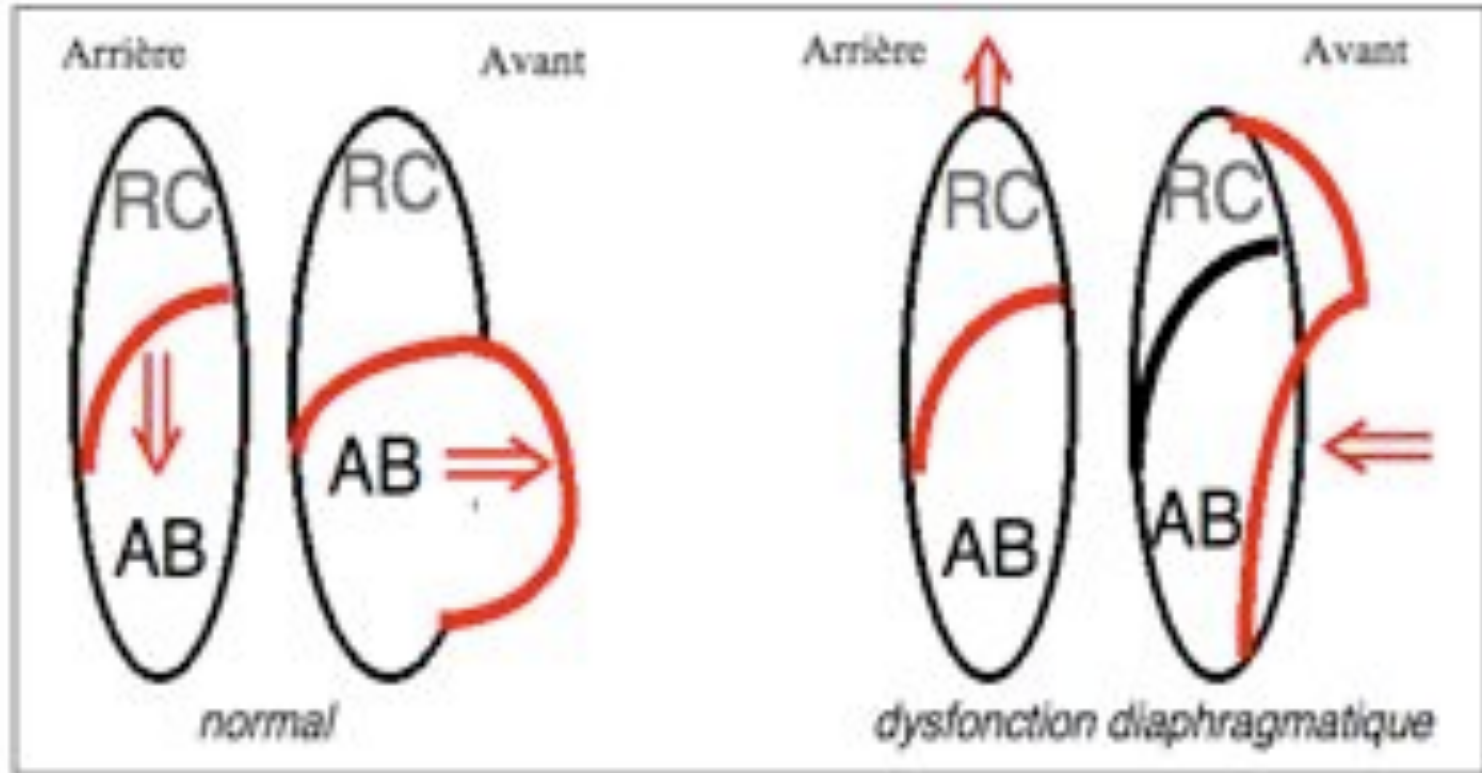
Action mécanique du diaphragme



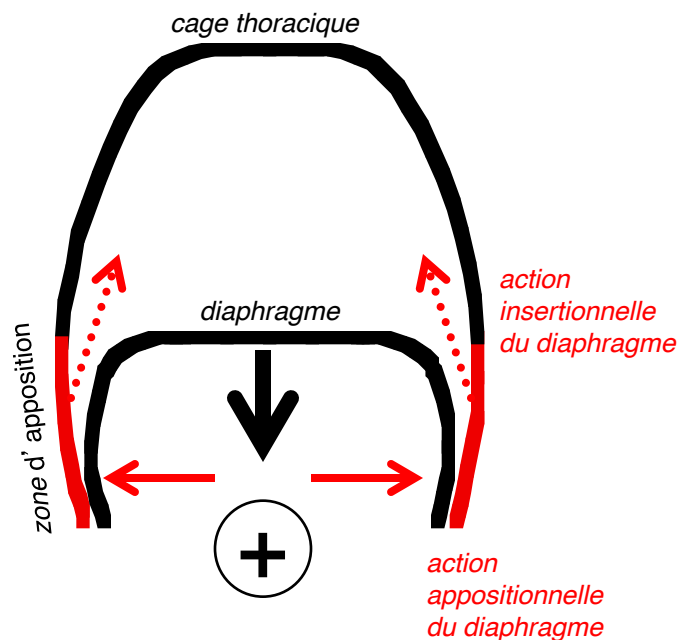
Fonction : volume pulmonaire



Clinique

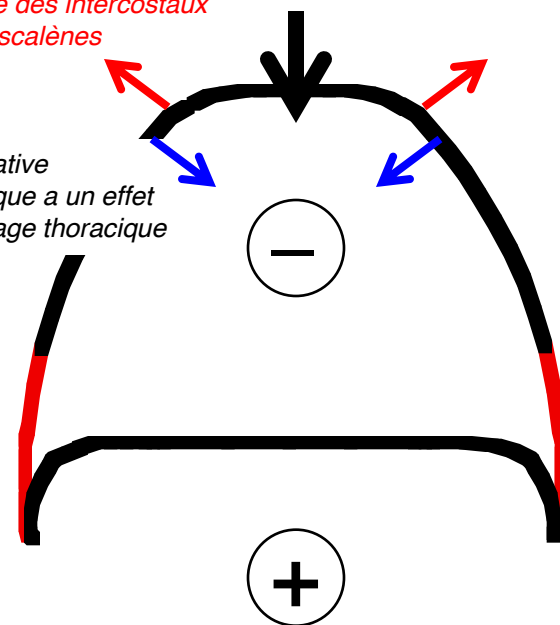


Action mécanique des muscles scalènes

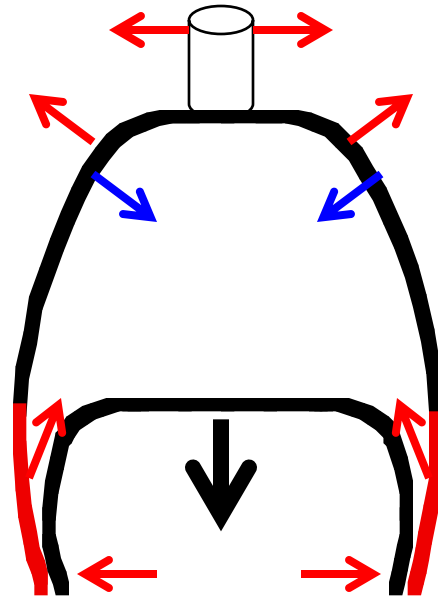


cet effet « contre-productif » est contrebalancé par l'action sur la cage thoracique des intercostaux parasternaux et des scalènes

la pression intrathoracique négative produite par la contraction diaphragmatique a un effet paradoxal sur la partie supérieure de la cage thoracique



Muscles dilatateurs des voies aériennes



Déroulement de la commande inspiratoire centrale

Inspiration forcée

Muscles of Respiration

Muscles of inspiration

Accessory

- Sternocleidomastoid**
Sternocleidomastoid - This accessory muscle of inspiration elevates the sternum.
- Middle scalene**
- Anterior scalene**
- Posterior scalene**
- Scalenes** - These accessory muscles of inspiration elevate and fix the upper ribs.

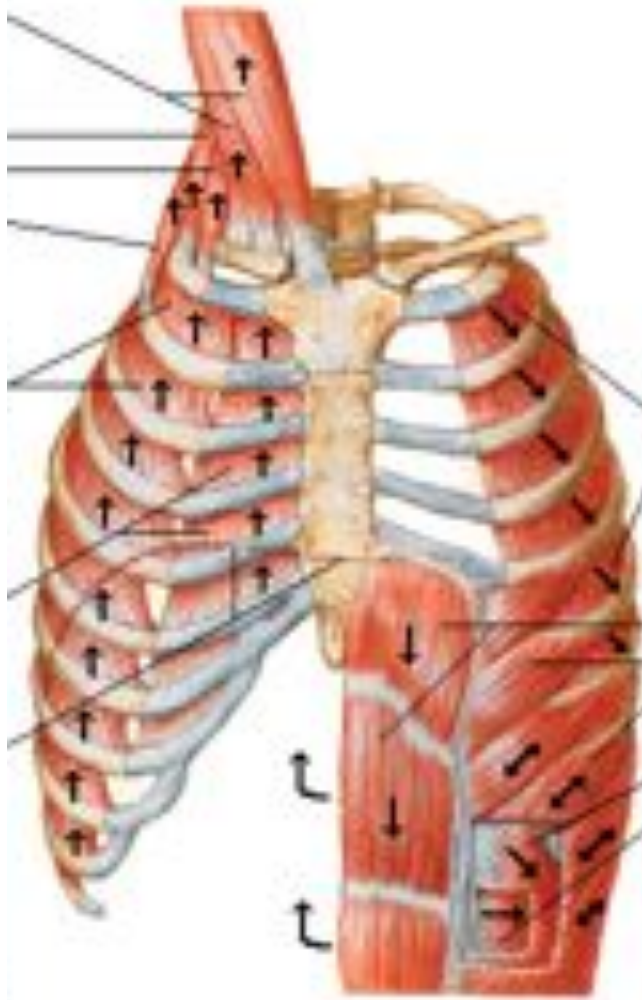
Principal

- External intercostal muscle**
External intercostals - These principal muscles of inspiration elevate the ribs, thus increasing the width of the thoracic cavity.
- Innerchondral part of internal intercostals**
- Innerchondral part** - This part acts as a principal muscle of inspiration by elevating the ribs.
- Diaphragm**
Diaphragm - The domes of this principle muscle of inspiration descend, thus increasing the longitudinal dimension of the thoracic cavity. The diaphragm also helps in elevating the lower ribs.

La contraction de certains muscles du cou (scalènes, SCM, petit pectoral) permet d'élever les côtes plus haut encore que pendant l'inspiration calme.

Expiration forcée

Muscles of Respiration



Muscles of expiration

Quiet breathing

Expiration results from passive recoil of lungs and rib cage

Active breathing

Internal intercostals (except sternochondral part)
Internal intercostals - These muscles of active expiration lower the ribs, thus decreasing the width of the thoracic cavity.

Rectus abdominis

External oblique

Internal oblique

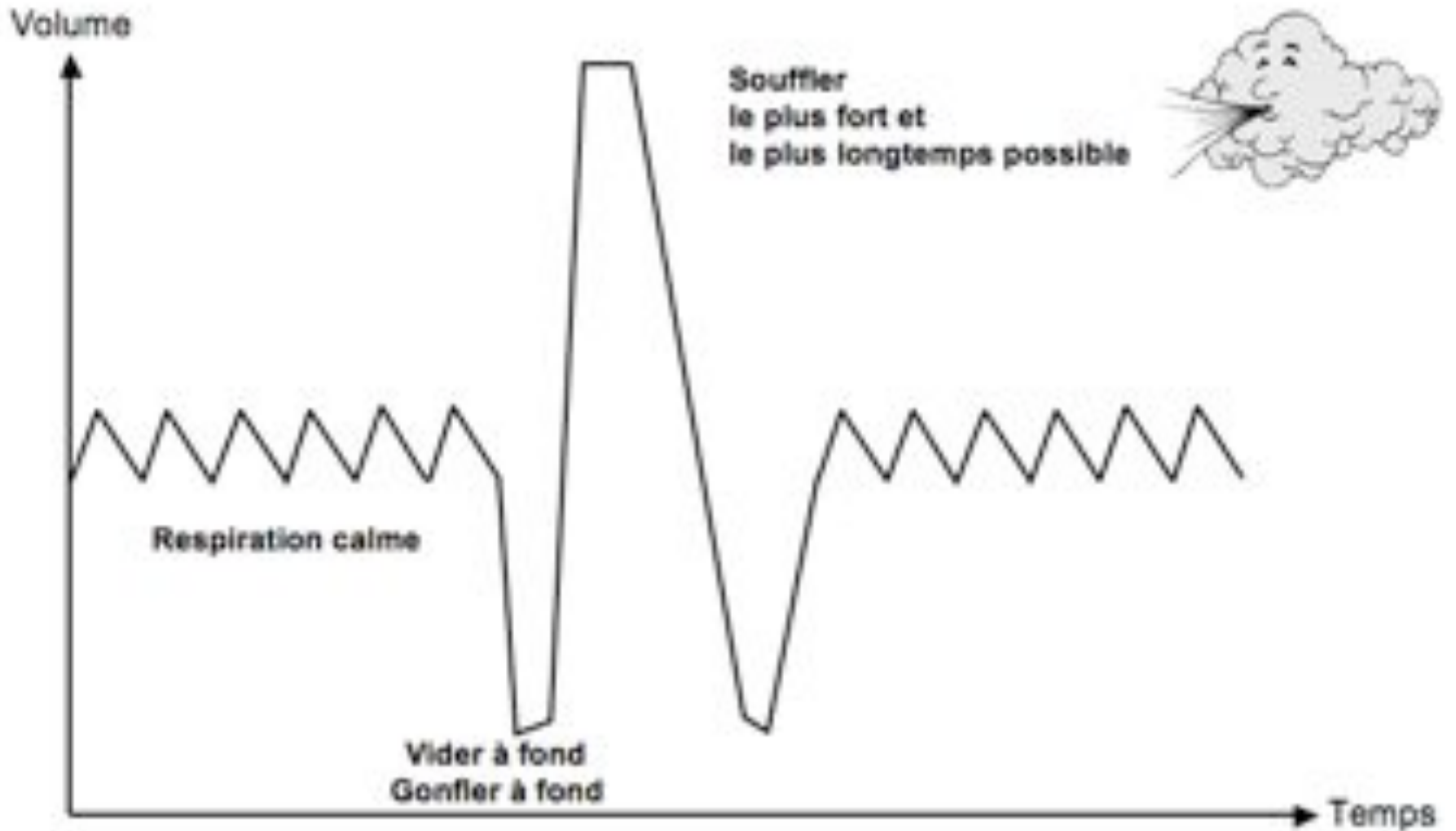
Transversus abdominis

Abdominals - This muscle of active expiration depresses the lower ribs and compresses abdominal contents, thus pushing up the diaphragm

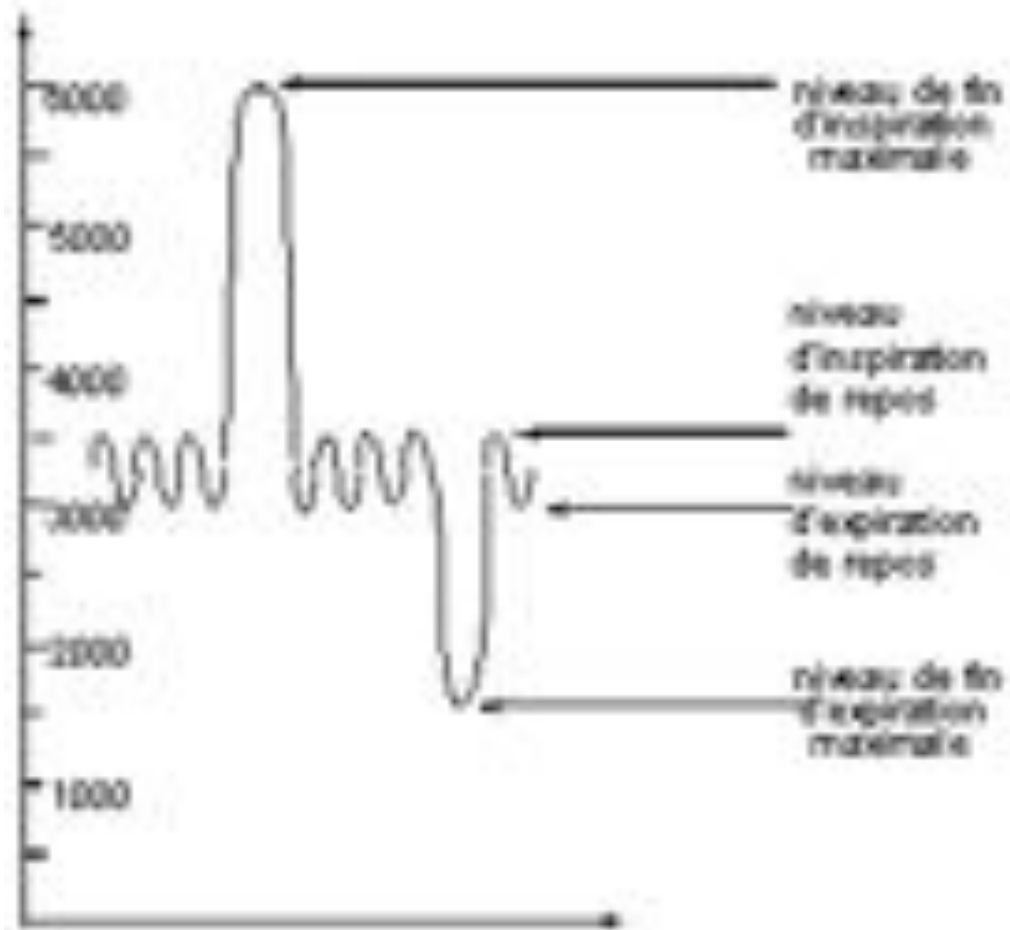
Processus actif: contraction des muscles expiratoires
- muscles abdominaux
- muscles intercostaux internes

La contraction des muscles expiratoires (intercostaux internes, muscles abdominaux) permet de diminuer encore plus le volume de la cage thoracique

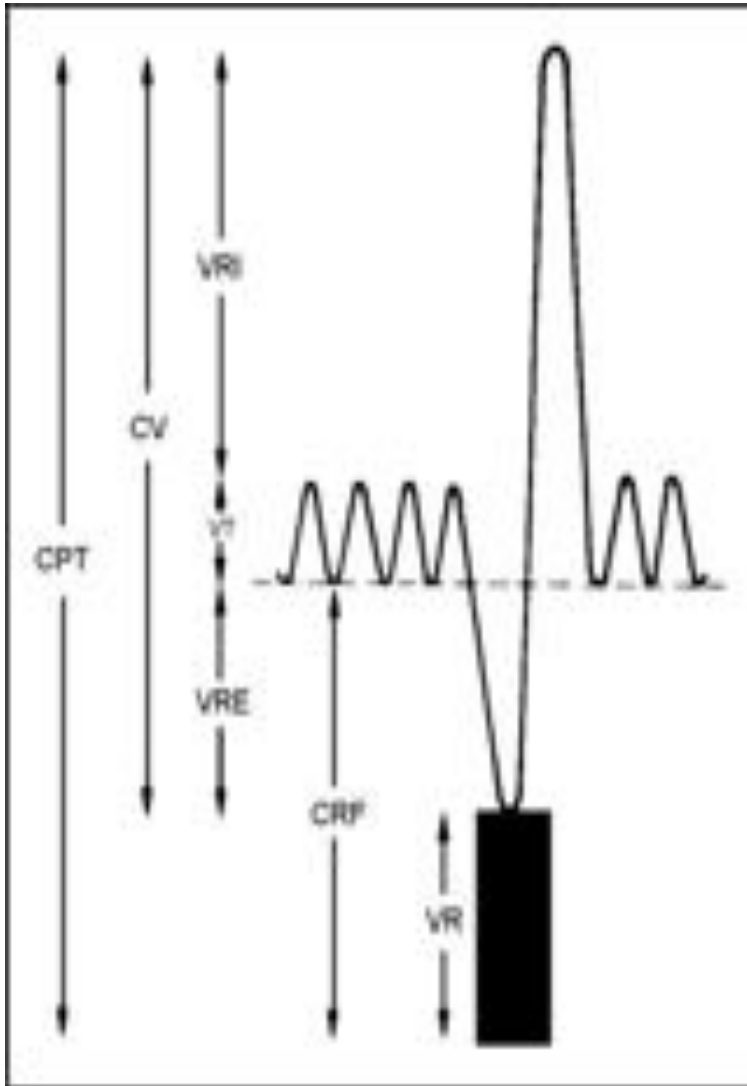
⇒ spirométrie



Les volumes pulmonaires



Les volumes pulmonaires



V_T : Volume Courant

VRI : Volume de Réserve Inspiratoire

VRE : Volume de Réserve Expiratoire

VR : Volume Résiduel

CI : Capacité Inspiratoire

CV : Capacité Vitale

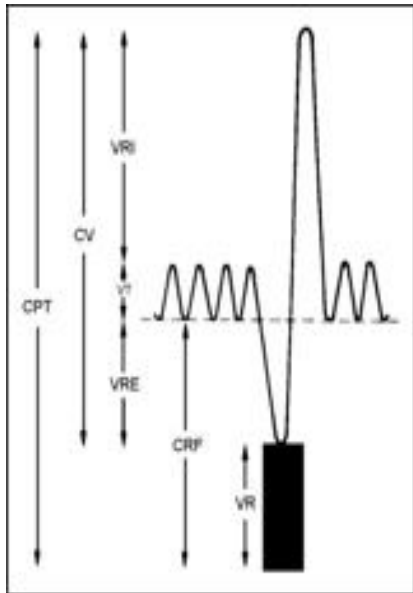
CRF : Capacité Résiduelle Fonctionnelle

CPT : Capacité Pulmonaire Totale

Une CAPACITE

est une somme de VOLUMES

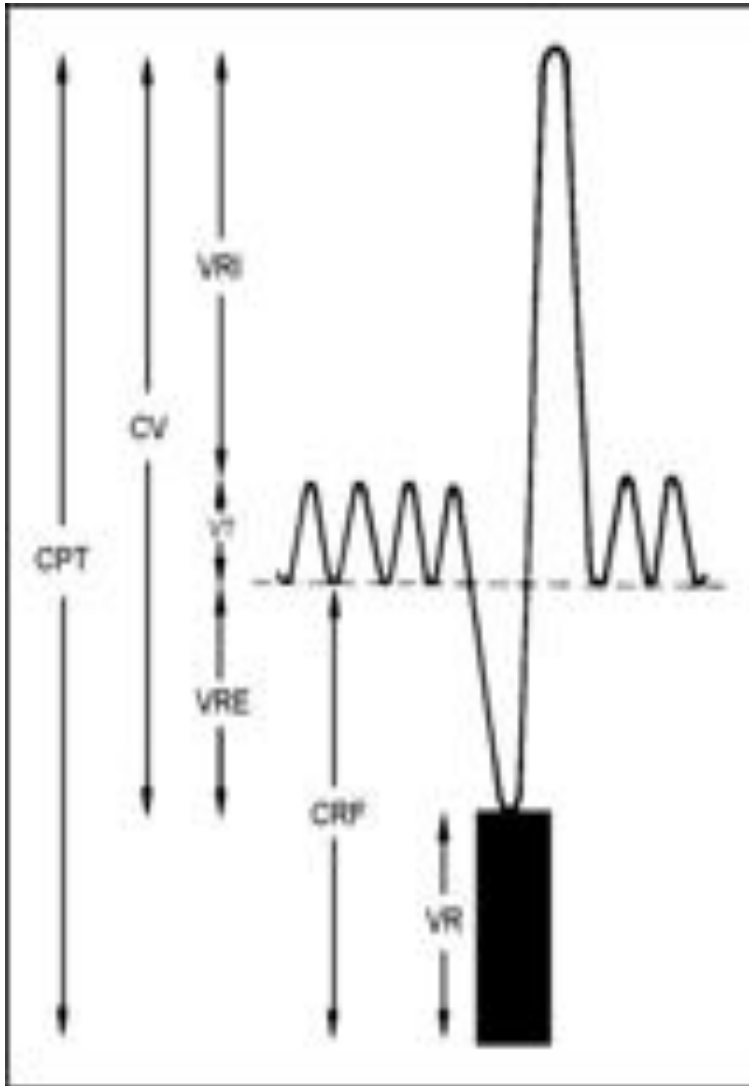
Les capacités pulmonaires



Les capacités pulmonaires sont des sommes de volumes :

- $CRF = VR + VRE$
- $CPT = VR + VRE + V_T + VRI$
- $CV = VRE + V_T + VRI$
- $CI = V_T + VRI$

Les volumes pulmonaires

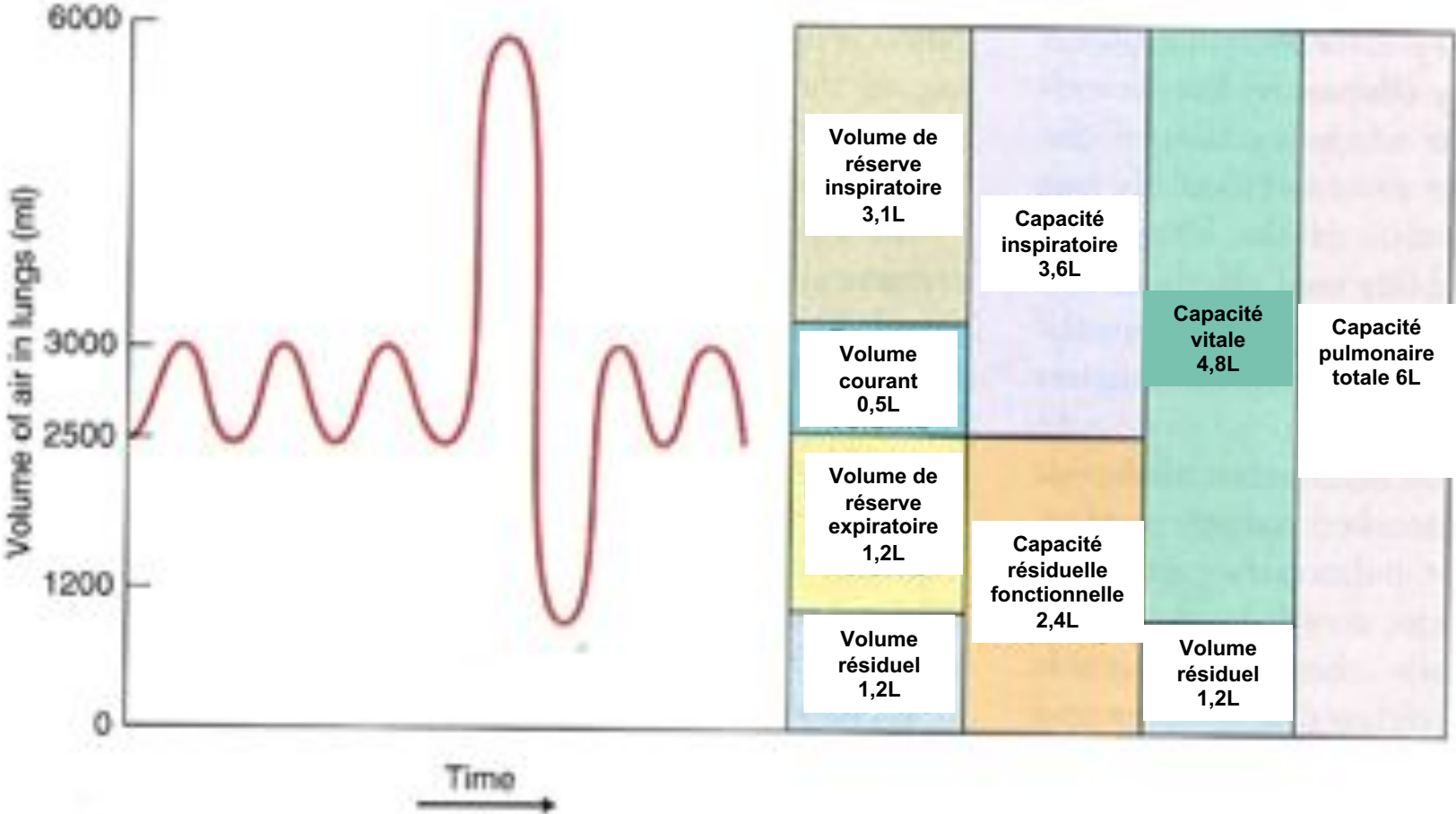


Les volumes pulmonaires mobilisables sont :

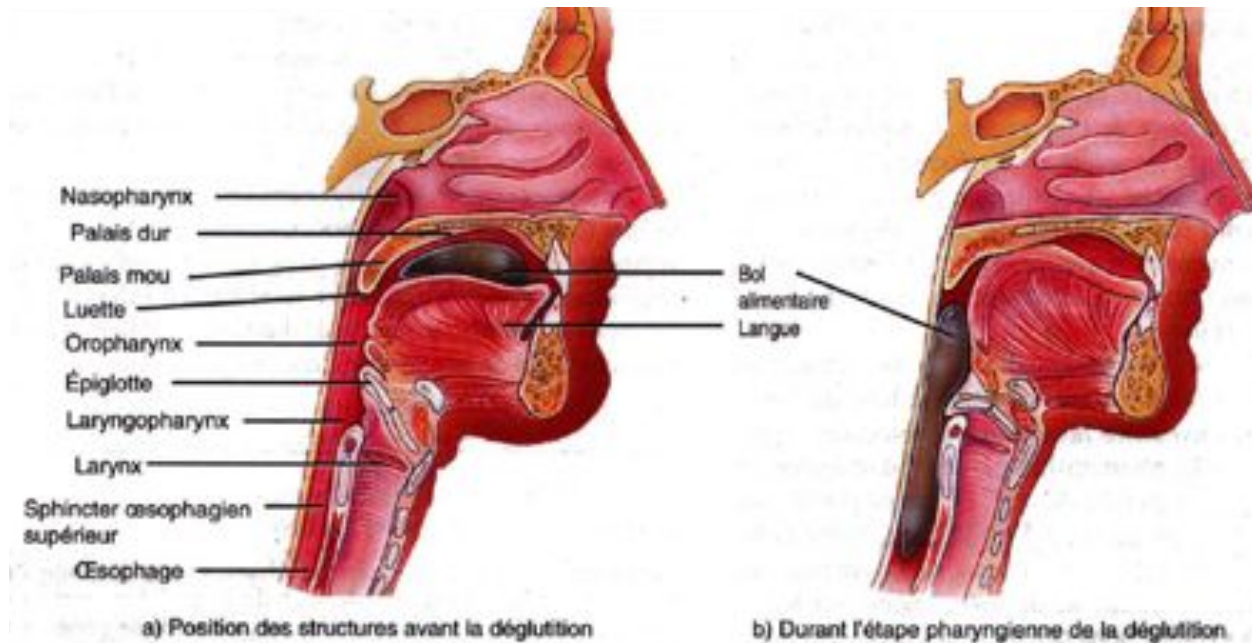
- CV : Capacité Vitale
- V_{RI} : Volume de Réserve Inspiratoire
- V_T : Volume Courant
- V_{RE} : Volume de Réserve Expiratoire

Le VR (Volume Résiduel) n'est pas un volume mobilisable

Spirogramme



Position centrale du larynx



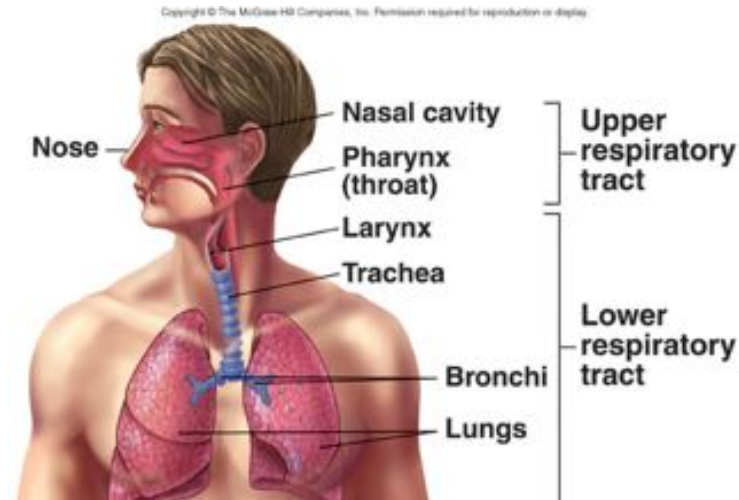
➤ voies aériennes supérieures VAS

➤ voies aériennes inférieures VAI

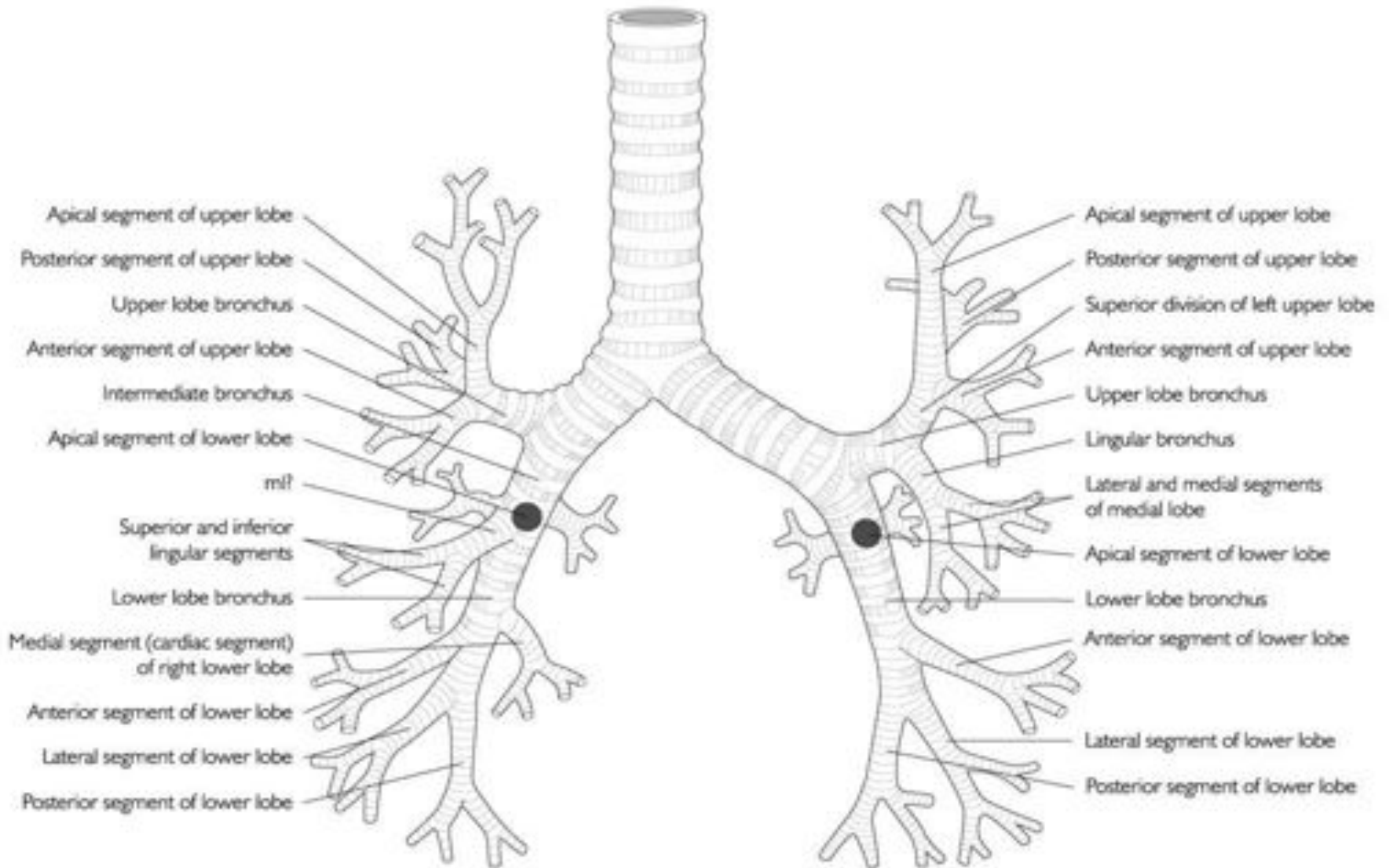
Fonctions des VAS

- réchauffer l'air inspiré
- humidifier l'air inspiré
- épurer l'air des particules et des microorganismes pathogènes

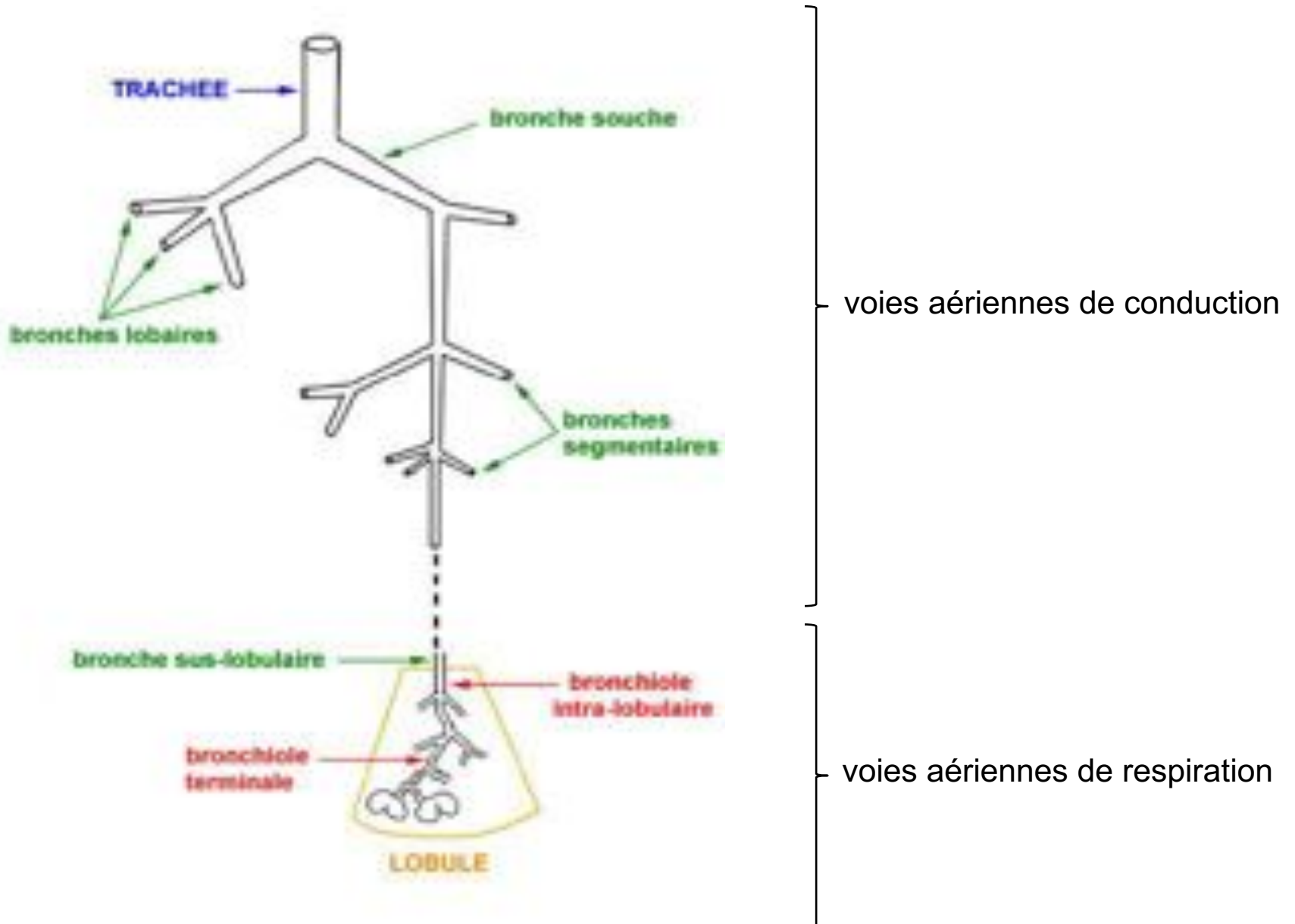
- amener un « AIR OPTIMAL » vers la zone respiratoire



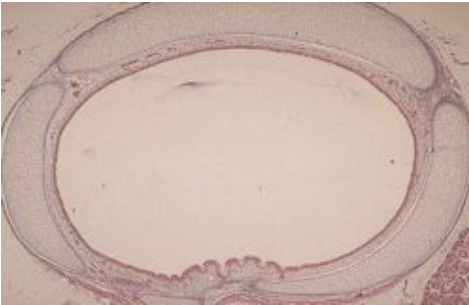
Structure des VAI



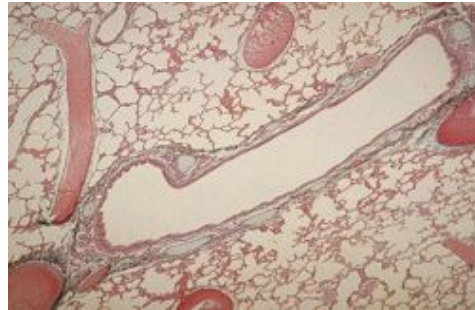
Structure des VAI



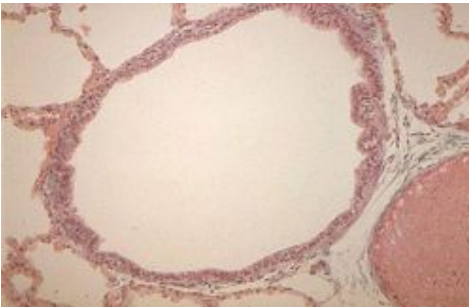
Structure des VAI



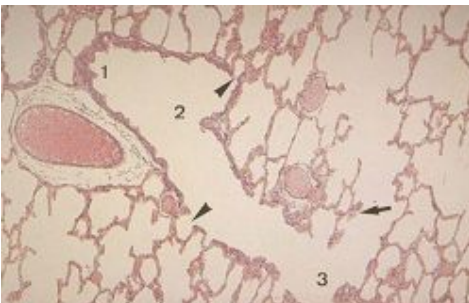
trachée anneaux cartilagineux



bronche (cartilage de + en + diffus)



bronchiole

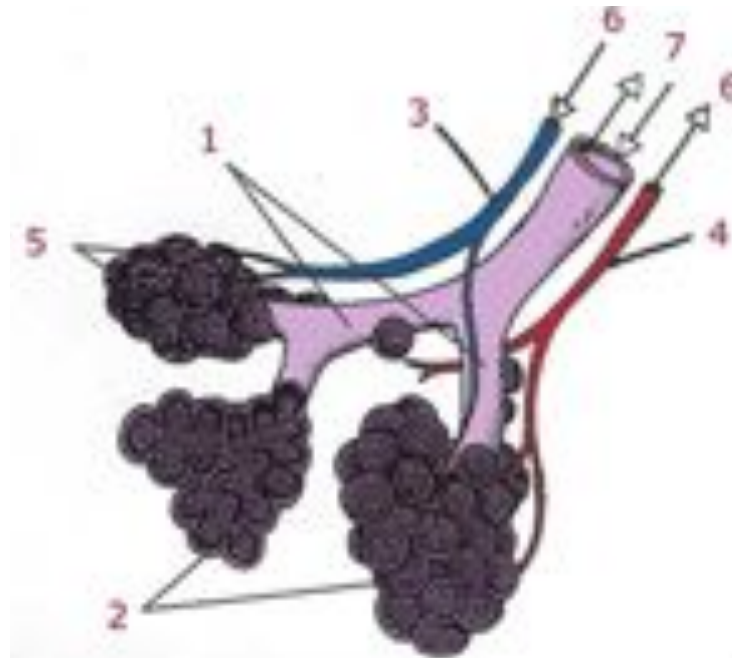


1 bronchiole terminale
2 bronchiole respiratoire
3 canal alvéolaire (-> alvéoles)

Fonctions des VAI

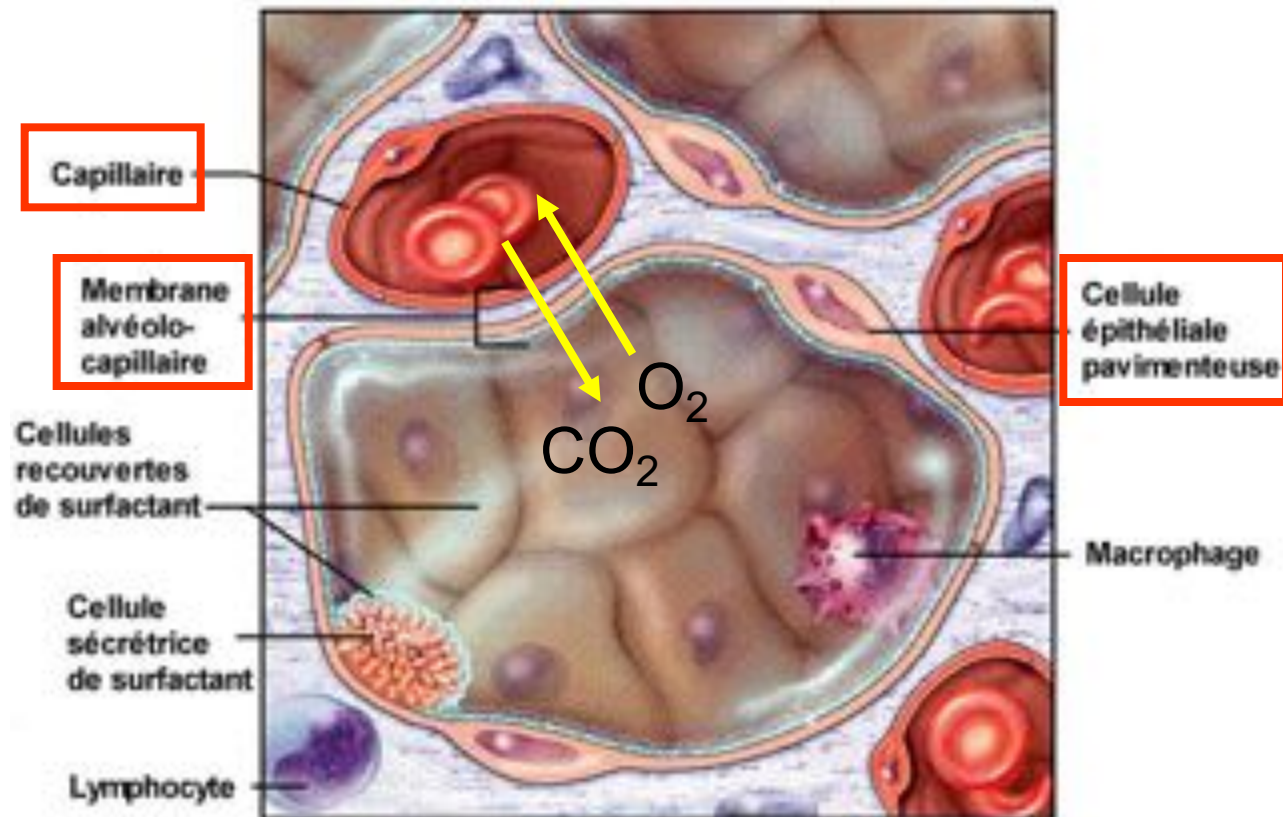
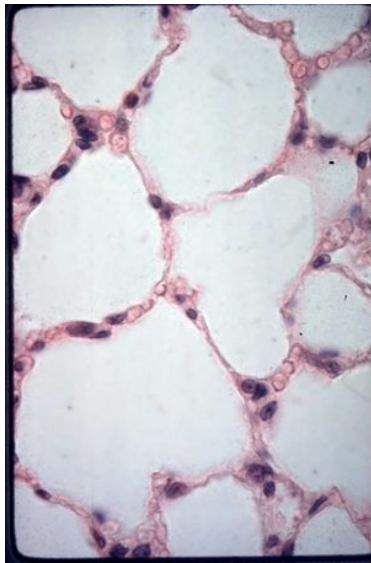
- réchauffer l'air inspiré
- humidifier l'air inspiré
- éliminer les agents potentiellement pathogènes
- assurer les échanges respiratoires

- 1 Bronchioles
- 2 Alvéoles
- 3 Artère pulmonaire
- 4 Veine pulmonaire
- 5 Capillaires pulmonaires
- 6 Circulation sanguine
- 7 Flux d'air



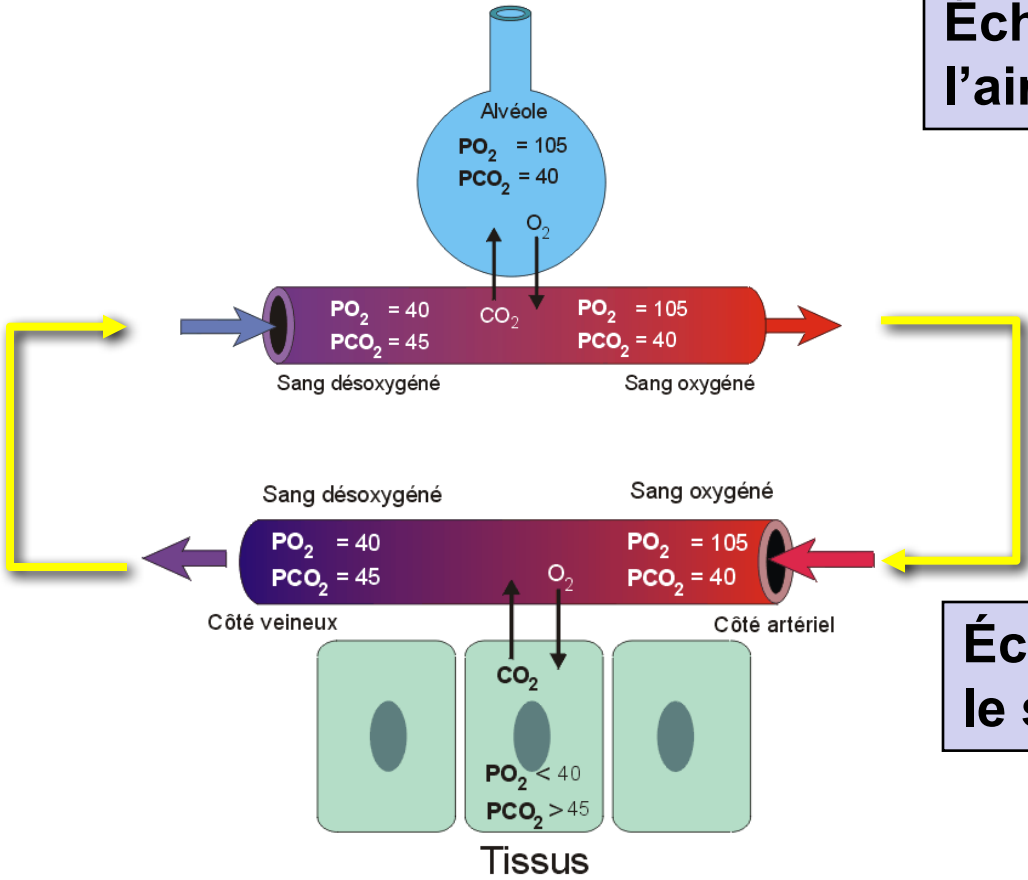
ZONE RESPIRATOIRE : membrane alvéolo-capillaire

PERMET DES ÉCHANGES RAPIDES ENTRE LE SANG ET L'AIR ALVÉOLAIRE (parce qu'elle est très mince et sa surface totale est très grande)



Echanges gazeux

Échanges d'O₂ et de CO₂ entre l'air alvéolaire et le sang



Échanges d'O₂ et de CO₂ entre le sang et les cellules

TRANSPORT DES GAZ

Transport des gaz

Le sang fixe l' O_2 et le CO_2

- sous l' influence d' un gradient de pression partielle
- de manière réversible

L' O_2 et le CO_2 sont transportés par la circulation

- des poumons vers les tissus
- des tissus vers les poumons

Transport des gaz dans le sang

Le volume de gaz dissout dans un liquide est fonction de :

- la pression partielle du gaz
- son coefficient de solubilité
- la température du liquide

Loi de dissolution des gaz ou Loi de Henry

- $V_{\text{gaz}} = S_{\text{gaz}} * (P_{\text{gaz}} / P_{\text{atm}})$

Echanges gazeux : Propriétés fondamentales des gaz

Deux principaux facteurs qui influencent la quantité de gaz pouvant se dissoudre dans un liquide:

1) Pression partielle du gaz (Loi de Henry)

(un gaz se dissout dans une solution en proportion de sa pression partielle dans le mélange gazeux en contact avec la solution)

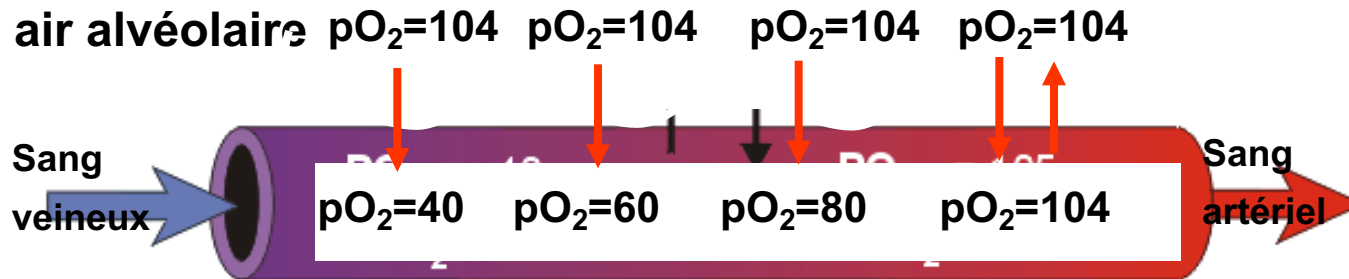
2) Solubilité du gaz

(volume de gaz dissout dans une solution varie avec la solubilité de ce gaz)

- Le CO_2 est 20 fois plus soluble dans l'eau que l' O_2
- Pour une même pression partielle, il y aura 20 fois plus de CO_2 dissout dans le sang que d' O_2 dissout dans le sang.

Echanges gazeux : mécanismes des échanges alvéolaires pour l'oxygène

Ventilation: permet de renouveler l'air alvéolaire et de maintenir la pO_2 alvéolaire stable.



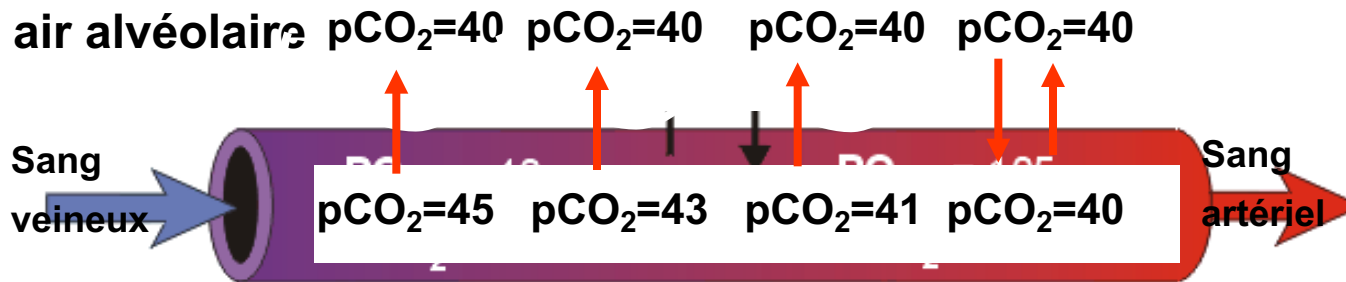
· L'O₂ DIFFUSE DE L'AIR ALVÉOLAIRE ($pO_2 = 104$) VERS LE SANG ($pO_2 = 40$)

· LA DIFFUSION CESSE LORSQUE
 pO_2 ARTÉRIELLE = pO_2 ALVÉOLAIRE = 104 mmHg

Le sang artériel ne peut pas avoir une pO_2 supérieure à la pO_2 alvéolaire

Echanges gazeux : mécanismes des échanges alvéolaires pour le CO₂

Ventilation: permet de renouveler l'air alvéolaire et de maintenir la pCO₂ alvéolaire stable.



·LE CO₂ DIFFUSE DU SANG VEINEUX (pCO₂ = 45)
VERS L'AIR ALVÉOLAIRE (pCO₂ = 40)

·LA DIFFUSION CESSE LORSQUE
pCO₂ ARTÉRIELLE = pCO₂ ALVÉOLAIRE = 40 mmHg

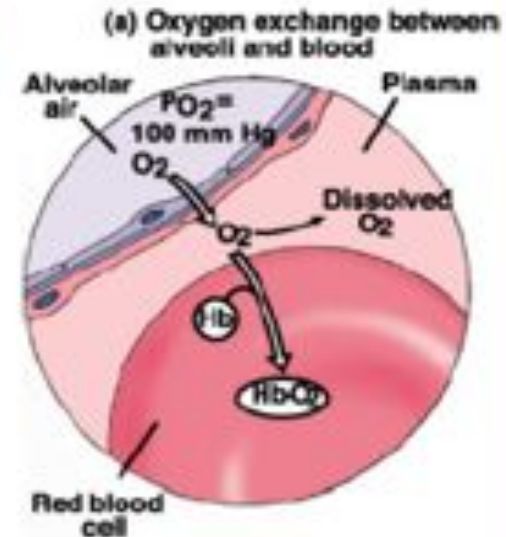
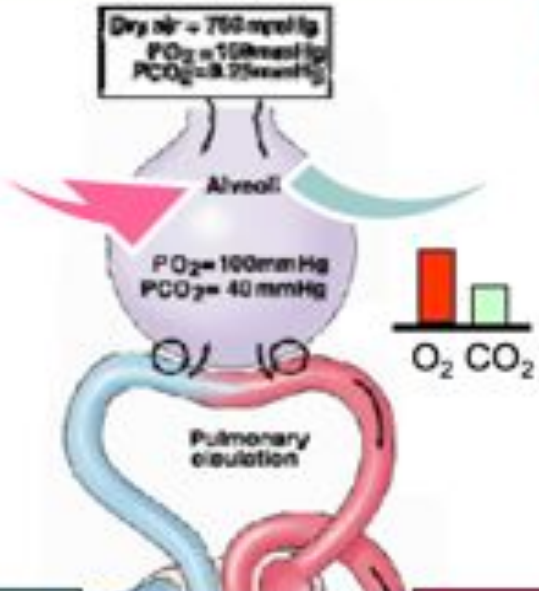
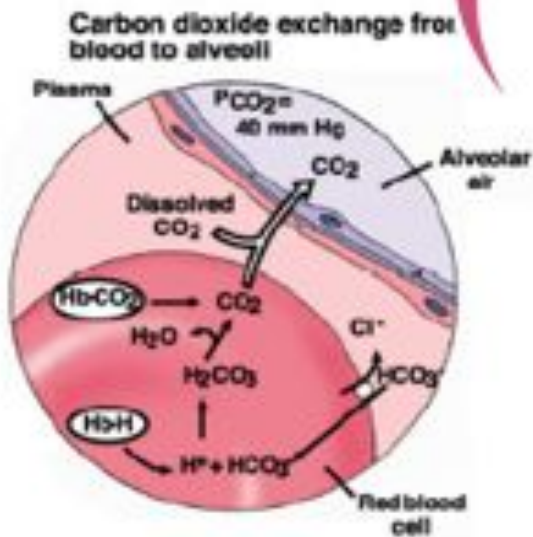
En temps normal, le sang artériel qui quitte un capillaire pulmonaire à la même pO₂ et la même pCO₂ que l'air alvéolaire.

Echanges gazeux : échanges alvéolaires



Air inspiré = 760 mmHg
 $PO_2 = 160$ mm Hg
 $PCO_2 = 0,3$ mmHg

Gaz expiré = 760 mmHg
 $PO_2 = 120$ mm Hg
 $PCO_2 = 27$ mmHg



Sang entrant dans les capillaires alvéolaires
 $PO_2 = 40$ mm Hg
 $PCO_2 = 45$ mmHg

Sang sortant des capillaires alvéolaires
 $PO_2 = 104$ mm Hg
 $PCO_2 = 40$ mmHg



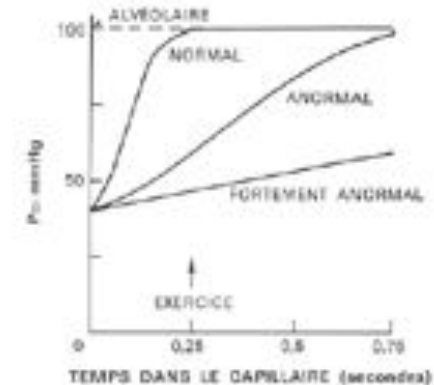
Echanges gazeux : principaux facteurs influençant les échanges alvéolaires

1/ Le gradient de pression partielle

ex.: si haute altitude → ↓ pO₂ alvéolaire → ↓ gradient de pO₂ entre le sang et l'air alvéolaire → ↓ vitesse des échanges gazeux → ↓ pO₂ artérielle

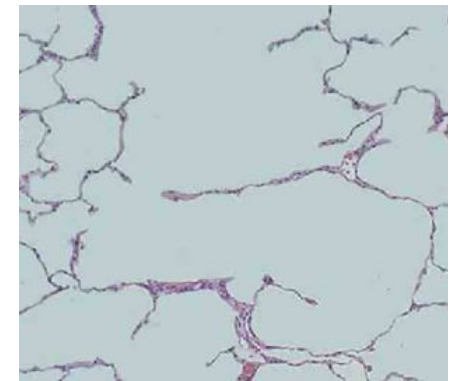
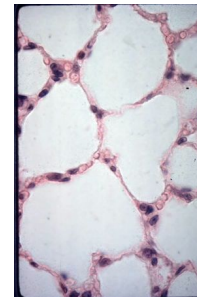
2/ Epaisseur de la membrane alvéolo-capillaire

Si ↑ de l'épaisseur de la membrane alvéolo-capillaire (ex.: œdème pulmonaire où ↑ LI) → ↓ vitesse des échanges → ↓ pO₂ artérielle



3/ Surface totale de la membrane alvéolo-capillaire

Si surface totale ↓ (ex.: emphysème où destruction des parois alvéolaires) → ↓ vitesse des échanges → ↓ pO₂ artérielle



Echanges gazeux



Sang sortant des capillaires systémiques

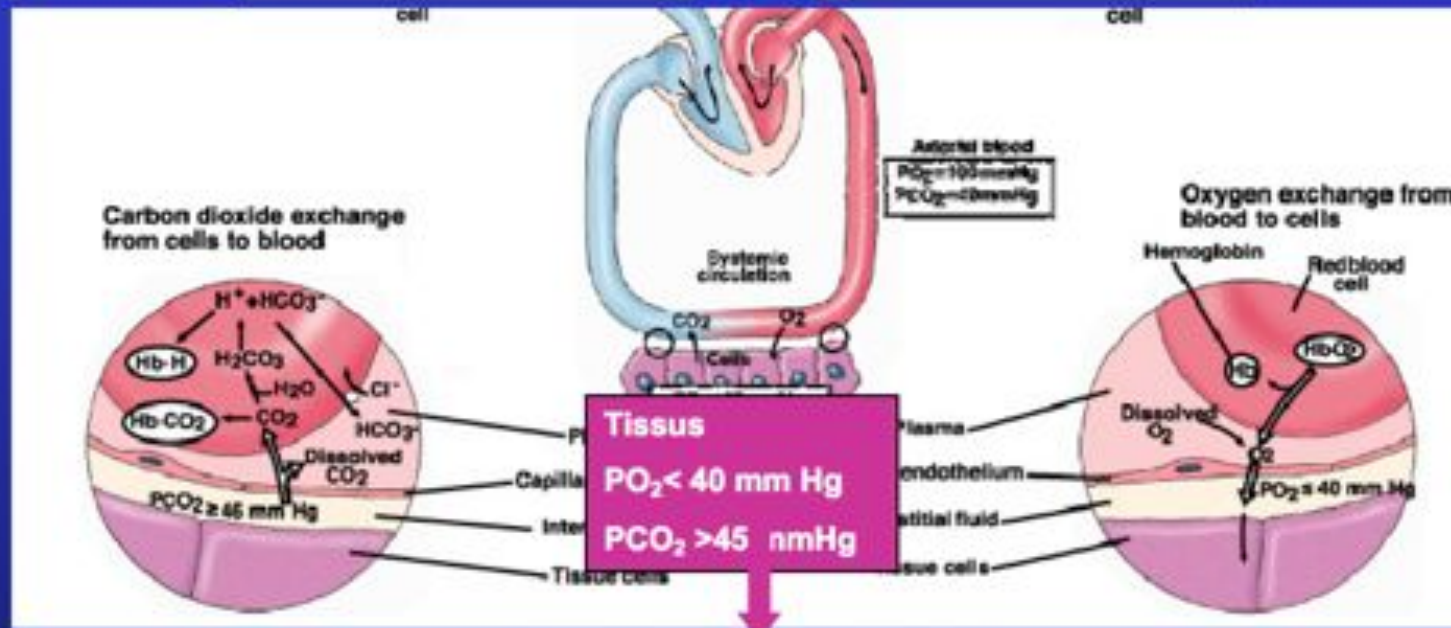
PO₂=40 mm Hg

PCO₂=45 mmHg

Sang entrant dans les capillaires systémiques

PO₂=104 mm Hg

PCO₂=40 mmHg



Valeur d'un tissu au repos

PO₂=40 mm Hg

PCO₂=45 mmHg



Transport des gaz dans le sang

TRANSPORT de l' O_2

- essentiellement sous forme combinée (97% lié à l' hémoglobine)
- faible quantité dissoute (3%)

TRANSPORT du CO_2

- sous forme dissoute (5-10%)
- sous forme combinée :
 - lié à l' hémoglobine (30%)
 - après réaction chimique : bicarbonates (60-65%)

L'hémoglobine Hb

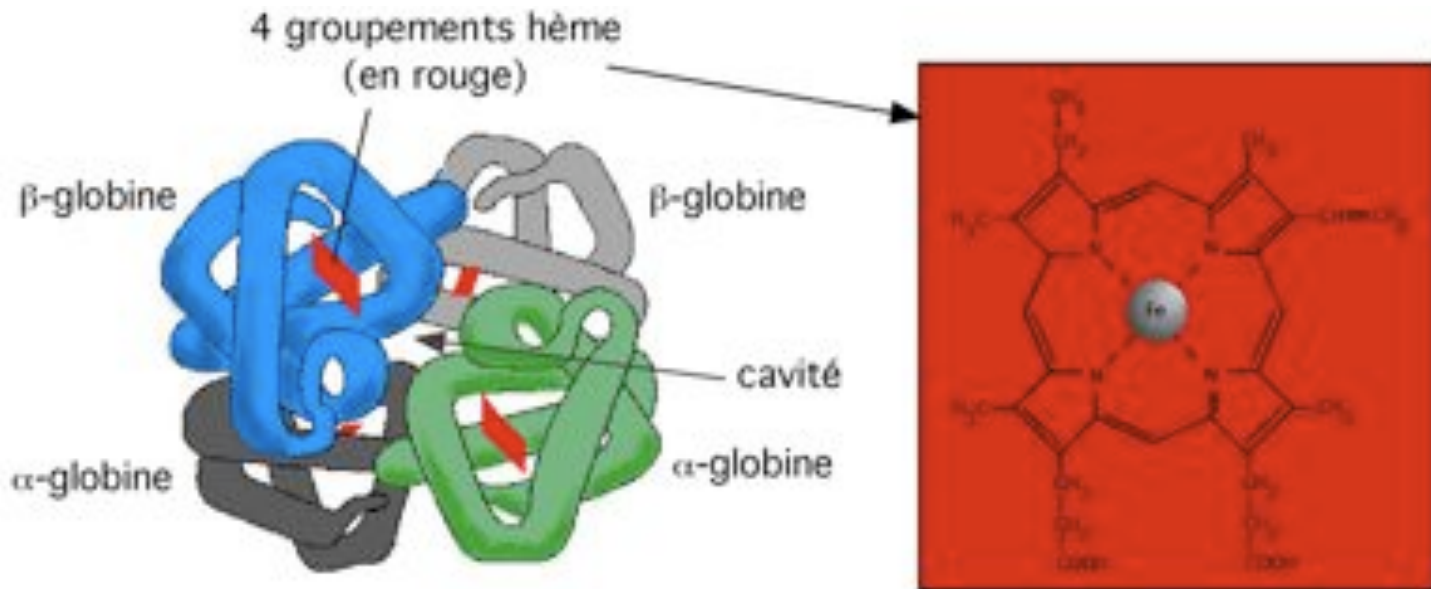
4 molécules de globine (polypeptides)

4 structures héminiques : hème composé par

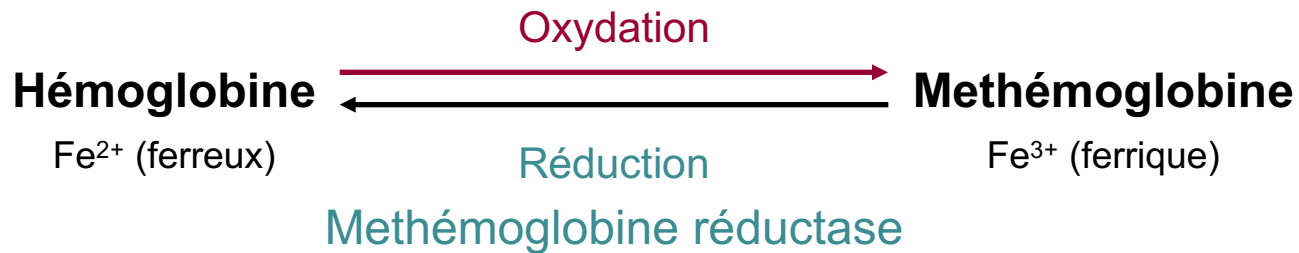
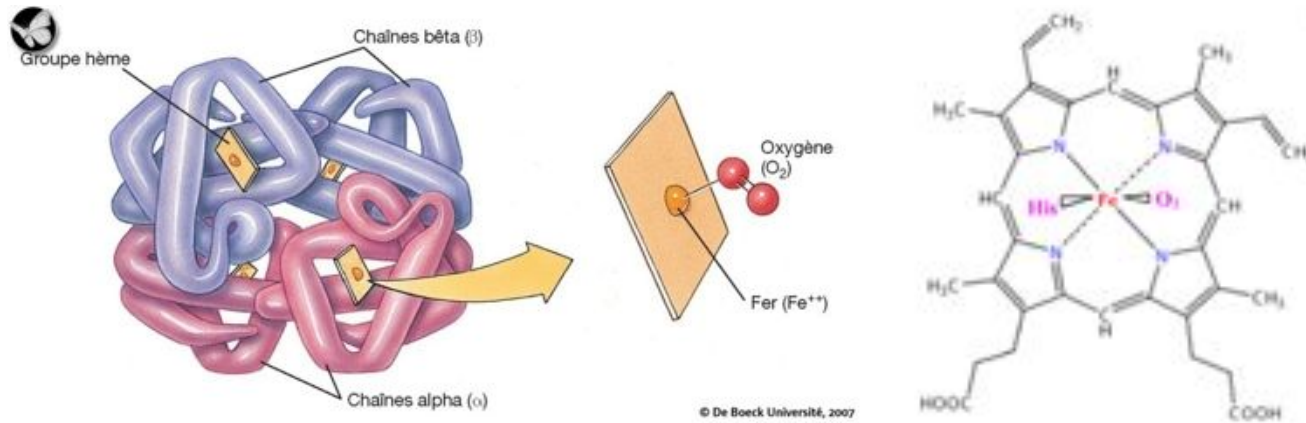
- 1 atome de fer héminique Fe^{2+}
- 1 noyau porphyrine

Chaque atome de fer héminique Fe^{2+} peut fixer une molécule d' O_2

- lorsque l'hémoglobine porte de l' O_2 = oxy-hémoglobine



L'hémoglobine Hb



Fe²⁺ (ferreux) – 6 Valences Lie l'O₂

Fe³⁺ (ferrique) – 5 valences Ne lie pas l'O₂

L'hémoglobine Hb

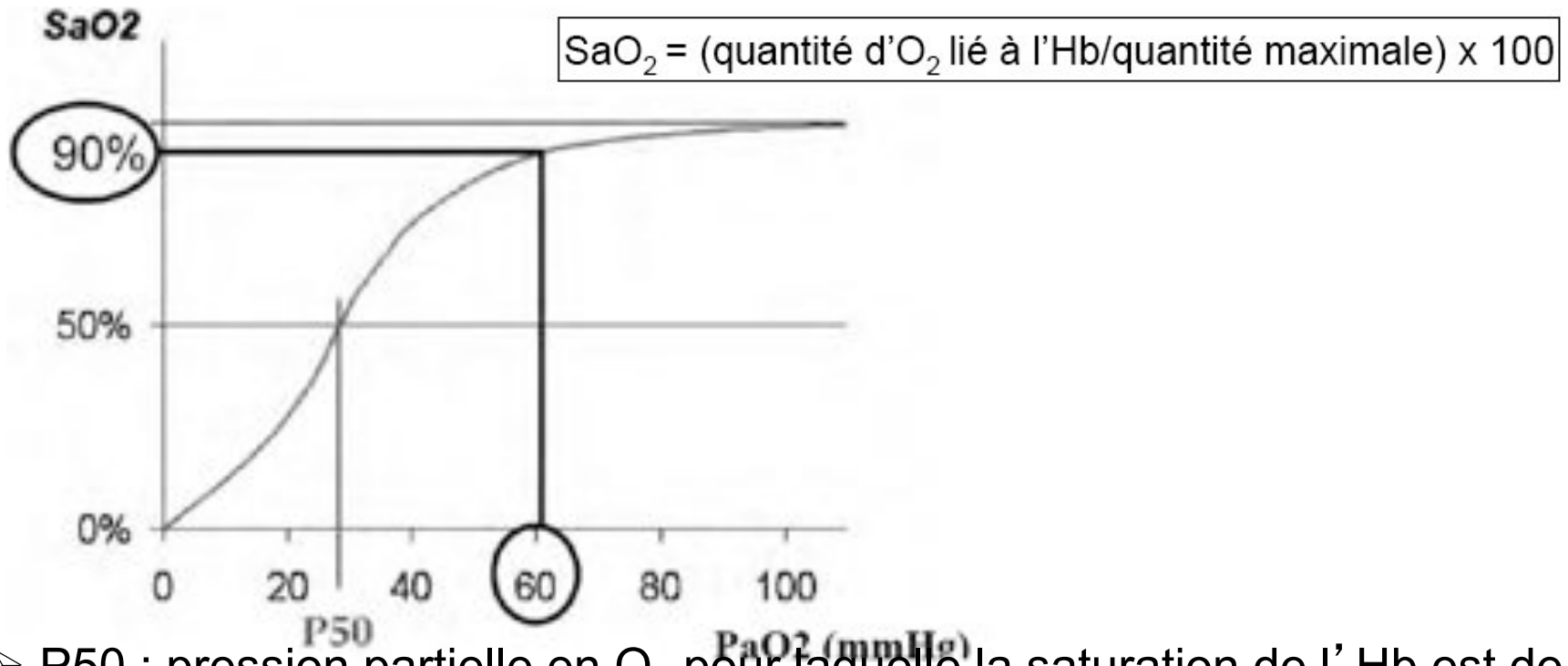
1 molécule d' Hb peut fixer 4 molécules d' O₂

La fixation de la 1^{ère} molécule d' O₂ sur le 1^{er} groupe hème facilite la fixation des molécules suivantes

➤ la 4^{ème} molécule d' O₂ se fixe 200 fois plus vite que la 1^{ère}

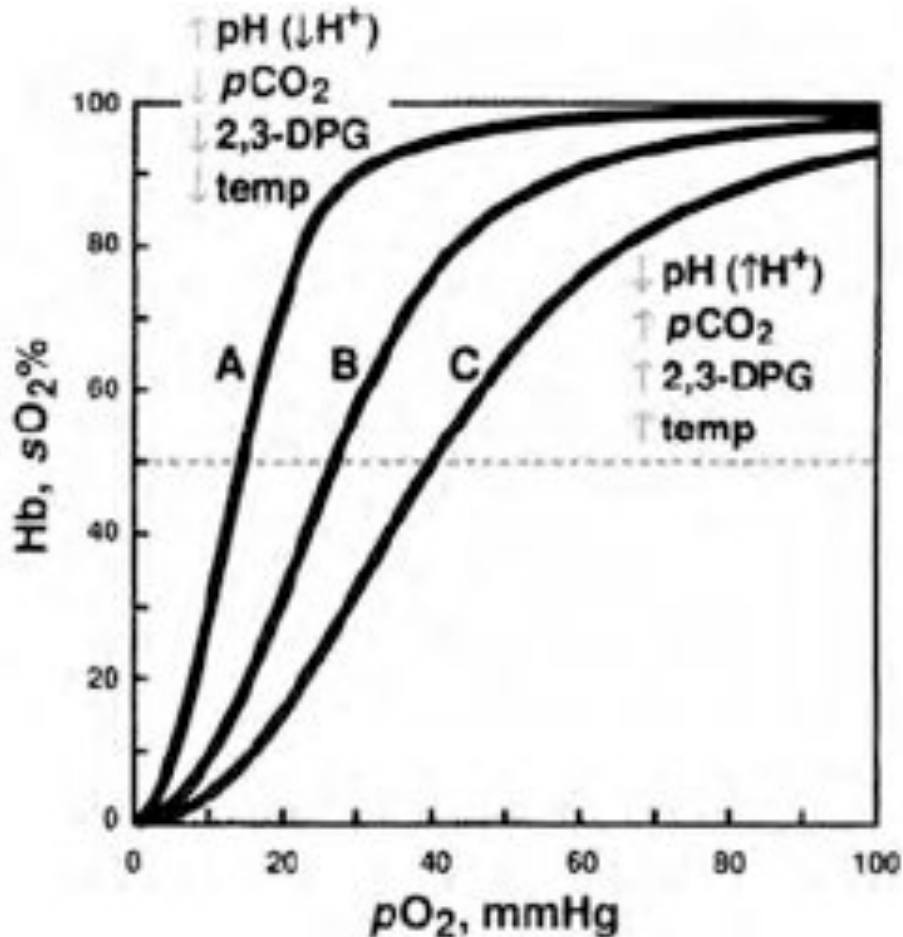
Cette propriété conduit à la forme particulière de la courbe de dissociation de l' Hb

Courbe de dissociation de l'Hb



- P50 : pression partielle en O₂ pour laquelle la saturation de l'Hb est de 50%
 - chez l'homme normal P50 = 26 mmHg
- Saturation artérielle de l'Hb en O₂ (SaO₂) de 90% constitue le seuil de dangerosité pour les patients
 - le plus souvent pour SaO₂ 90%; Pression partielle artérielle en O₂ PaO₂ = 60 mmHg

Courbe de dissociation de l'Hb



L'affinité de l'Hb pour l'O₂ et la courbe de dissociation peuvent être modifiées par différents facteurs :

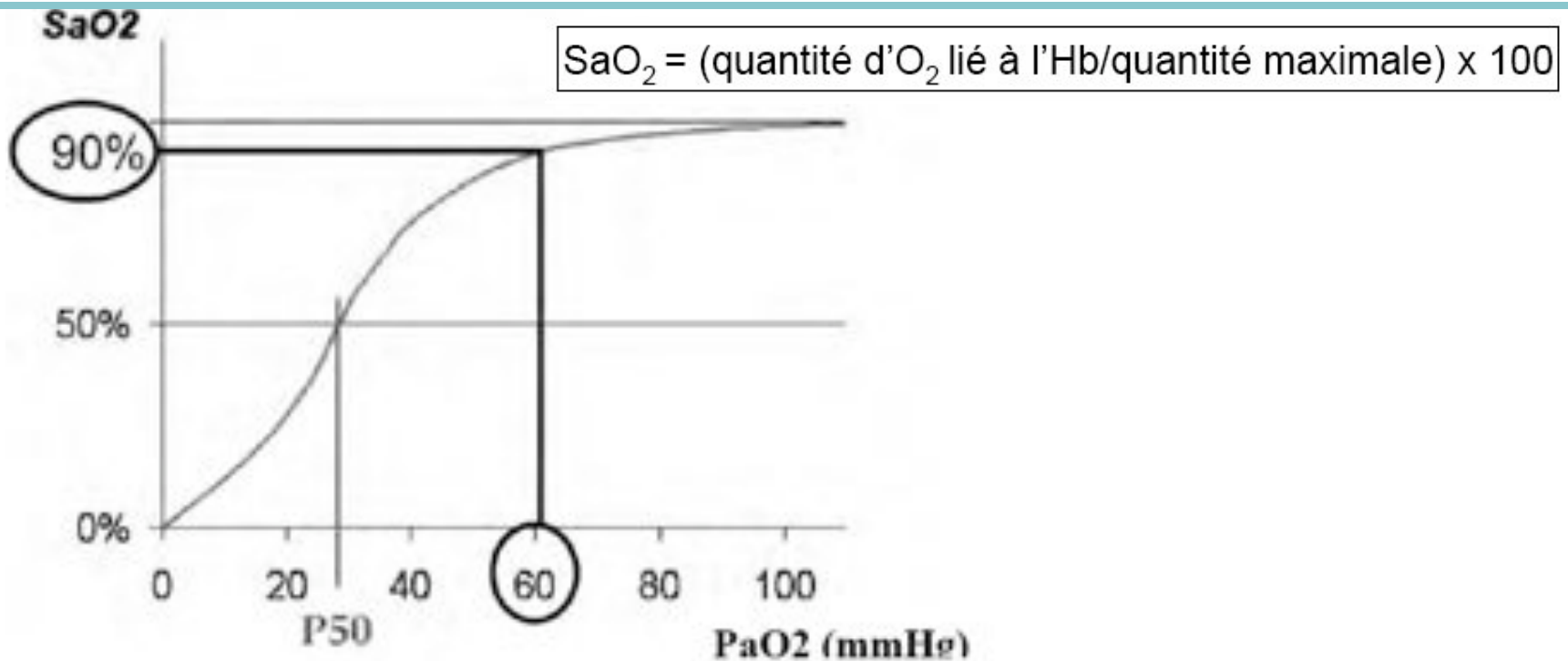
- le ph
- la température
- la PCO₂
- le 2,3 DPG
(métabolite de la glycolyse :
2,3 diphosphoglycérate)

A : affinité augmentée : libération d'O₂ par l'Hb diminuée

B : « normale »

C : affinité diminuée : libération d'O₂ par l'Hb augmentée

Le contenu du sang artériel en O₂



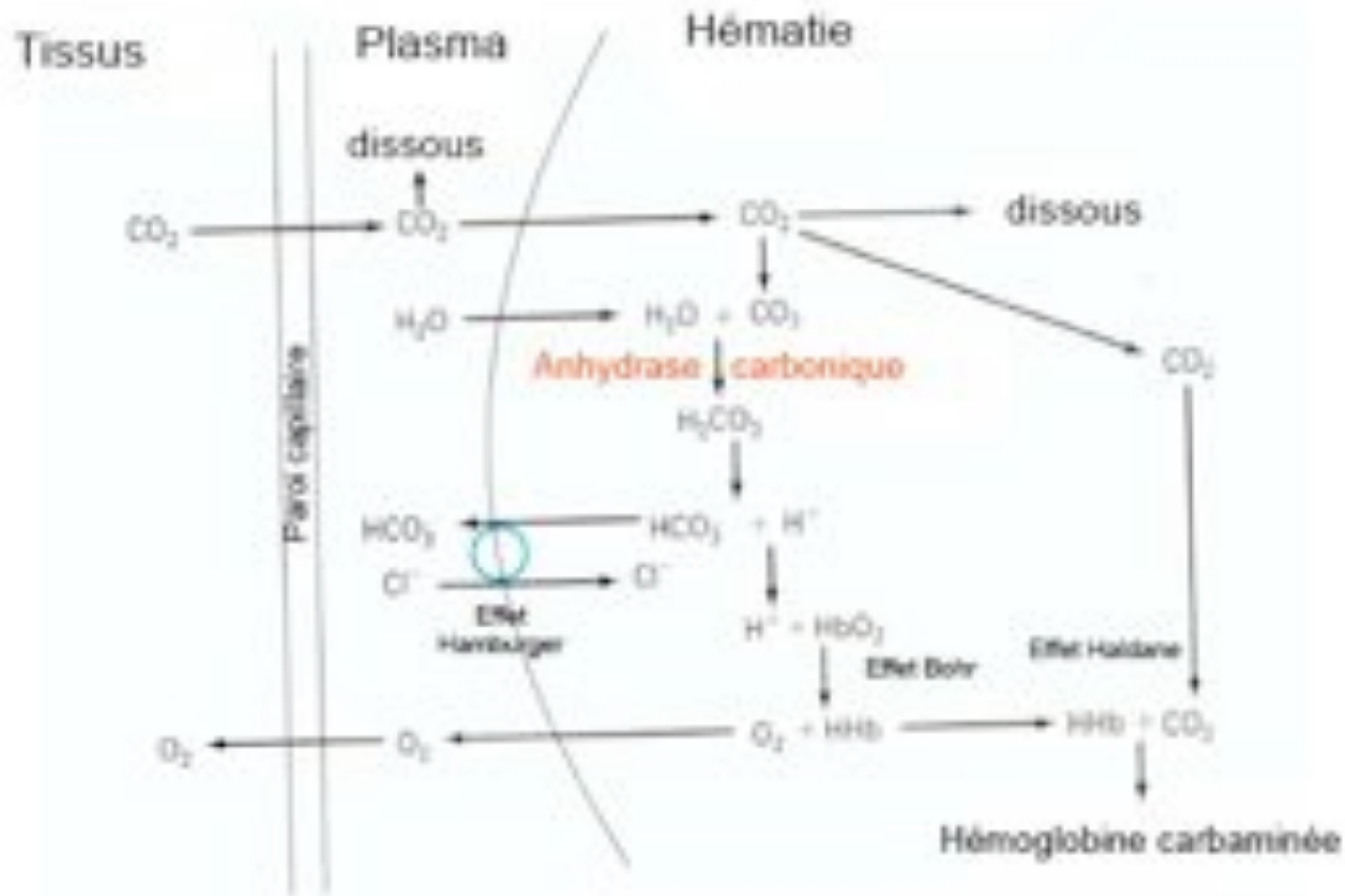
- il dépend de la concentration sanguine en Hb et de la SaO₂
- la forme de la courbe de dissociation = protection contre les chutes de pression partielle en O₂
 - si PO₂ chute de 100 mmHg à 60 mmHg, SaO₂ ne chutera que de 10% (répercussion modérée)
 - passé le seuil de 90% de SaO₂, la chute de saturation sera rapide et brutale (donc SaO₂ = 90% : seuil d'alerte)

Transport du CO₂ par le sang

CO₂ transporté sous 3 formes :

- les **bicarbonates HCO₃⁻** (60-65% du CO₂ transporté par le sang)
- une **fraction dissoute** de CO₂ (responsable de la PCO₂ du sang; 5-10% du CO₂ transporté)
- une forme fixée à l' Hb = **carbino-hémoglobine** (30% du CO₂ transporté)

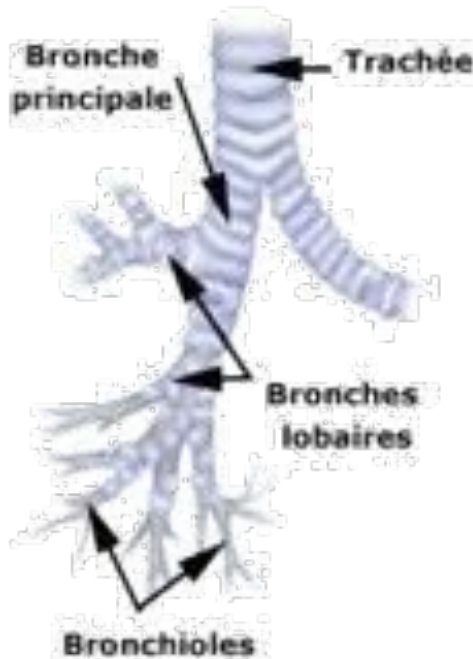
Transport du CO₂ par le sang





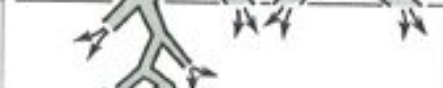







VENTILATION PULMONAIRE

Voies de conduction des gaz

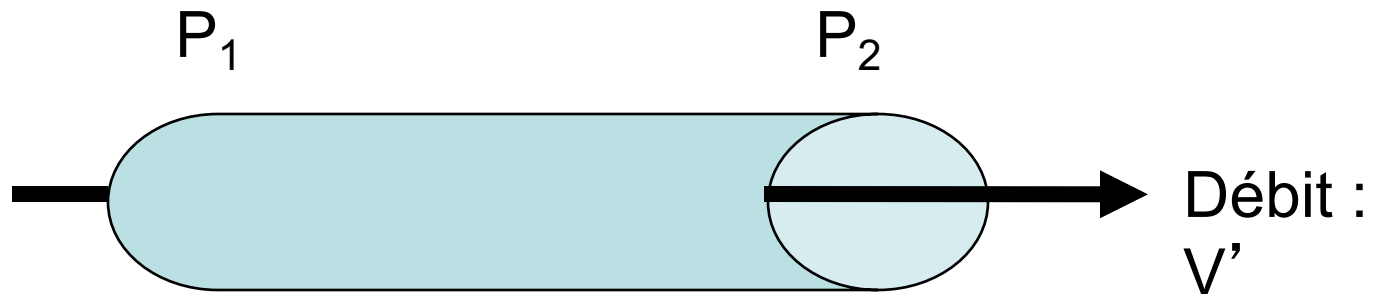
Les **voies de conduction** correspondent à la trachée et aux bronches qui se divisent par dichotomies successives



Génération	Dichotomie		Constitution de leur paroi						
			Muqueuse		Cellules musculaires lisses	Glandes	Cartilage hyalin	Alvéoles	
			Épithélium	Chorion					
0		Trachée (desservant les 2 poumons)	prismatique pseudo-atrié fait de cellules ciliées et de cellules muqueuses caliciformes	Tissu conjonctif riche en fibres élastiques et en tissu lymphoïde	Muscle trachéal (reliant l'extrémité postérieure des arceaux cartilagineux)	Glandes trachéales (muqueuses et séreuses)	Arceaux cartilagineux empilés ouverts en arrière		
1		Bronches-souches (desservant chacune un poumon)			prismatique simple cilié avec cellules caliciformes	Muscle de Reissessen (circulaire)	Glandes bronchiques (muqueuses et séreuses)	Ilots cartilagineux irréguliers	
2		Bronches intra-pulmonaires (desservant un lobe, puis un segment puis un sous-segment)							
3		Bronchioles (desservant un lobule pulmonaire)	cubique simple dépourvu de cellules caliciformes avec cellules ciliées de plus en plus rares	DIMINUTION PROGRESSIVE	DIMINUTION PROGRESSIVE				
4 5 6 7 8		Bronchioles terminales							
16		Bronchioles respiratoires (desservant un acinus pulmonaire)	quelques cellules cubiques non ciliées	quelques cellules conjonctives, quelques fibres collagènes et élastiques	quelques cellules musculaires lisses			quelques alvéoles	
17 18 19		Canaux alvéolaires							
20		sacs alvéolaires						Très nombreuses alvéoles, ne laissant persister de la paroi propre que les bourrelets alvéolaires	
21 22									
23								Paroi uniquement faite d'alvéoles juxtaposées	

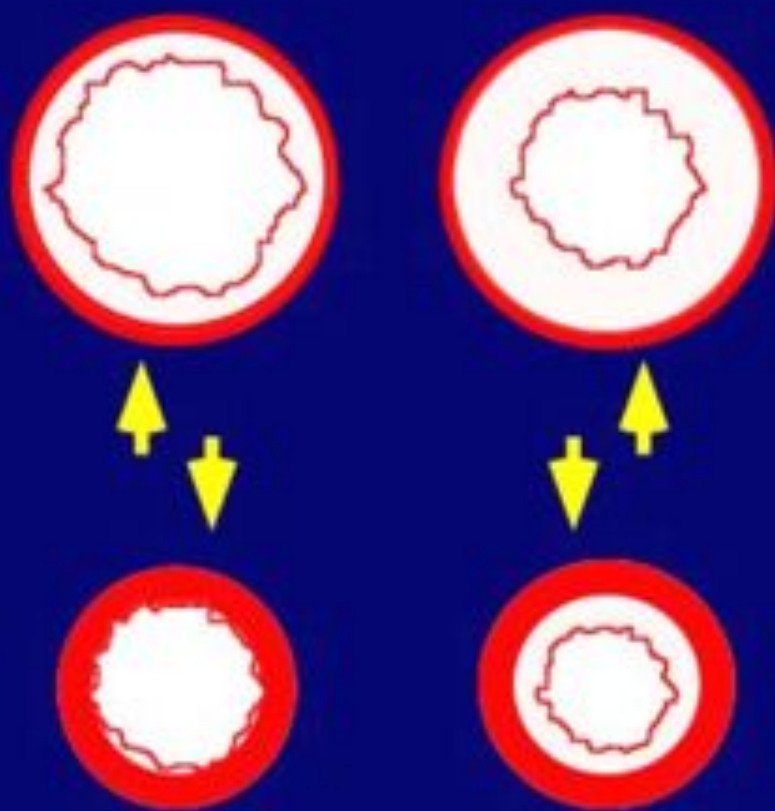
Voies de conduction des gaz

Les **voies de conduction** opposent une résistance à l'écoulement des gaz



$$R = (P_1 - P_2) / V'$$

La résistance de l'arbre bronchique peut se calculer si on connaît le débit gazeux qui le traverse et les pressions à ces extrémités, c'est à dire à l'ouverture des voies aériennes supérieures et dans les alvéoles



normal

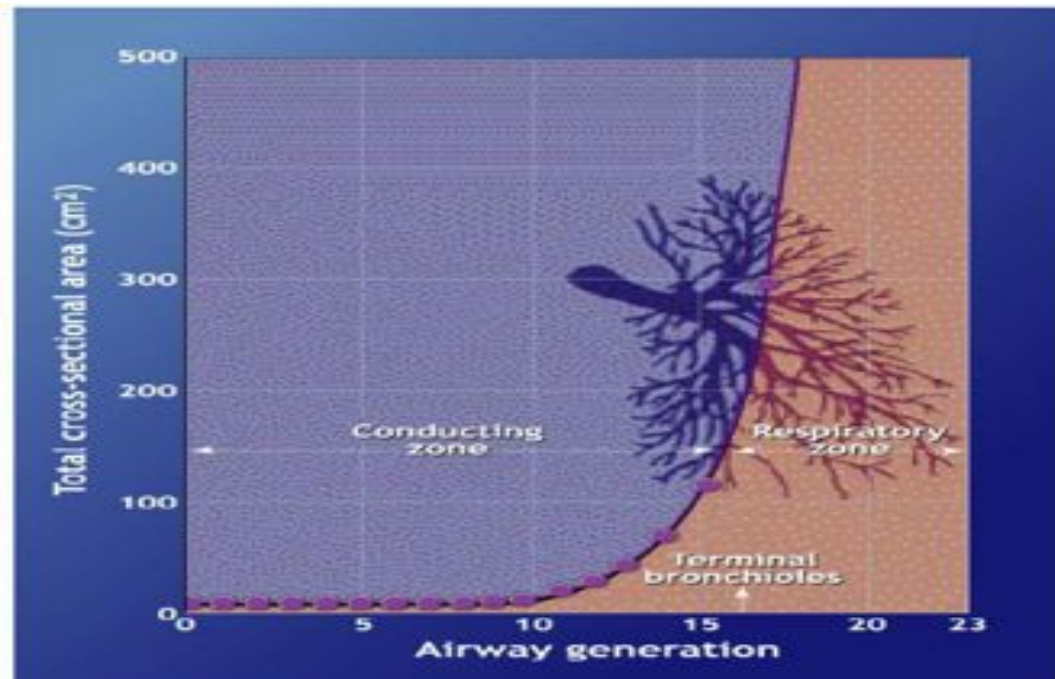
BPCO

$$R = 8l / \pi r^4$$

Résistances

Résistance des voies aériennes :

- 50% : voies aériennes supérieures (nez, pharynx, larynx)
- 40% : trachées et bronches « centrales » (~5^{ème} à 10^{ème} génération)
- 10% : bronches « périphériques »



Les alvéoles

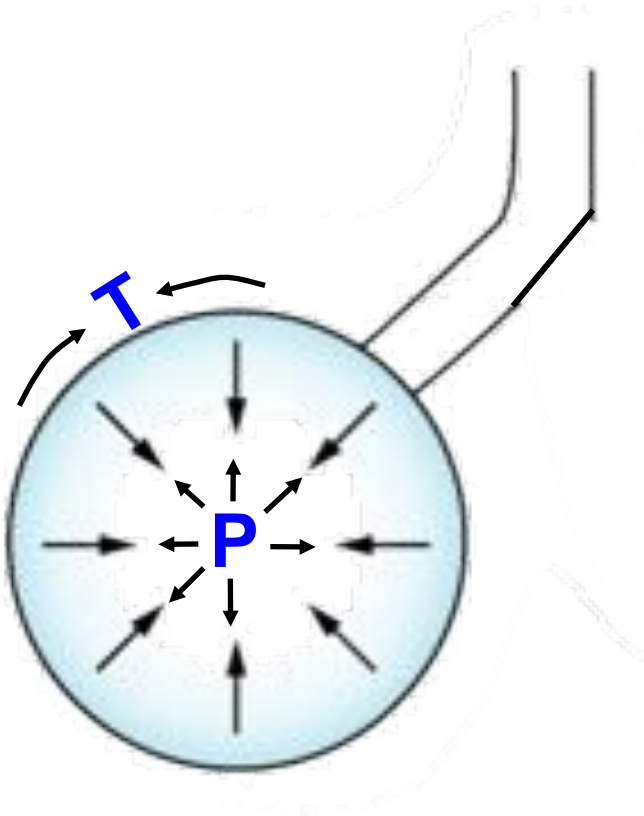
Les alvéoles obéissent à la loi de Laplace :

$$P = 4T/r$$

P : pression dans l'alvéole

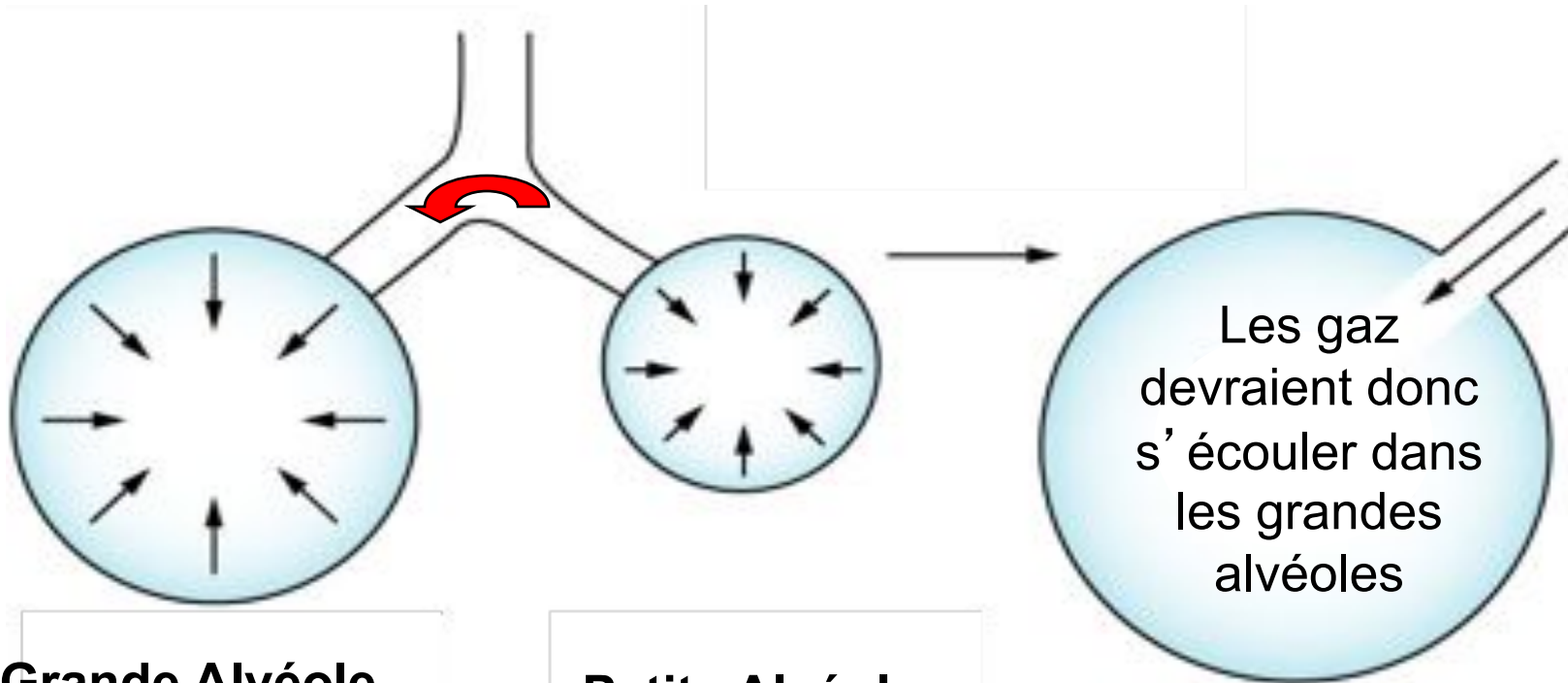
T : tension de surface sur les parois de l'alvéole

r : rayon de l'alvéole (assimilé à une sphère)



Les alvéoles

Selon la loi de Laplace la pression est plus élevée dans les petites alvéoles que dans les grandes



Grande Alvéole

$$r = 2$$

$$T = 3$$

$$P_1 = 4 \times 3 / 2 = 6$$


Petite Alvéole

$$r = 1$$

$$T = 3$$

$$P_2 = 4 \times 3 / 1 = 12$$

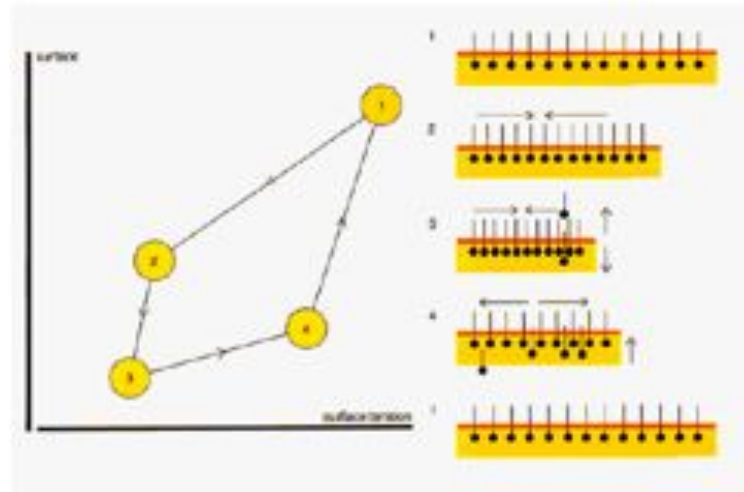
Le surfactant



Les gaz
devraient donc
s'écouler dans
les grandes
alvéoles

MAIS ce n'est pas le cas, en
raison du **surfactant**

Le surfactant est un film lipido-
protéique qui tapisse la paroi alvéolaire
et réduit la tension de surface des plus
petites alvéoles



Composition du surfactant

LIPIDES (90%)

PROTEINES (10%)

PHOSPHOLIPIDES (85%)

SPECIFIQUES (3%)

- Phosphatidylcholines saturées 50%
(Dipalmitoïlphosphatylcholine : DPPC)
- Phosphatidylcholines insaturées 18%
- Phosphatidyléthanolamine 4%
- Phosphatidylglycérol 8%
- Phosphatidylinositol 2%
- Sphingomyéline 1%

- Glycoprotéines hydrophiles :
SPA, SPD
- Protéines hydrophobes :
SPB, SPC

LIPIDES NEUTRES et CHOLESTEROL (5%)

NON SPECIFIQUES (7%)

SURFACTANT PULMONAIRE

=

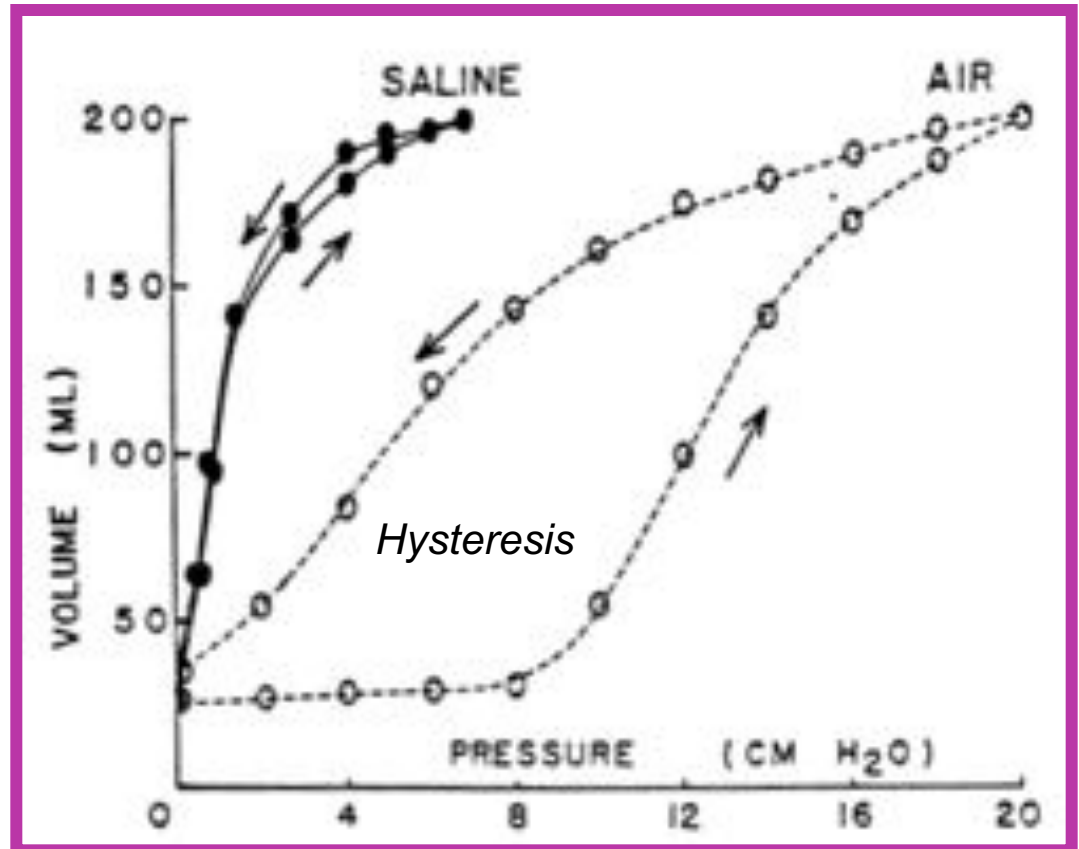
Ensemble des substances permettant de diminuer
la tension de surface à l'interface gaz-liquide
au niveau des alvéoles pulmonaires

Propriétés tensioactives du surfactant

- Von Neergaard (1929), Radford (1954) : rôle des forces de surface à l'interface air-liquide dans le poumon

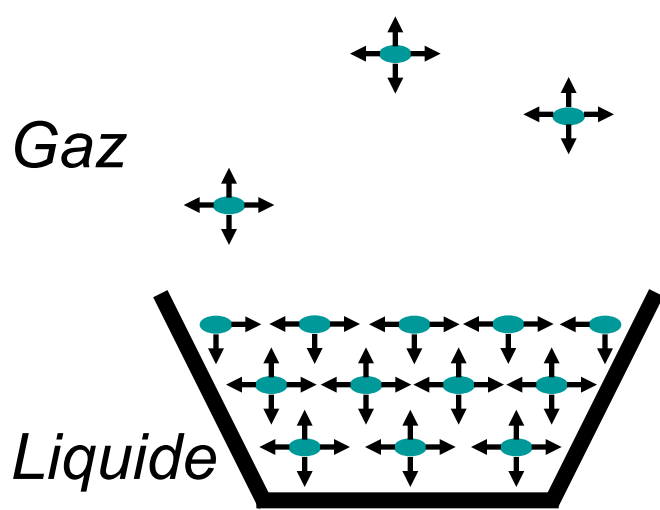
Compliance pulmonaire
(distensibilité)

$$= \Delta V / \Delta P$$

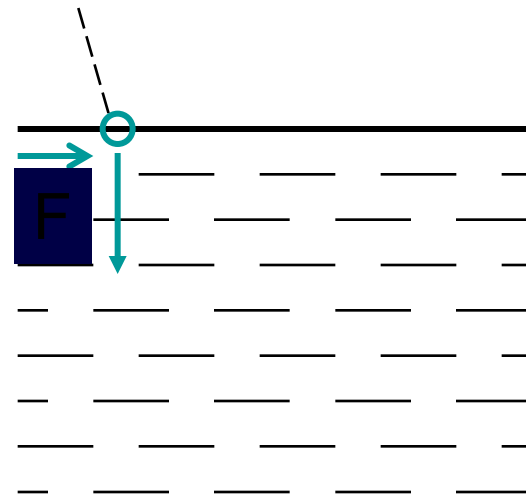


En plus des forces tissulaires, il existe des **forces de surface** qui représentent une part importante des forces de rétraction élastique du poumon

Tensions de surface



Molécules de solvant

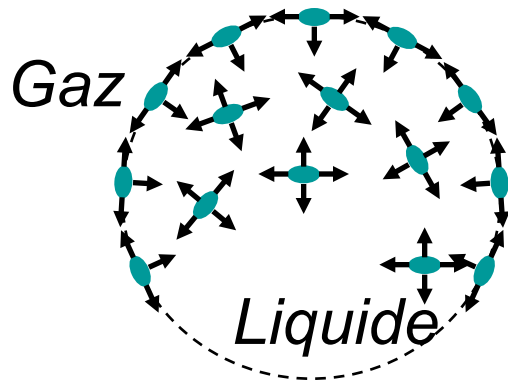


: résultante des forces d'attraction sur les molécules du solvant

La tension de surface T est la résultante des forces d'attraction intermoléculaires appliquées sur les molécules de surface par unité de longueur : $T = F/L$ (en dyn/cm ou mN/m).

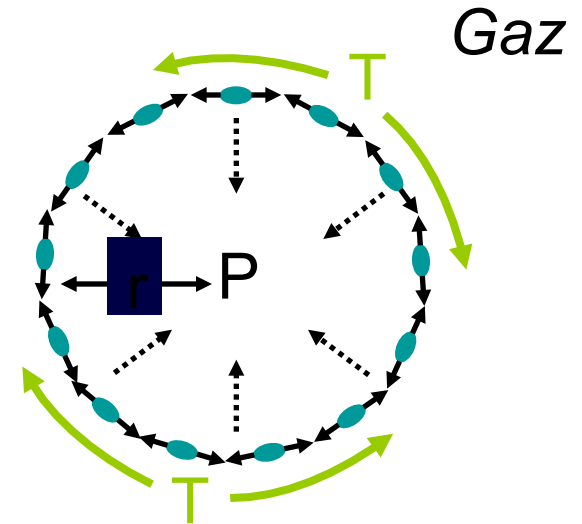
Tension de surface à l'interface air-eau : 70 dyn/cm (mN/m)

Tensions de surface



Sphère

(la plus petite surface possible
pour un volume donné)

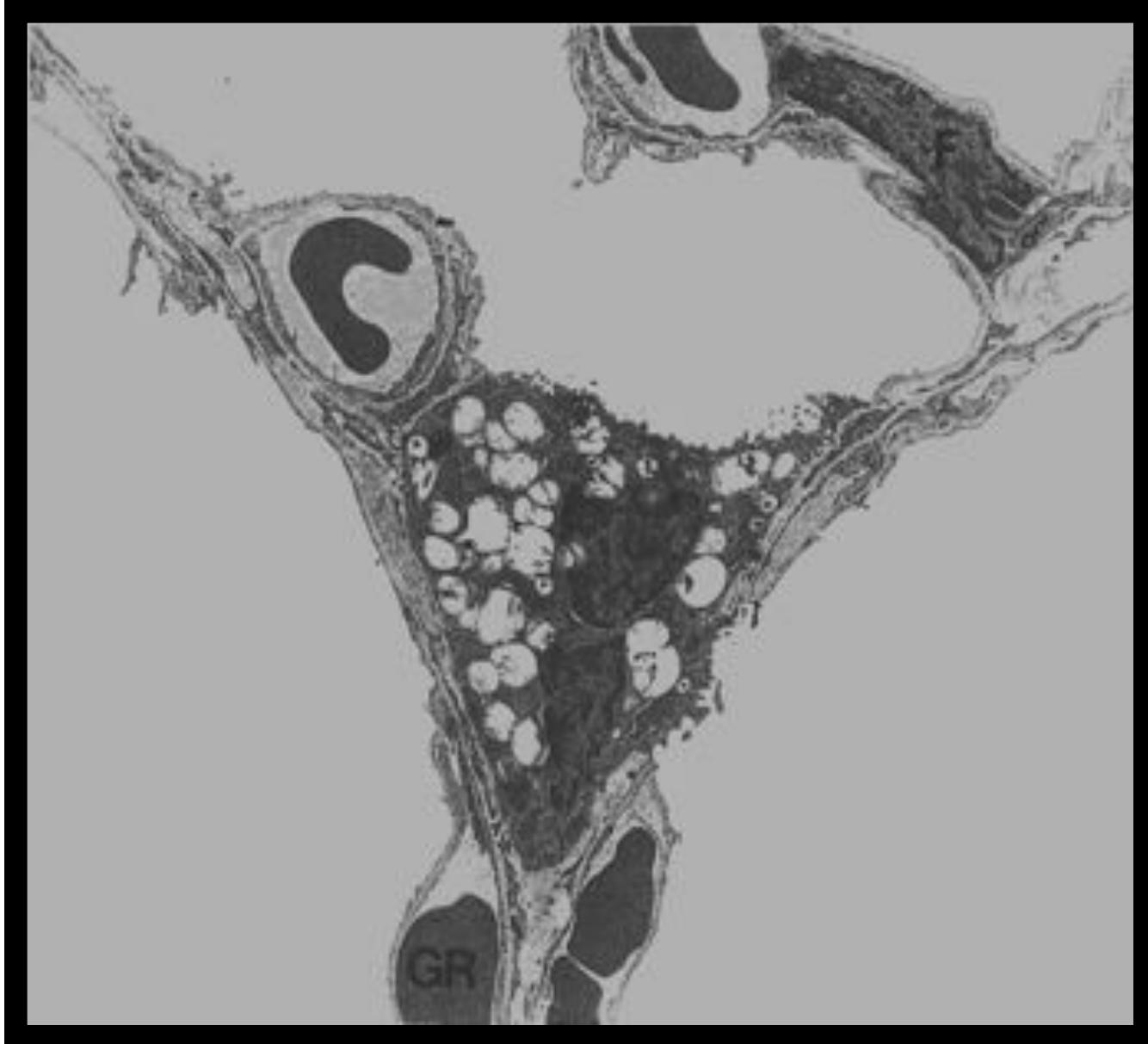


Bulle

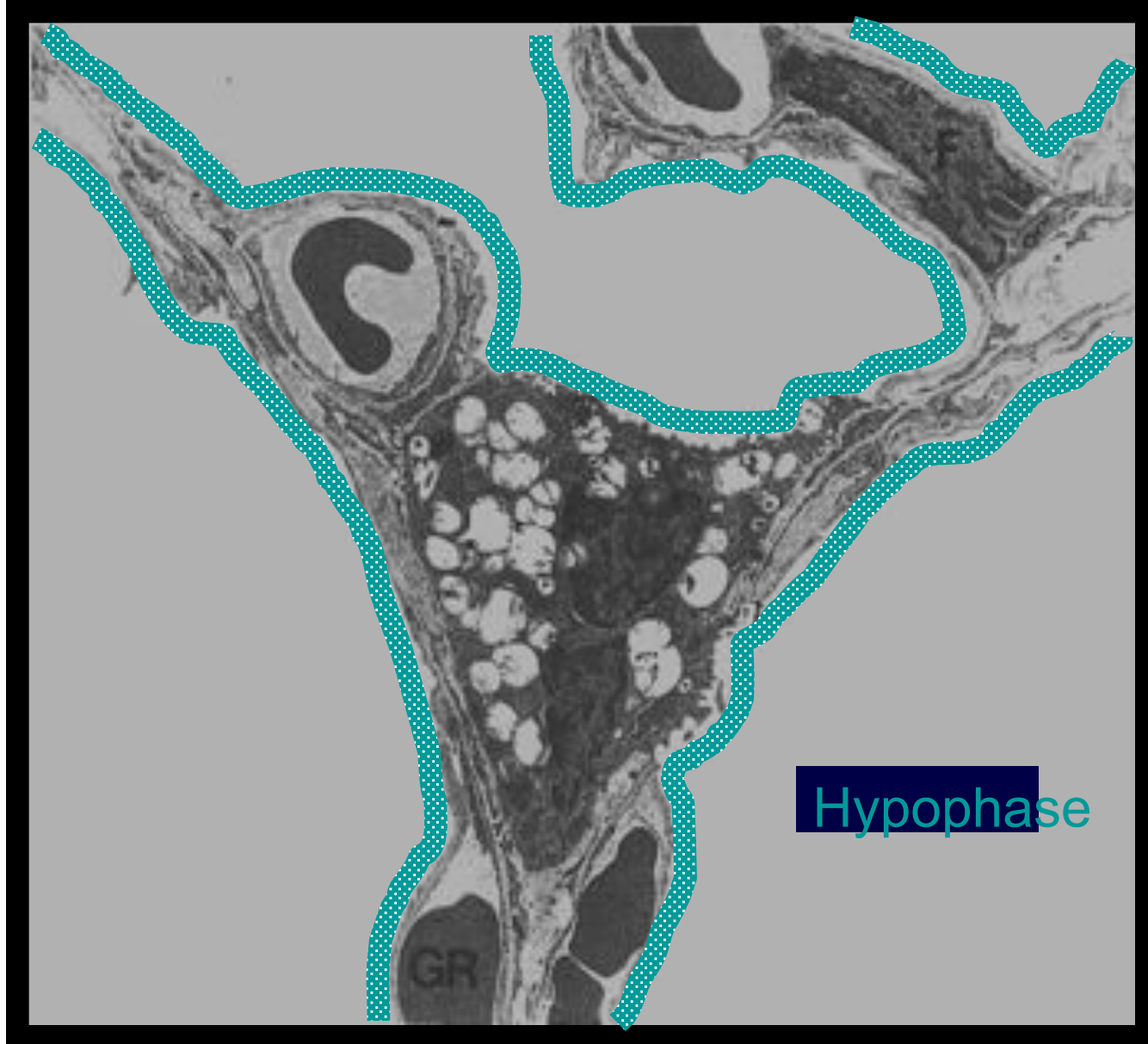
$$P = 2T / r$$

(Loi de Laplace)


Interface gaz-liquide dans l'alvéole



Interface gaz-liquide dans l'alvéole



- Pattle (1955) : très faible tension de surface dans les bulles de liquide d'œdème alvéolaire
- Clements (1958) : la tension de surface du liquide recueilli par lavage bronchoalvéolaire est variable selon la surface offerte au liquide (balance de surface)

 La tension de surface est minimale (10 dyn/cm) quand la surface du liquide est comprimée, maximale (40 dyn/cm) sans compression

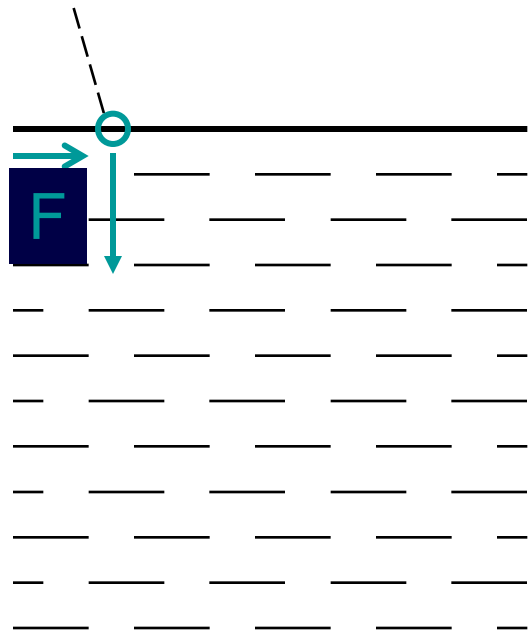


Matériel tensioactif à l'interface air-liquide des alvéoles

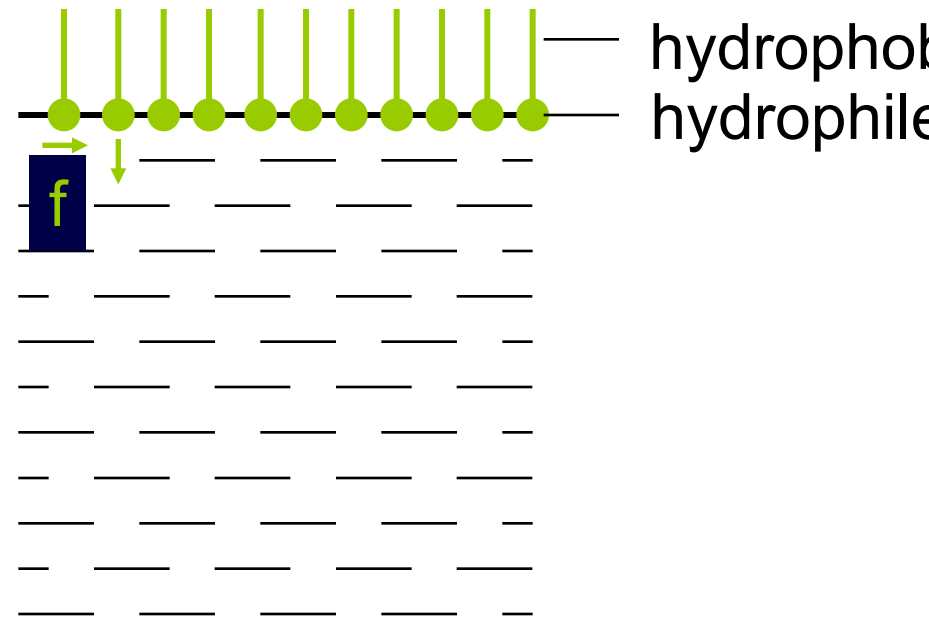
- 1961 : action tensioactive du surfactant attribuée aux phospholipides

Agents tensioactifs : qui réduisent la tension de surface

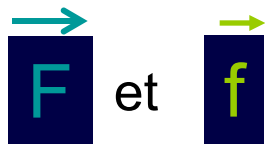
Molécules de solvant



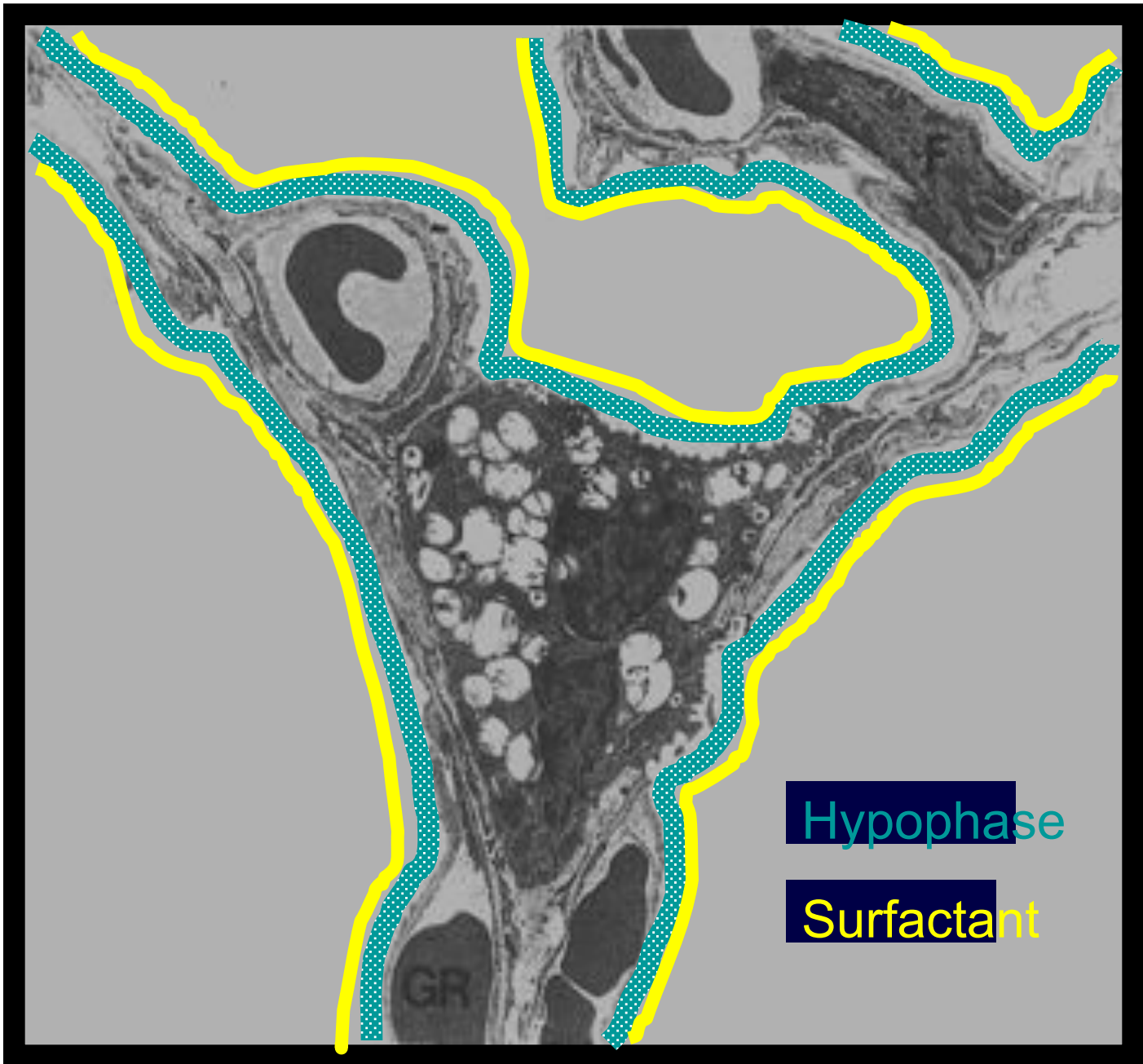
Molécules tensioactives
amphiphiles



Film d'étalement



: résultantes des forces d'attraction sur les molécules
du solvant et du corps tensioactif



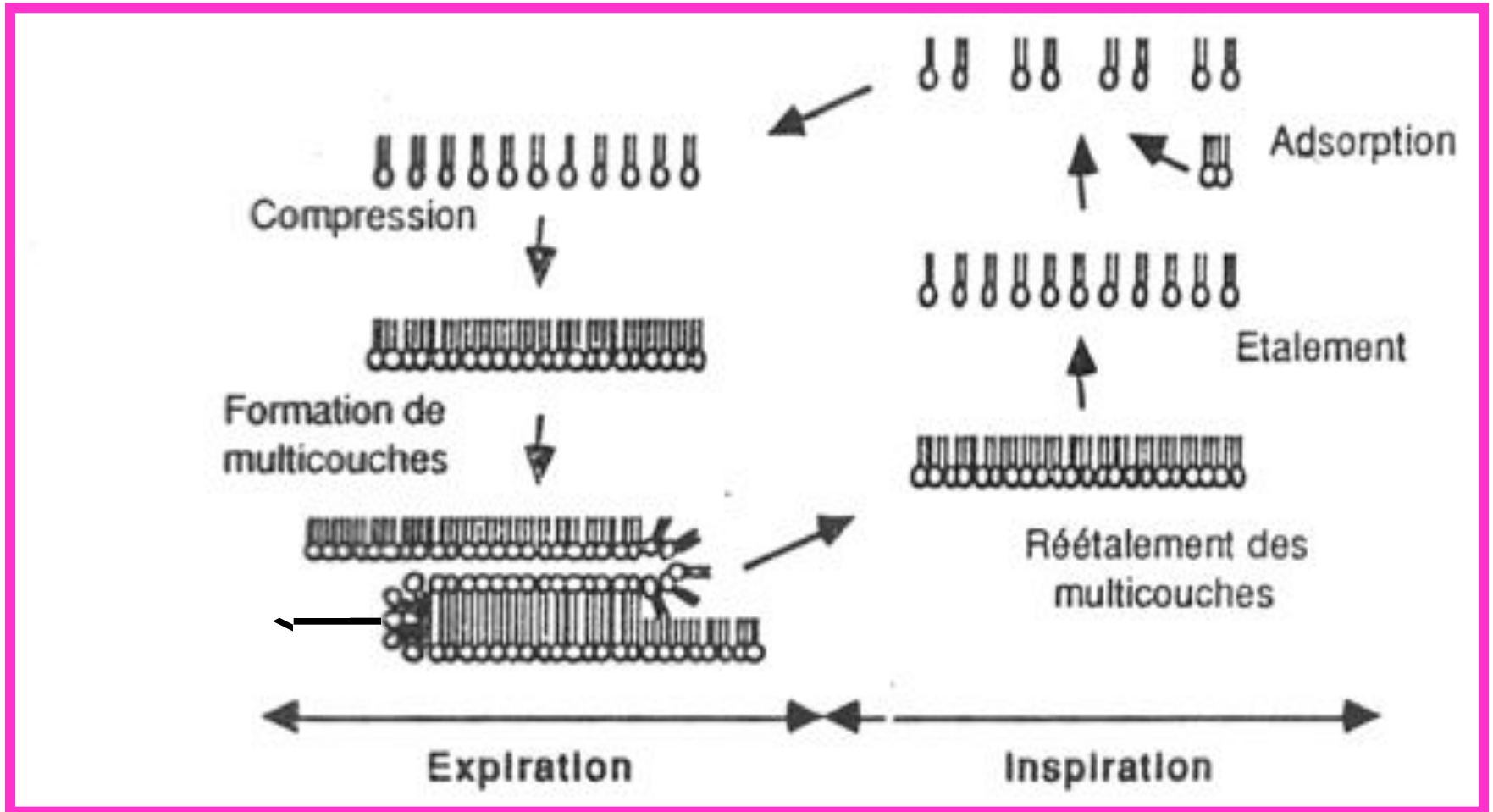
Hypophase

Surfactant

Fonctions du surfactant liées aux propriétés tensioactives :

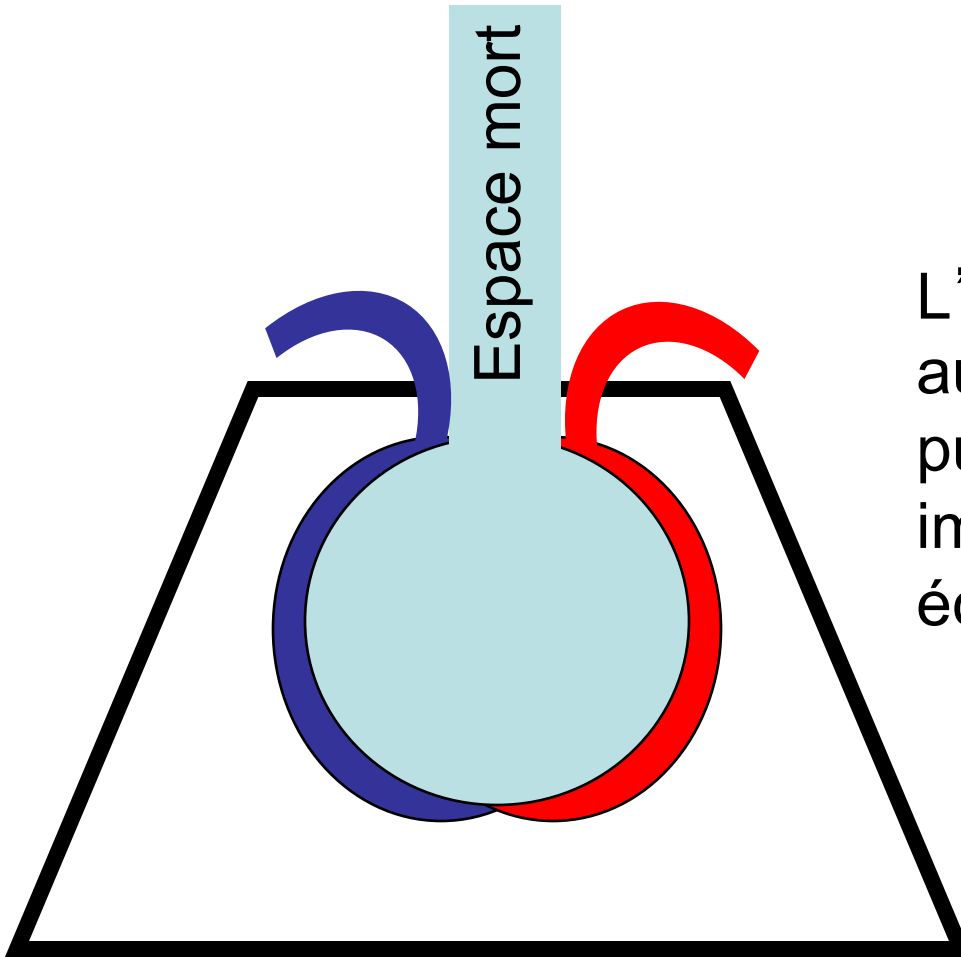
- Augmentation de la compliance pulmonaire
diminution de l'effort inspiratoire
- Stabilisation alvéolaire et bronchiolaire au cours
du cycle ventilatoire
effet anti-atélectasie
- Rôle dans l'homéostasie du fluide alvéolaire en
diminuant la force de succion engendrée par
l'interface gaz-liquide
effet anti-oedème

Surfactant et cycle ventilatoire



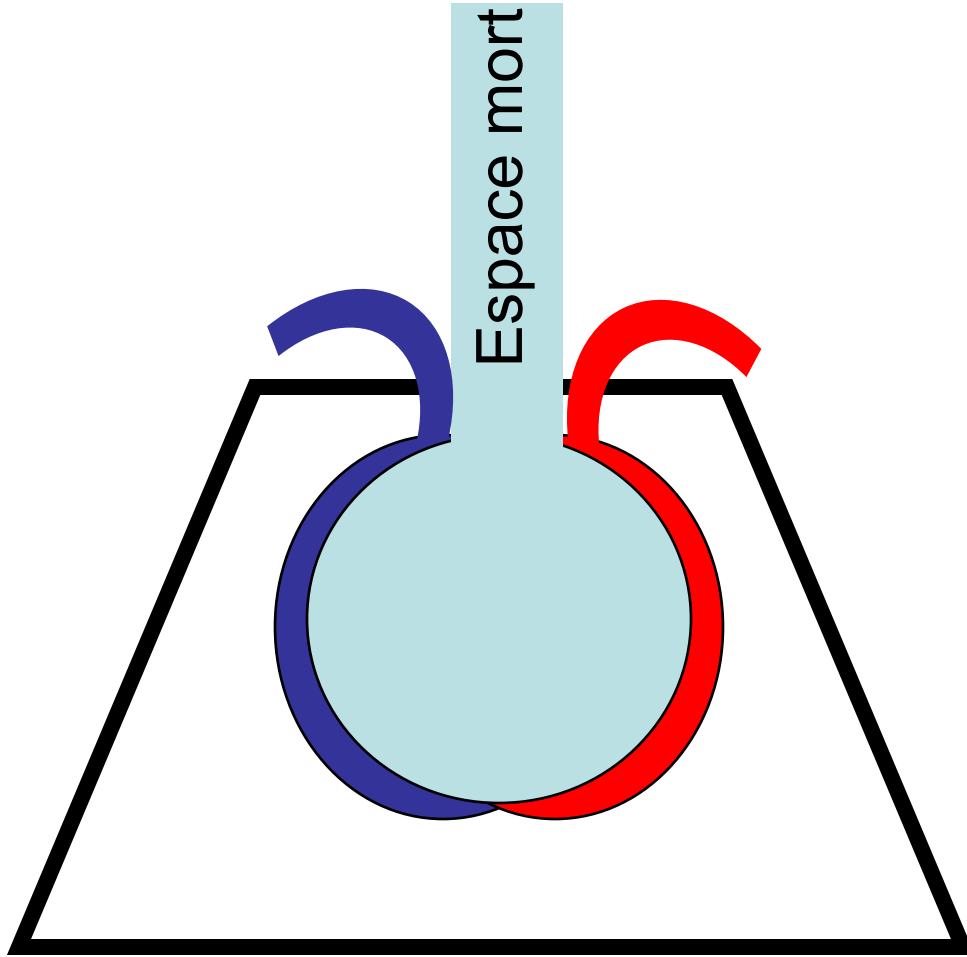
SPB et SPC : facilitent l'adsorption des phospholipides dans le film,
Augmentent les propriétés tensioactives du film

L'espace mort



L'espace mort correspond au volume de gaz pulmonaire qui n'est pas impliqué dans les échanges gazeux

L'espace mort



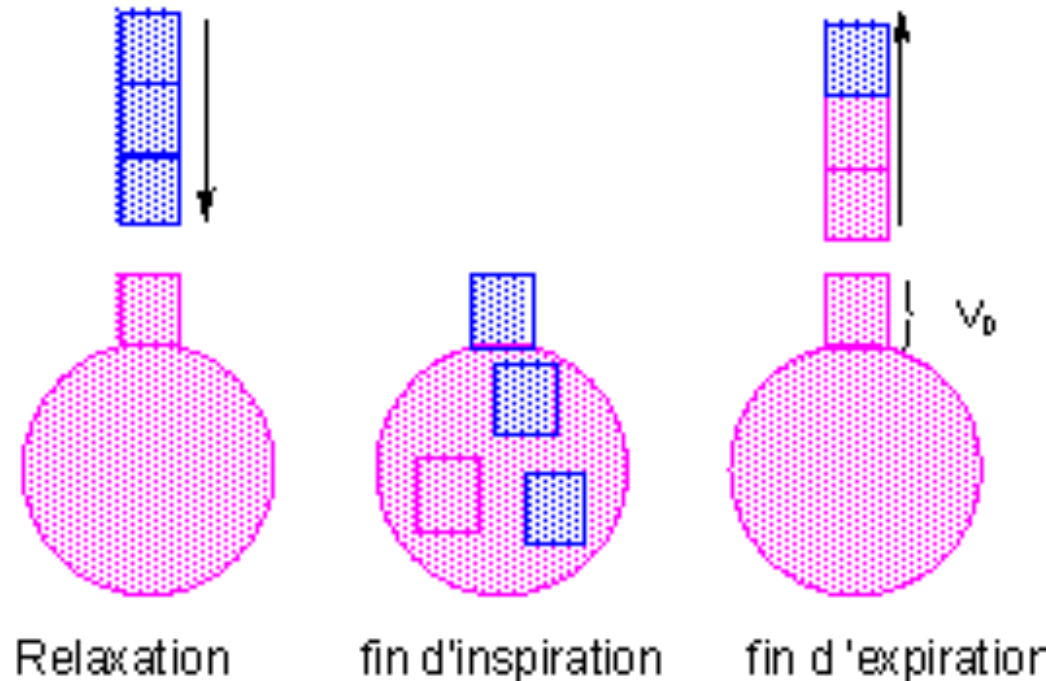
Espace mort Anatomique
= voies de conduction
(~150 ml)

Espace mort physiologique (V_D) = tous les espaces ventilés mais non perfusés (inclut l'espace mort anatomique)

Le volume courant

Le volume courant (V_T) =
volume de gaz qui entre et
qui sort des poumons
pendant la ventilation

Une partie seulement du
 V_T sert aux échanges
gazeux. C'est la partie qui
atteint les alvéoles
(volume alvéolaire, V_A).
L'autre partie, qui
n'atteint pas les alvéoles
correspond à l'espace
mort (V_D).



Le volume courant

Le volume courant (V_T) =
volume de gaz qui entre et
qui sort des poumons
pendant la ventilation

Une partie seulement du
 V_T sert aux échanges
gazeux. C'est la partie qui
atteint les alvéoles
(volume alvéolaire, V_A).
L'autre partie, qui
n'atteint pas les alvéoles
correspond à l'espace
mort (V_D)

$$V_T = V_D + V_A$$

Le Débit Ventilatoire (la ventilation totale)

Le débit **ventilatoire** (V') est le débit de gaz qui entre (**débit inspiratoire**, V'_I) ou qui sort (**débit expiratoire**, V'_E) des poumons. Il peut être mesuré au nez ou à la bouche.

On admet que $V'_I = V'_E$

Mais ceci n'est pas toujours vrai car la production de CO_2 n'est en générale pas égale à la consommation d' O_2
Au repos $R = V'_{CO_2}/V'_{O_2} \sim 0,8$

Le Débit Ventilatoire

Le débit **ventilatoire** (V') est le débit de gaz qui entre (**débit inspiratoire**, V'_I) ou qui sort (**débit expiratoire**, V'_E) des poumons. Il peut être mesuré au nez ou à la bouche.

On admet que $V'_I = V'_E$

$$V'_E = V_T \times F$$

F étant la fréquence respiratoire

La ventilation (ou débit) alvéolaire (V'_A)

La ventilation alvéolaire (V'_A), c'est à dire les débits gazeux au niveau des alvéoles, sert à capter l' O_2 et à éliminer le CO_2

Par exemple, la pression partielle en CO_2 du sang artérielle est inversement proportionnelle à V'_A

$$PaCO_2 = K.V'CO_2 / V'_A$$

Donc l'une des conséquences d'une insuffisance de ventilation alvéolaire est une élévation de la $PaCO_2$

MECANIQUE VENTILATOIRE

Les structures passives et actives

Les structures **passives** :

- Poumons
- Plèvre
- Côtes, sternum et colonne vertébrale



Les structures **actives** = les muscles

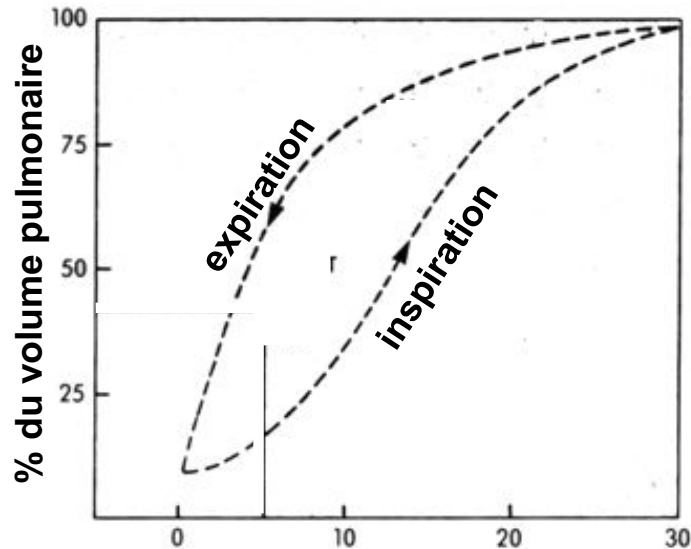
MECANIQUE PASSIVE

Mécanique passive

La capacité "d'étirement" du poumon se mesure par la **COMPLIANCE**, **C**

$$C = \Delta V / \Delta P$$

V est le volume pulmonaire et **P** est la pression transpulmonaire



Pression Transpulmonaire (cmH₂O)

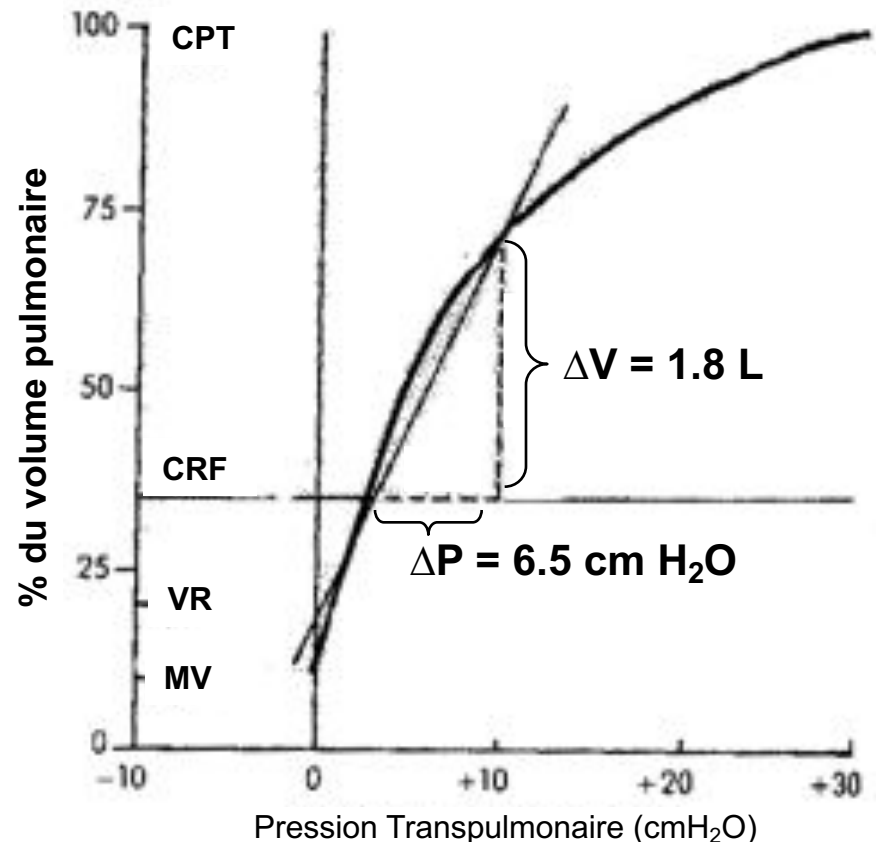
= P° entre les voies aériennes et la P° pleurale

$$\Delta V / \Delta P = 1.8 \text{ L} / 6.5 \text{ cm H}_2\text{O}$$

$$= 0.28 \text{ L/cm H}_2\text{O}$$

A titre de comparaison:

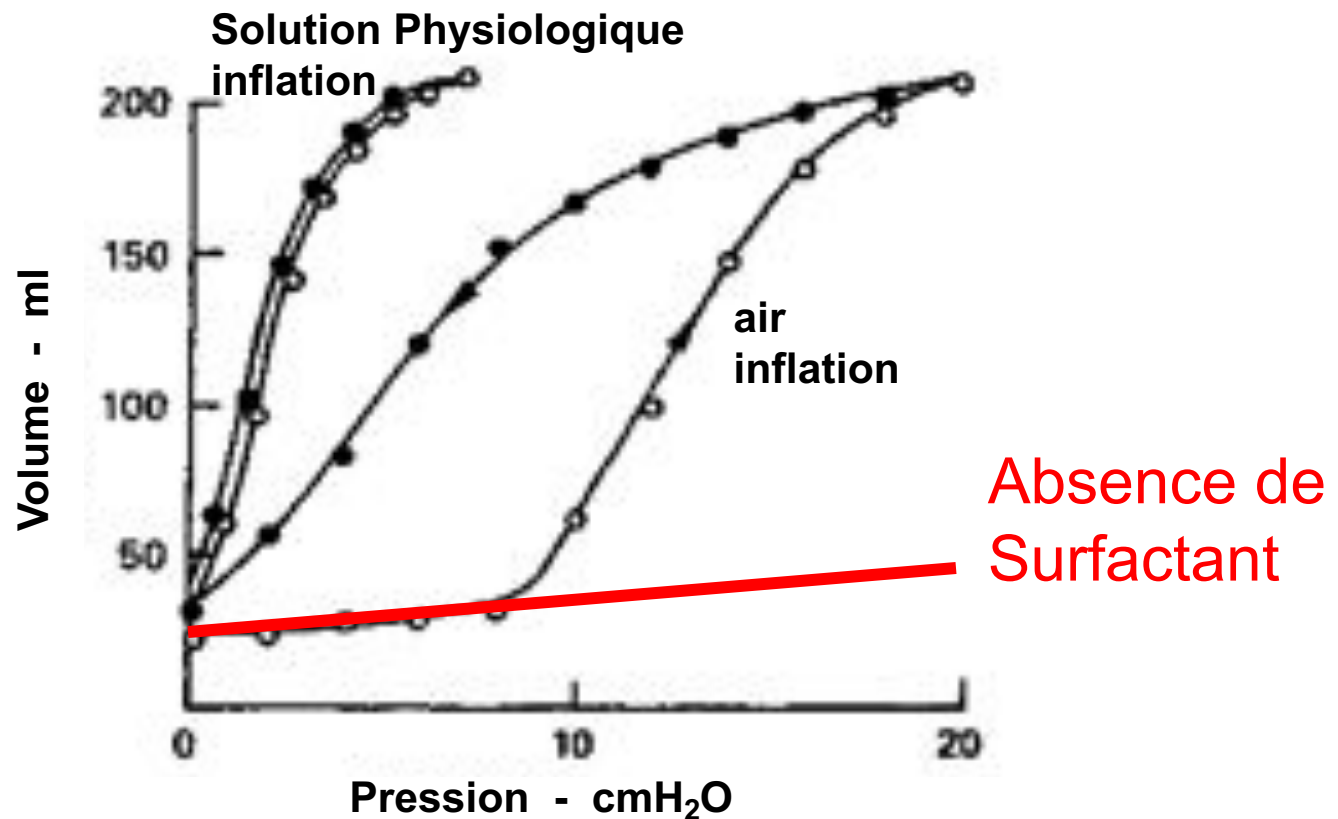
veine = 0.04 et artère = 0.002 L/cm H₂O



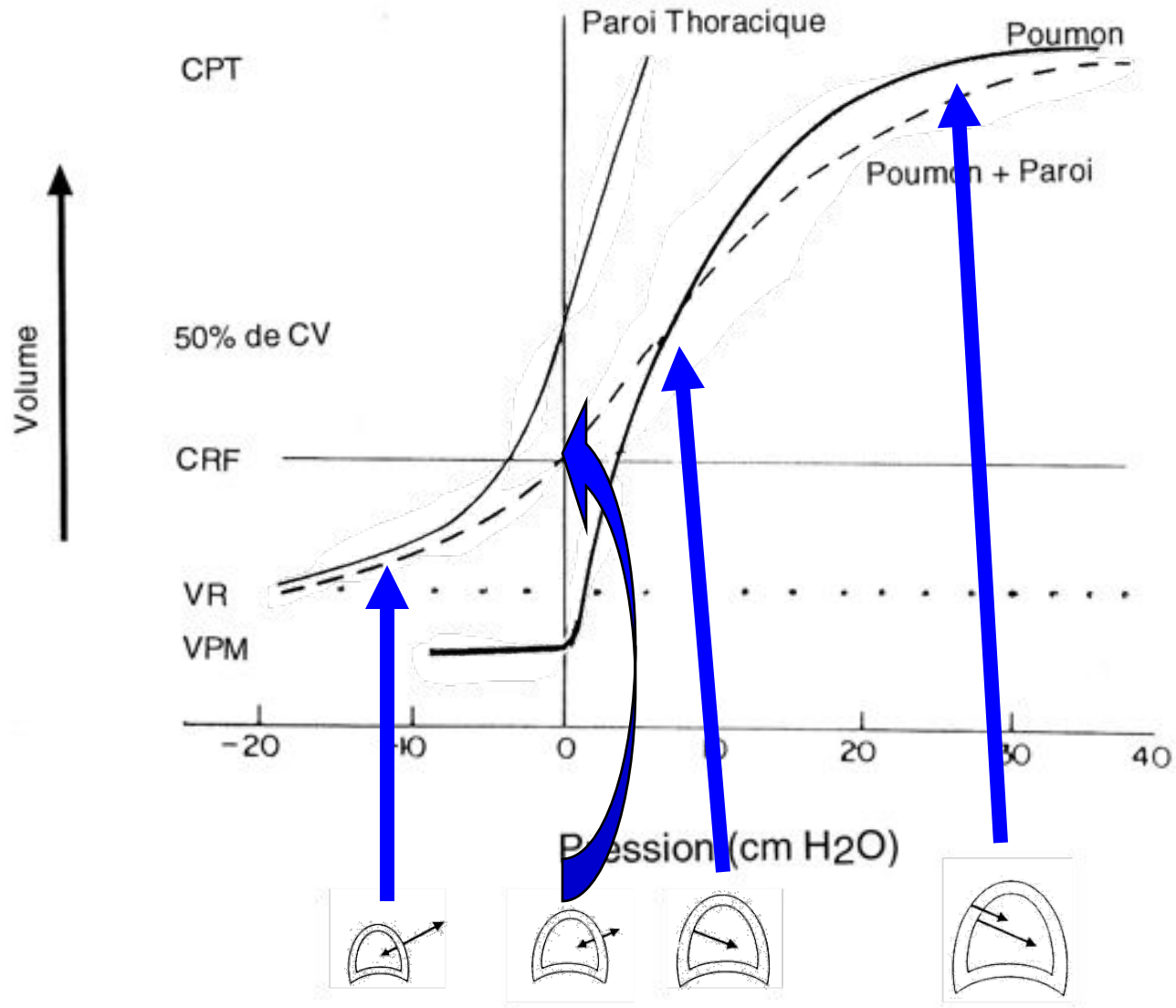
Mécanique passive

Tension de surface

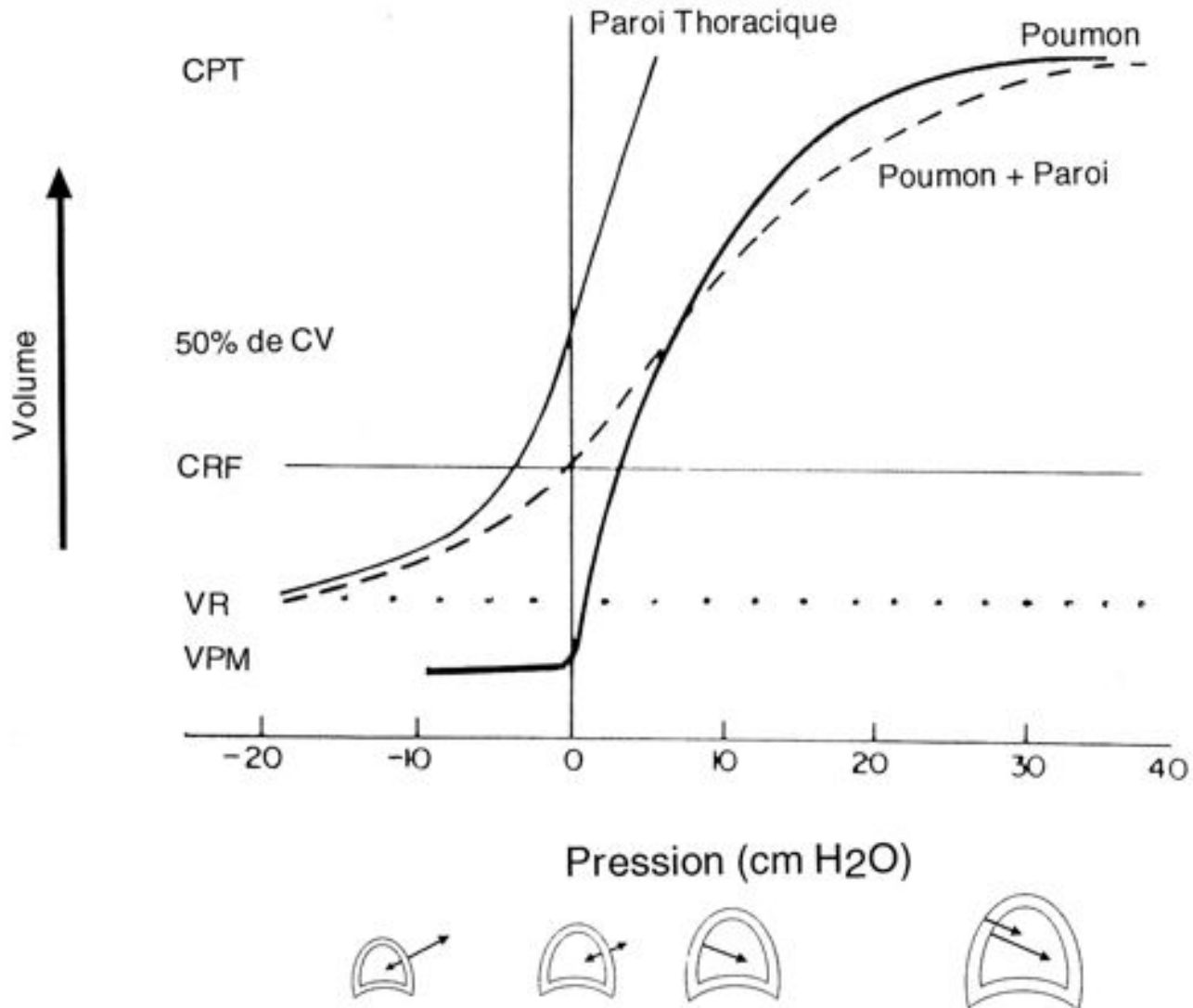
Rôle du Surfactant



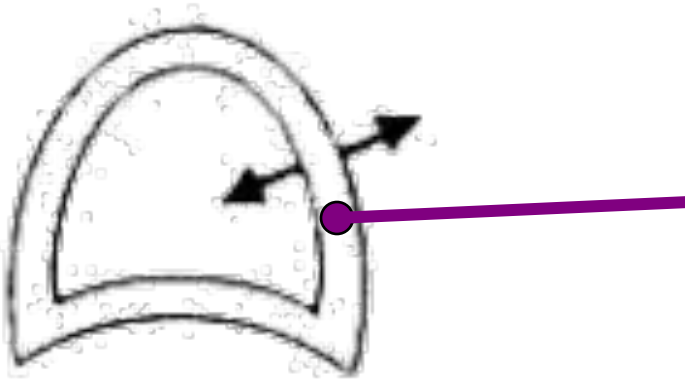
Mécanique passive



Mécanique passive

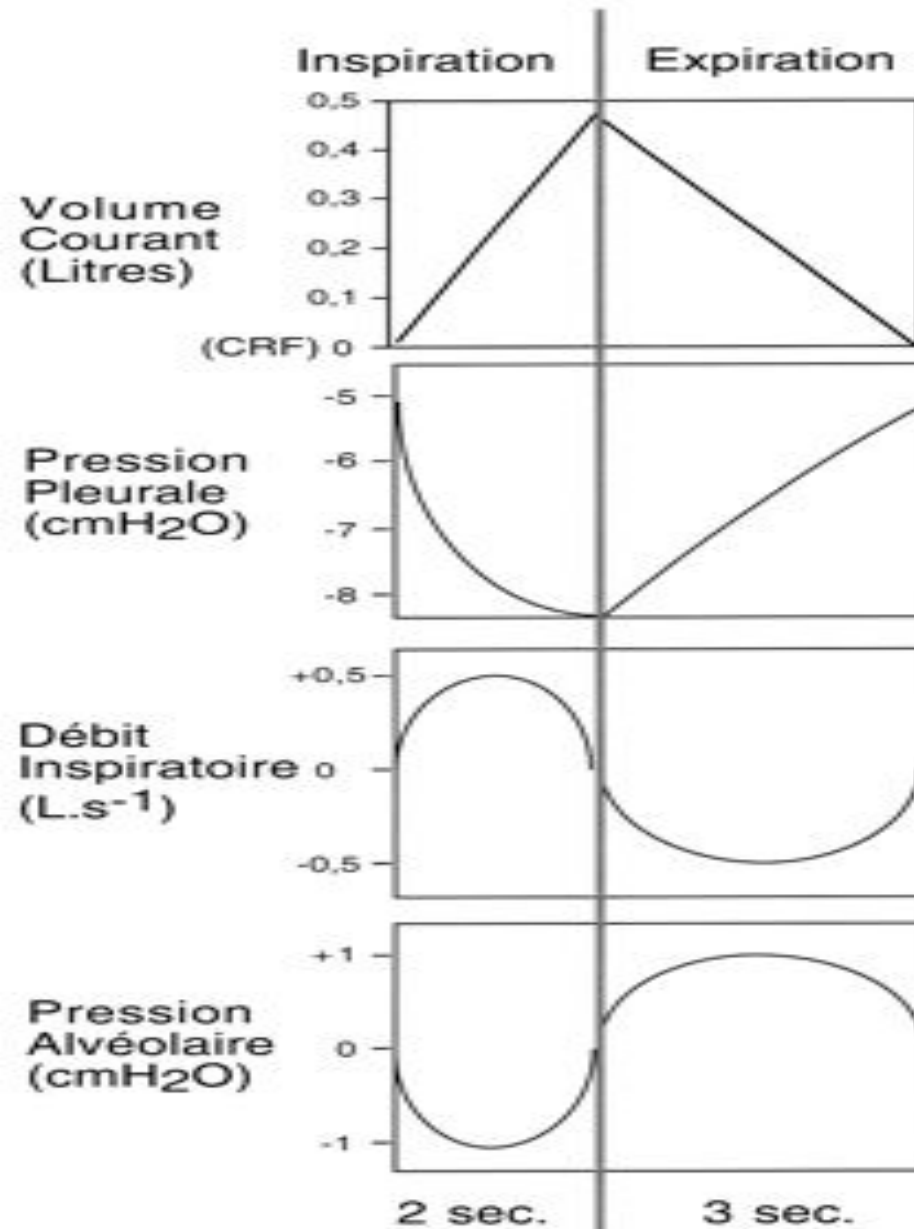


Mécanique passive



A la CRF, la pression pleurale est négative :
Environ $-5 \text{ cmH}_2\text{O}$

Liaisons poumon-cage thoracique



Ventilation régionale

