

Physiologie Respiratoire

Cours: physiologie d'organe

- Mécanique ventilatoire, volumes pulmonaires (C. Delclaux)
- Circulation pulmonaire, échanges gazeux (D. Maillard)
- Contrôle de la ventilation, bronchomotricité (C. Delclaux)
- Explorations diaphragmatiques (A. Denjean)
- Adaptations ventilatoires à l'exercice (A. Denjean)

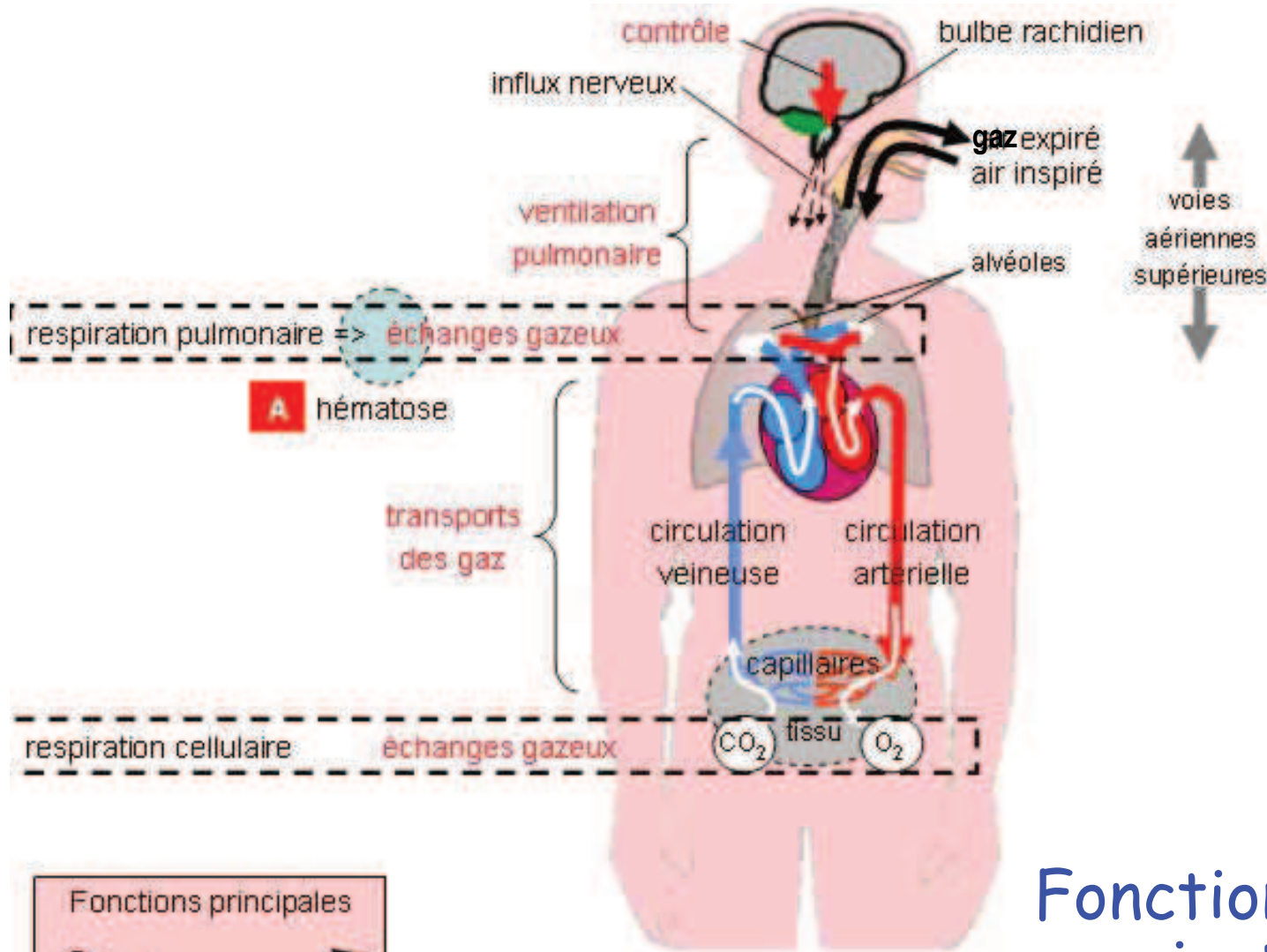
Application: exploration fonctionnelle respiratoire

- EFR pratique (C. Delclaux): $\frac{1}{2}$ promotion

Physiologie Respiratoire

Comprend l'étude de :

- La ventilation (commande, effecteurs, mécanique, contrôle)
- Des échanges gazeux et des transports des gaz dans l'organisme (conduction, convection, diffusion)
- Voies aériennes et fonctions non respiratoires du poumon (épuration, métabolisme, équilibre acido-basique)
- Adaptations à l'environnement et à l'exercice

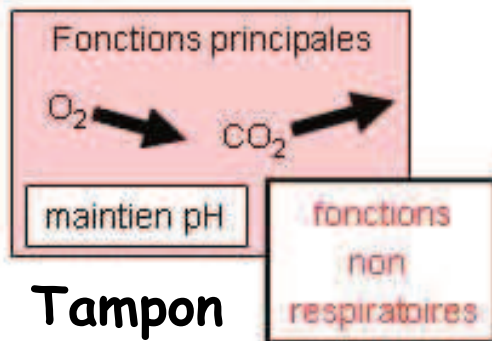


Convection

Diffusion

Convection

Diffusion



Tampon ouvert

Fonction du système respiratoire:

Assurer l'hématose

- apport d'O₂
- élimination CO₂

Mécanique respiratoire

Objectifs:

Notion de système passif et actif

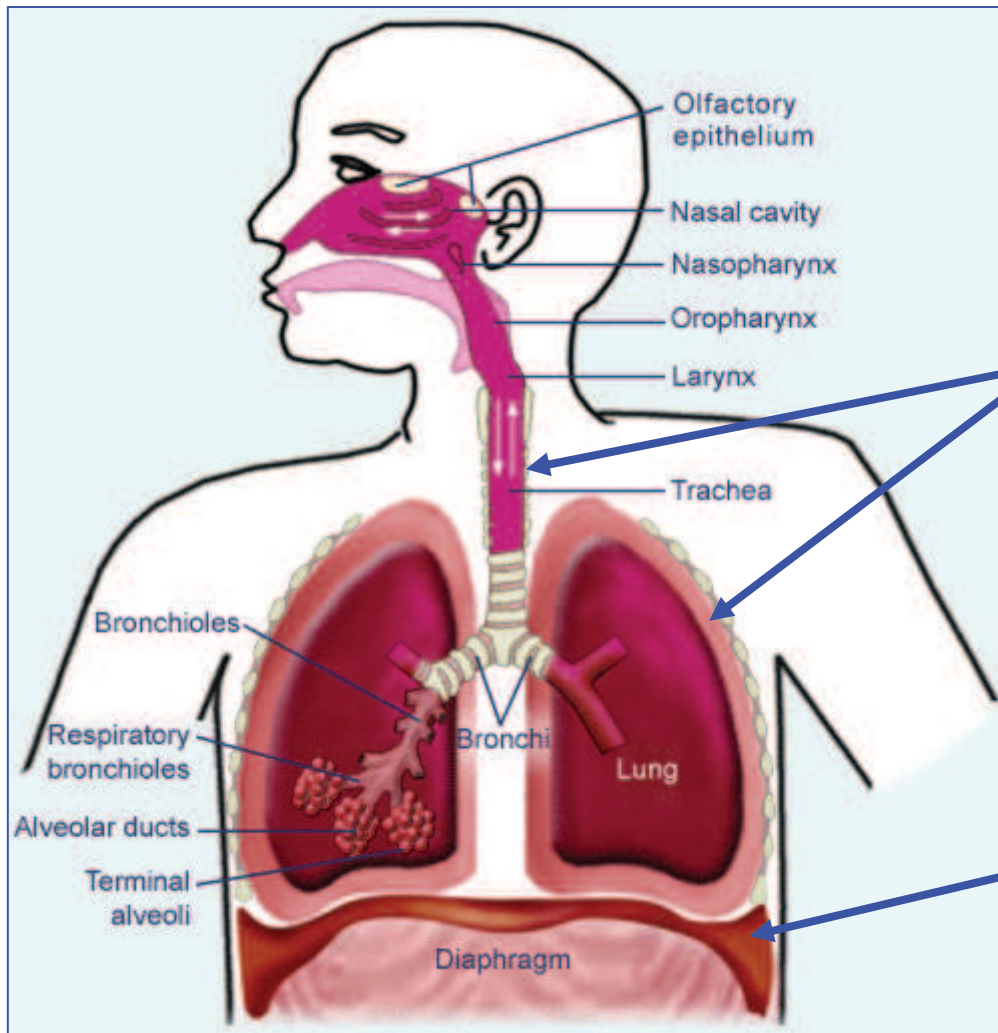
Systeme passif, comprendre la notion de compliance

- volumes pulmonaire statiques

Systeme passif, comprendre la notion de résistance

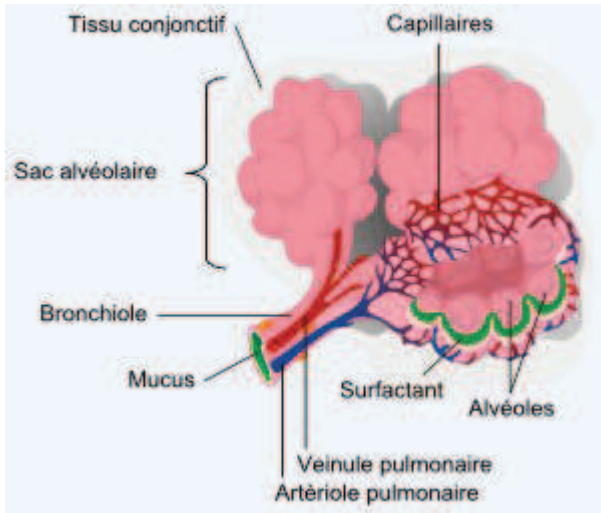
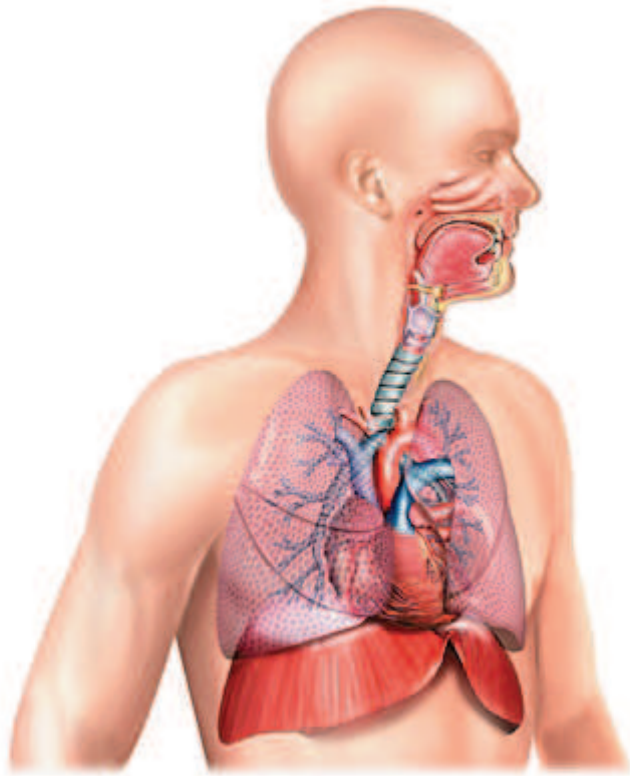
- débits expiratoires forcés

Systeme mécanique ventilatoire

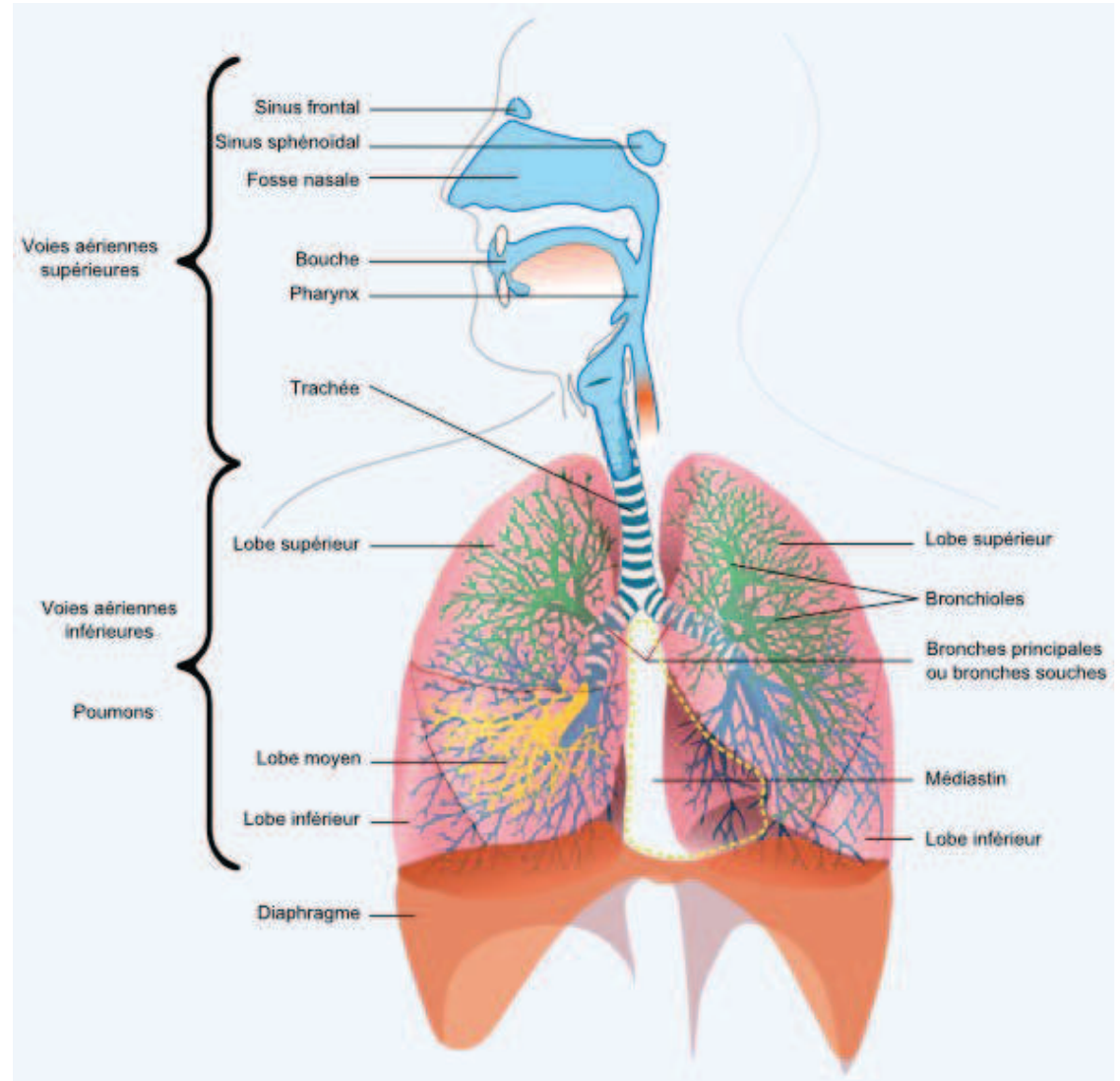


Systeme passif:
Voies aériennes
Poumon
Paroi thoraco-abdominale

Systeme actif:
muscles ventilatoires



Sacs: alvéoles



Tuyaux: bronches

Propriétés mécaniques du système respiratoire

Physique → Physiologie

Lois mécaniques

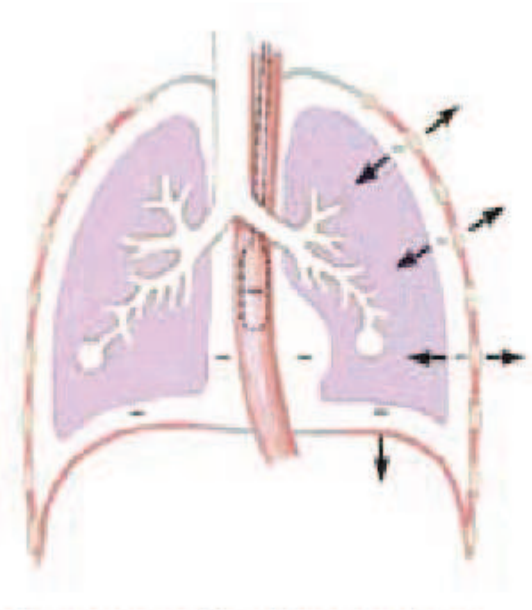
Bases de l'exploration fonctionnelle respiratoire

We used a one-compartment model based on the mechanical-electric equivalence:

- 1) an expansible part, characterized by a respiratory system compliance (C_{RS}) and an initial volume (total lung capacity: TLC), is analogue to an electric condenser characterized by a capacity (C) and an initial charge (Q_i)
- 2) a resistive part, characterized by an airway resistance (R_{aw}), is analogue to an electric resistance (R).

Systeme passif : introduction

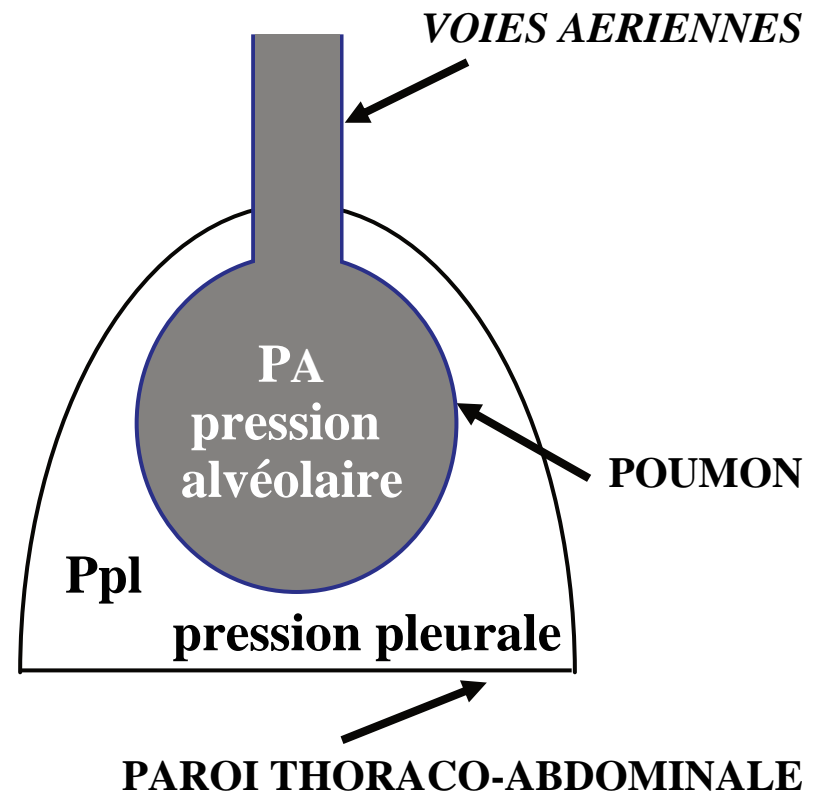
ANATOMIE



*voies aériennes
résistantes*

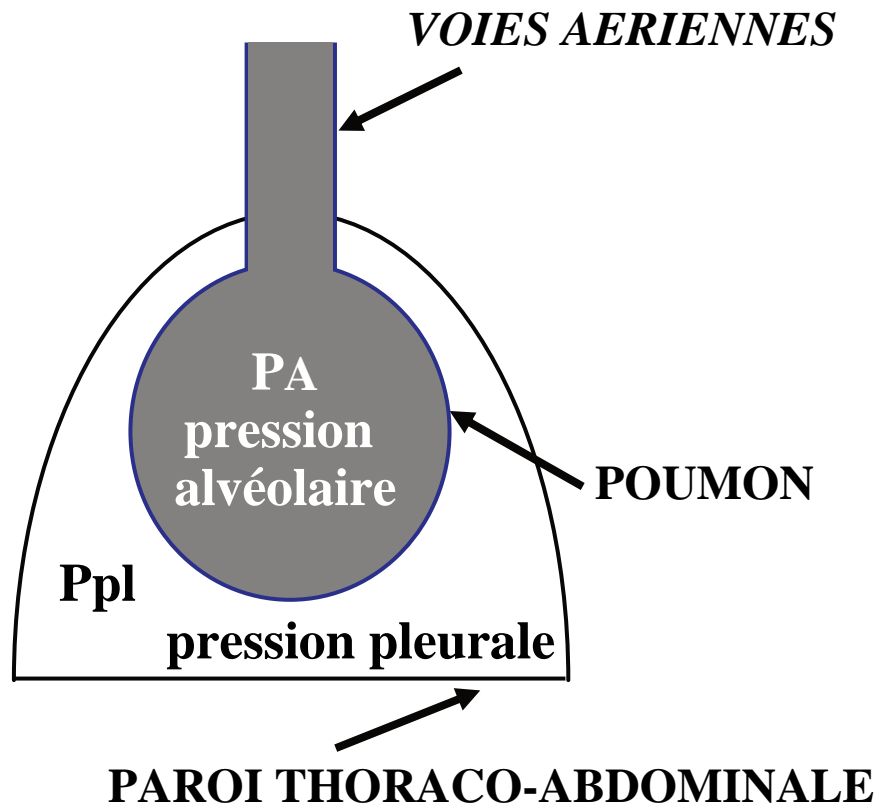
*poumon
paroi
distensibilité*

PHYSIOLOGIE



Modèle physique

La ventilation : introduction



$$\Delta P = R \times \dot{V} = 1/G \times \dot{V}$$

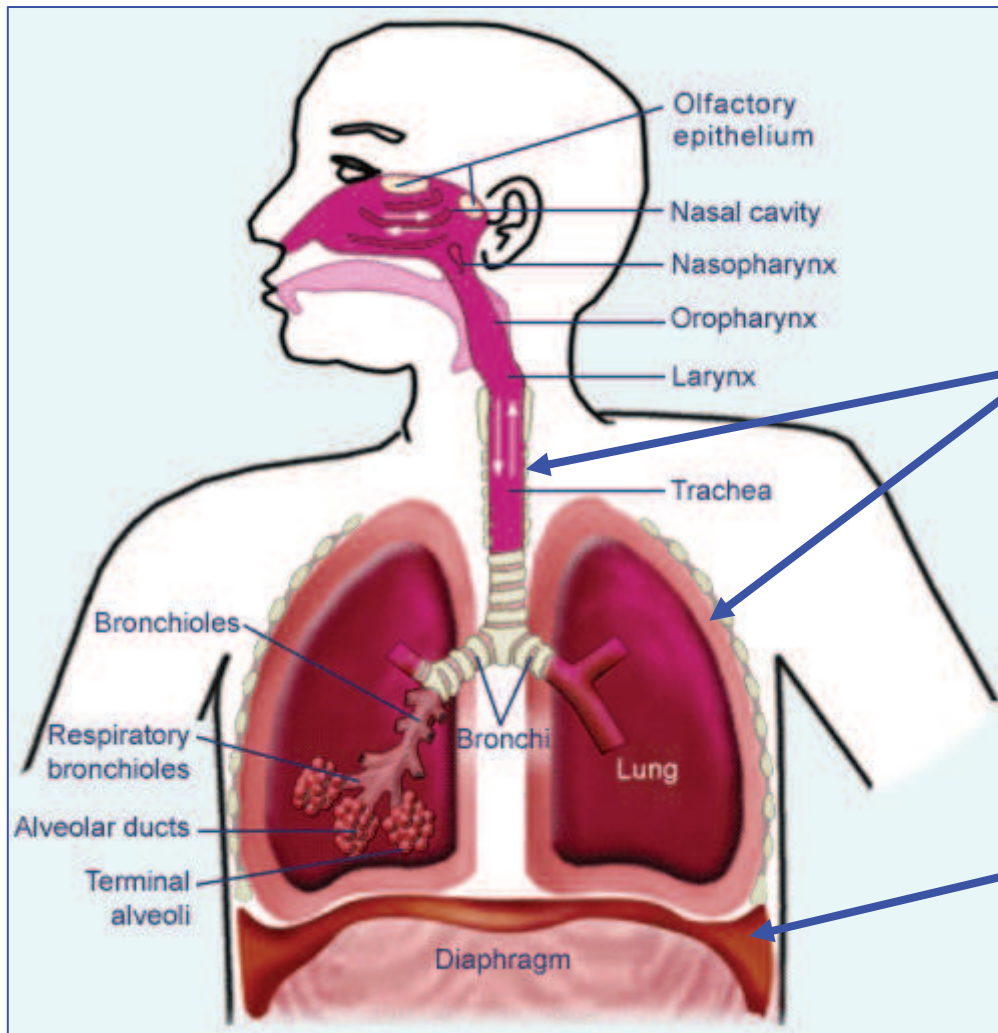
résistance - conductance

$$\Delta P = E \times V = 1/C \times V$$

élastance - compliance

Travail muscle = dissipation résistive + stockage élastique

Systeme mécanique ventilatoire

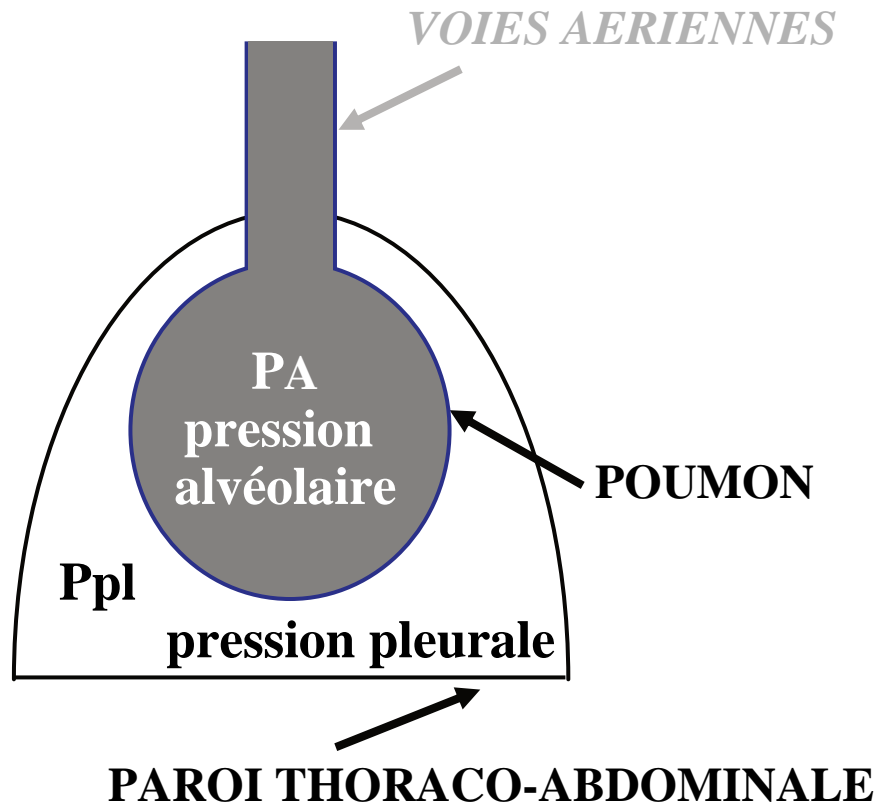


Systeme passif:

- Systeme élastique
- Systeme résistif

Systeme actif:
muscles ventilatoires

Systeme élastique: poumon + paroi



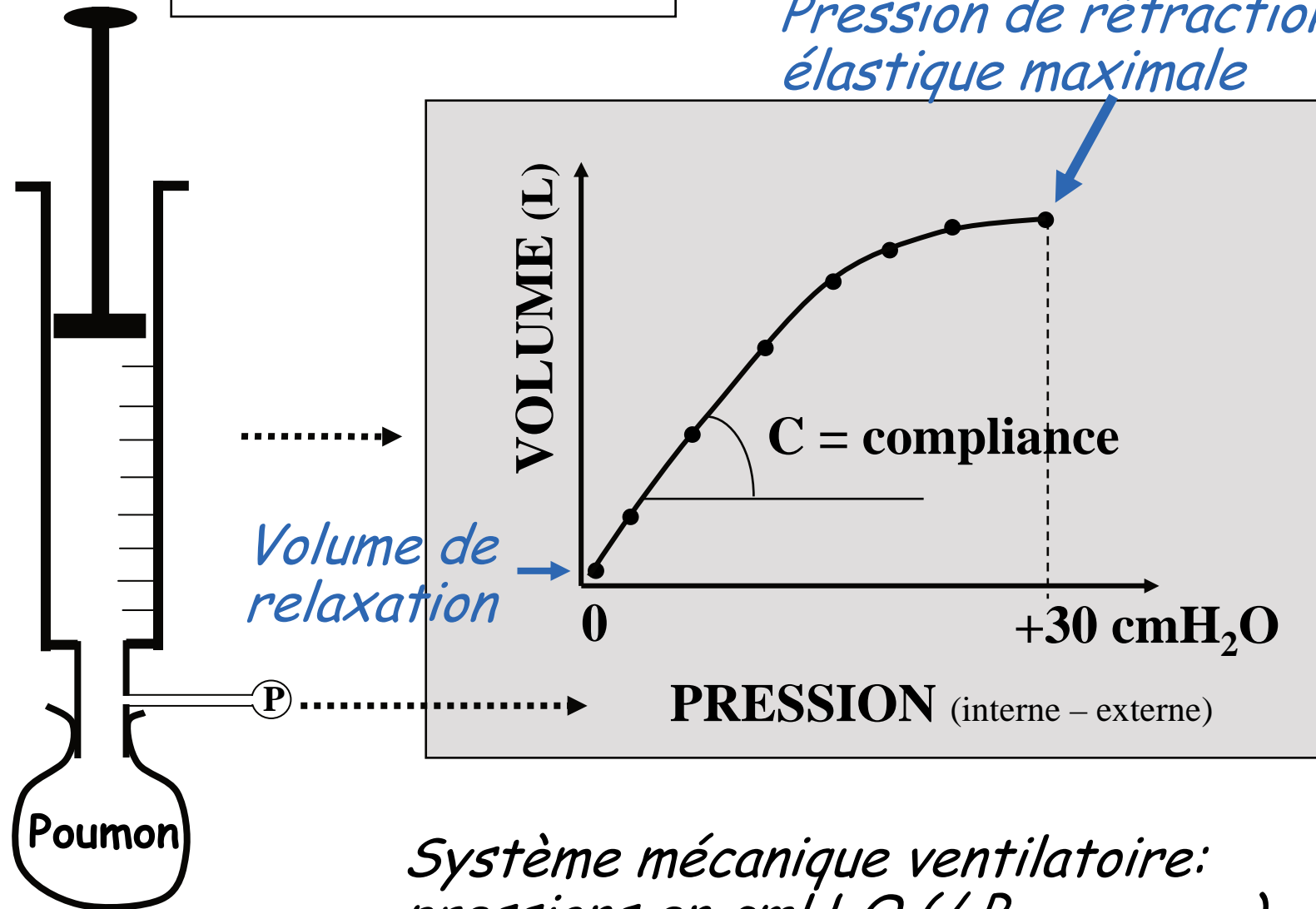
$$\Delta P = E \times V = 1/C \times V$$

- Mesure de compliance
- Mesure de volume

Distensibilité du poumon: courbe pression-volume

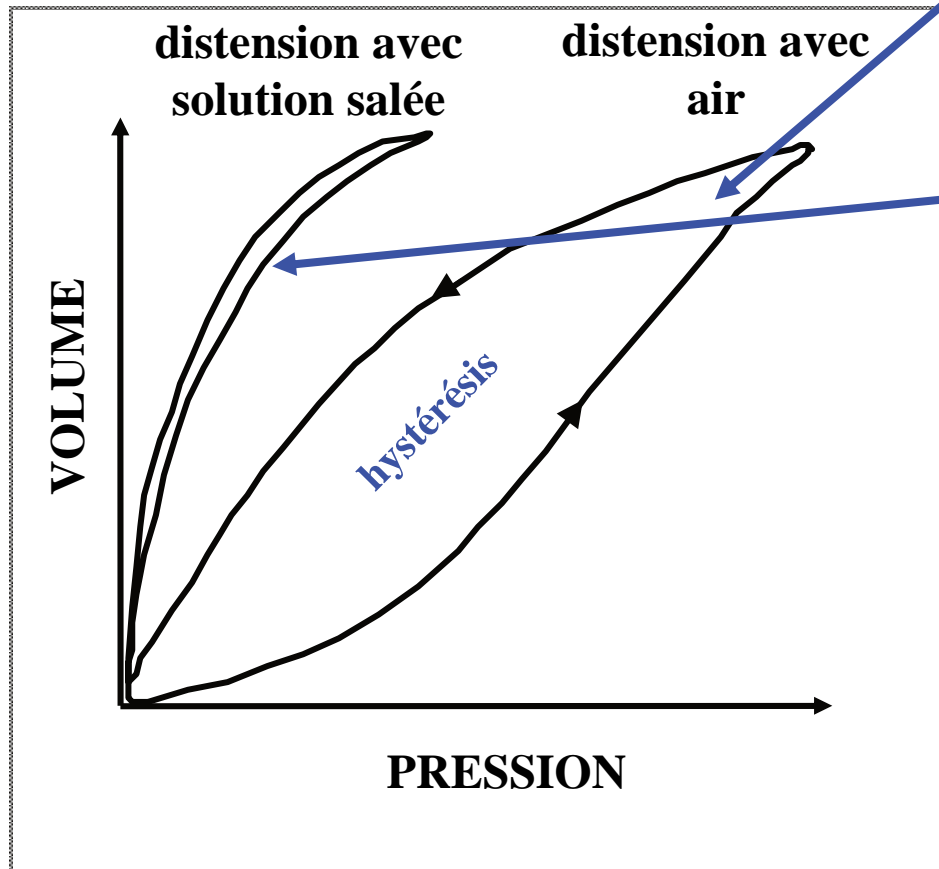
$$\Delta P = E \cdot V = 1/C \cdot V$$

Pression de rétraction élastique maximale



*Système mécanique ventilatoire:
pressions en cmH₂O (/ P_{atmosphérique})*

Déterminants de la compliance pulmonaire



*Travail inspiratoire >
travail expiratoire
(hysteresis)*

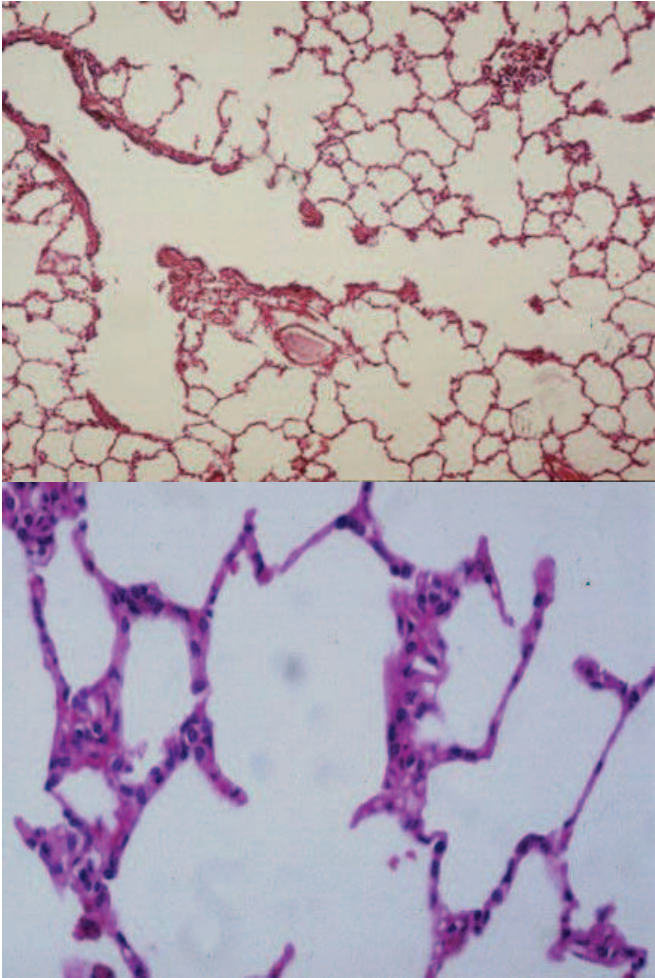
*Poumon plus compliant lors
de l'instillation de liquide*

*Instillation de liquide
supprime l'interface gaz-tissu*

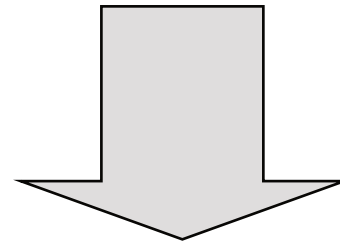
Deux déterminants :

- tissu pulmonaire
- interface gaz - tissu

Déterminants histologiques de la compliance



- Tissu pulmonaire :**
- éléments cellulaires
 - matrice extra-cellulaire
 - élastine
 - collagène

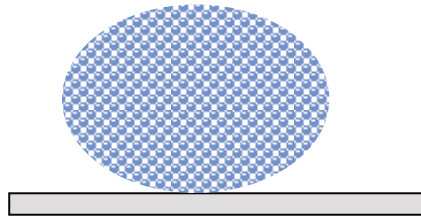


Distensibilité du tissu

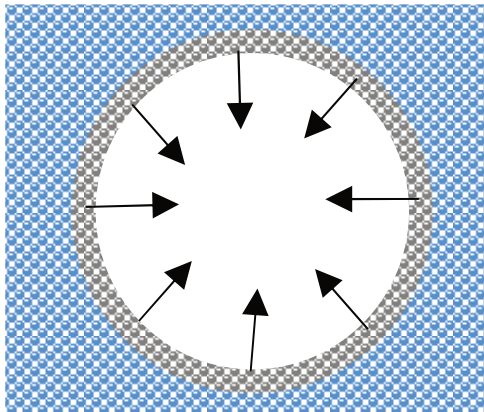
Interface air-tissu: tension superficielle

Tension superficielle: force à la surface d'un liquide
interactions entre molécules de liquide > interactions entre liquide et gaz

Goutte d'eau

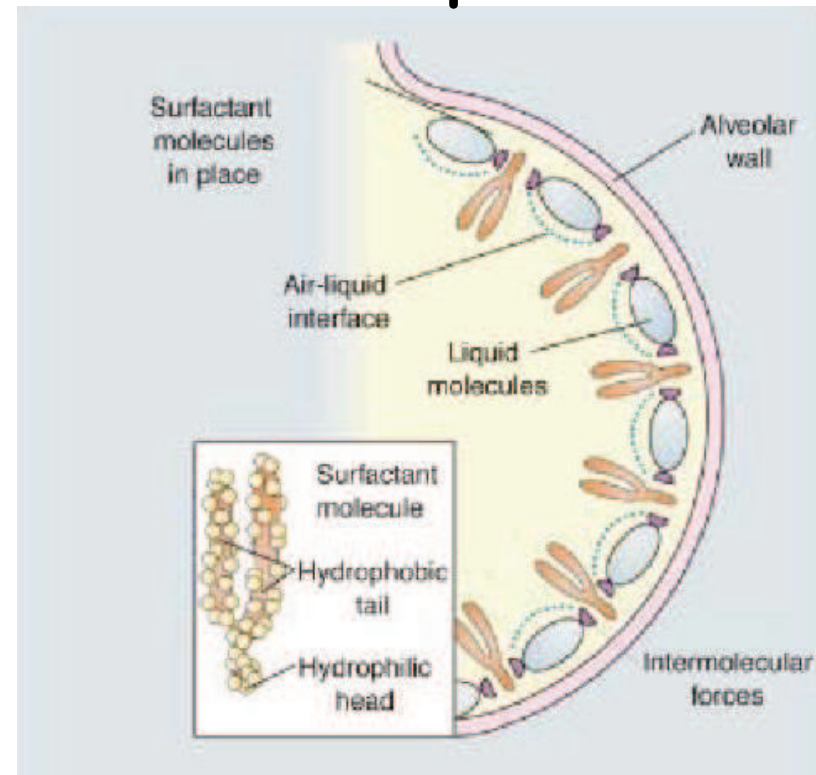


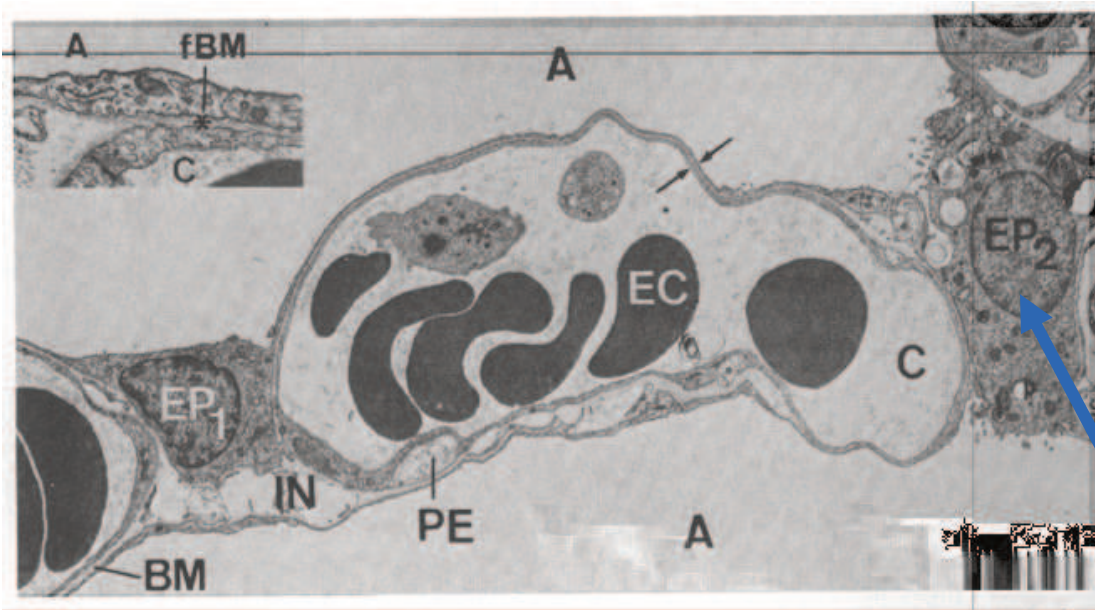
alvéole



$$P = 2T/r$$

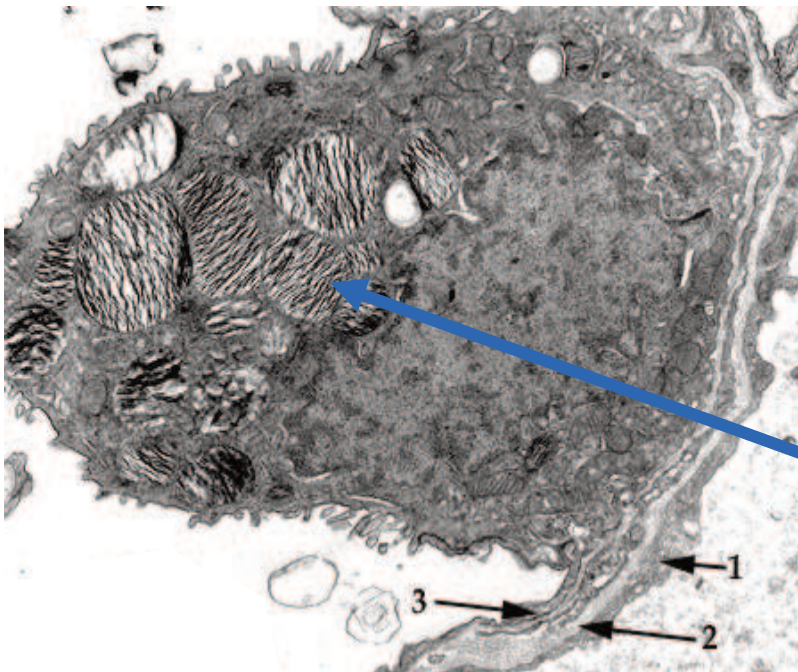
Surfactant:
↘ tension superficielle





Surfactant

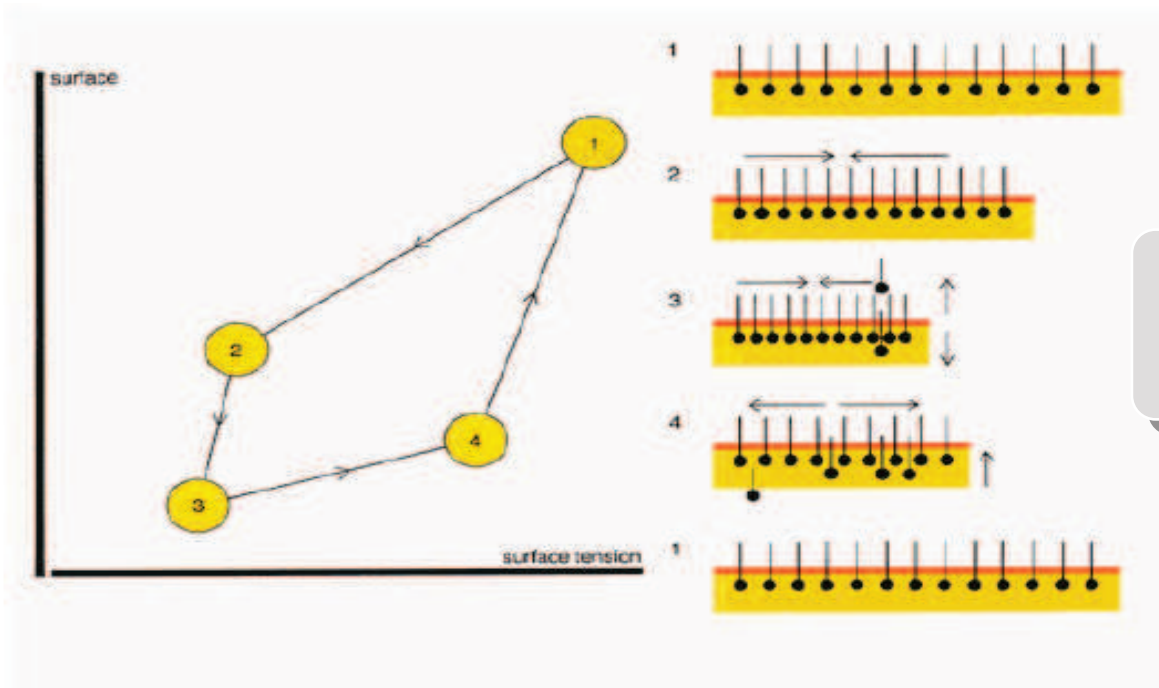
85% phospholipides
13% protéines



Pneumocyte de type II:

- 60% des cellules épithéliales alvéolaires
- 10% de la surface épithéliale
- synthèse et sécrétion du surfactant

Corps lamellaires



Surfactant : rôles

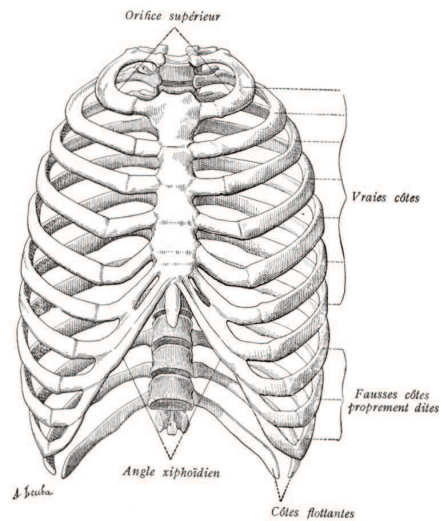
1. Diminution de la tension de surface:

- augmentation de la compliance pulmonaire
- économie d'énergie pour la respiration: diminution du travail
- absence de surfactant: détresse respiratoire

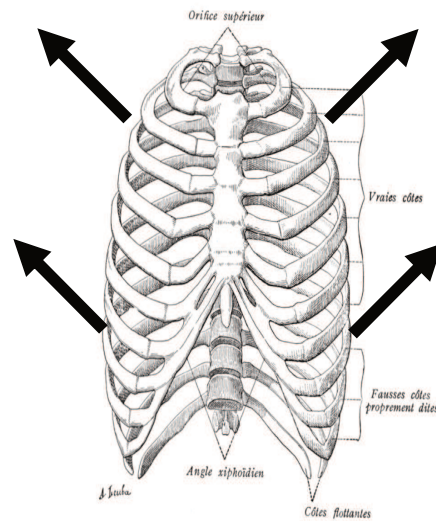
2. Permet la coexistence d'alvéoles de taille différente:

- stabilisation alvéolaire
- surfactant adapte la tension de surface à la taille alvéolaire

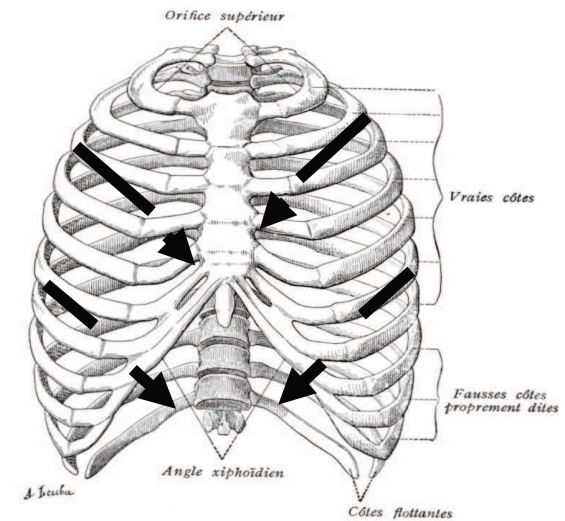
Distensibilité de la paroi



**volume de
relaxation**



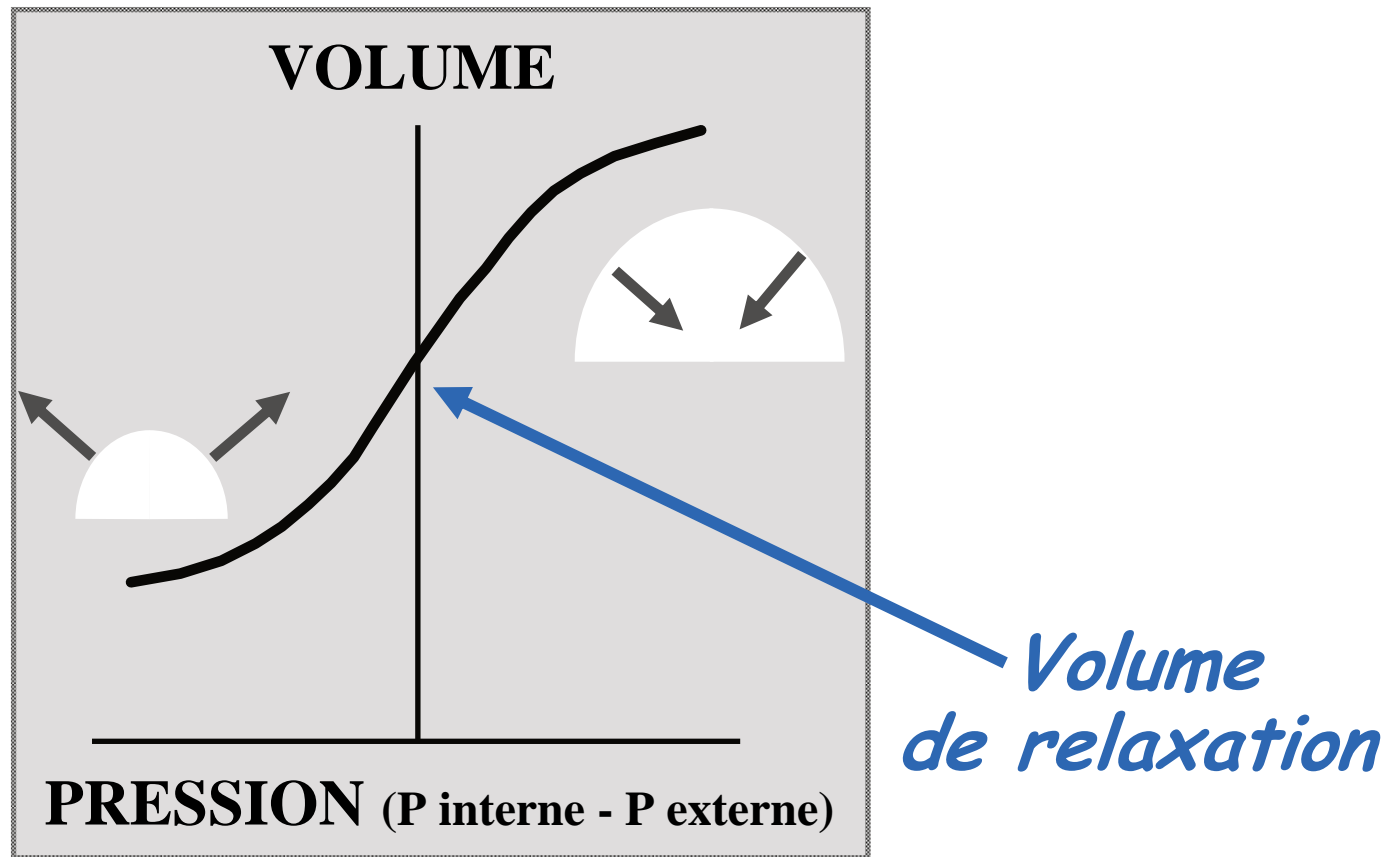
**Expiration
maximale**



**Inspiration
maximale**

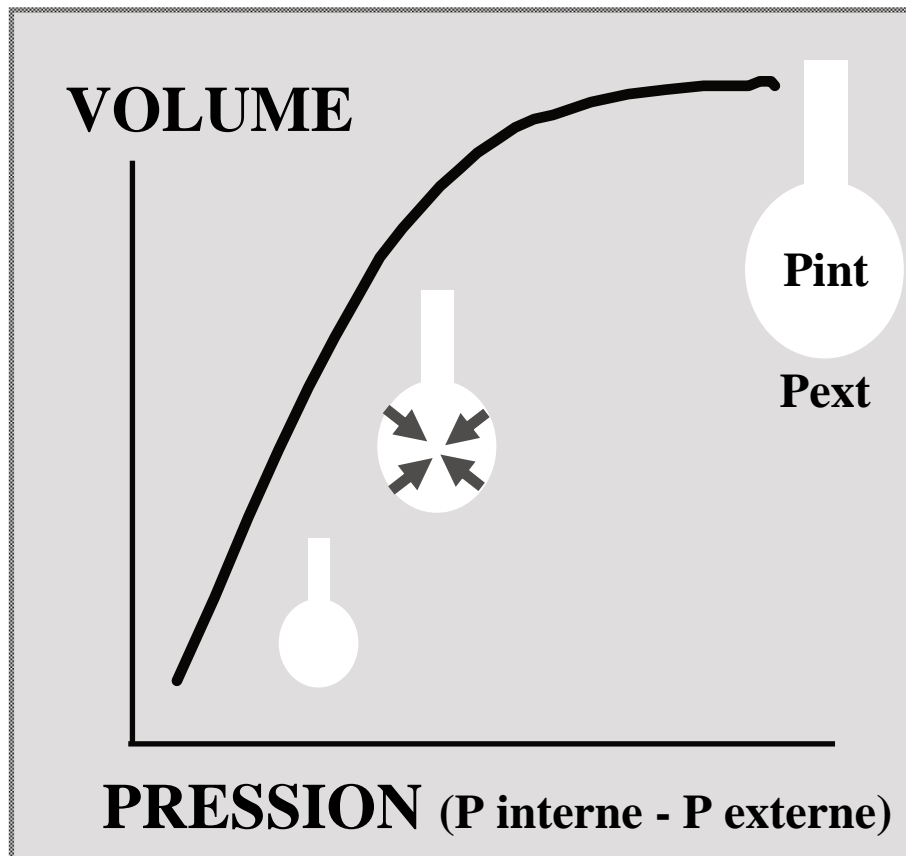
*Augmentation des diamètres
antéro-postérieur
et latéral
du 1/3 inférieur du thorax*

Distensibilité de la paroi: courbe pression-volume

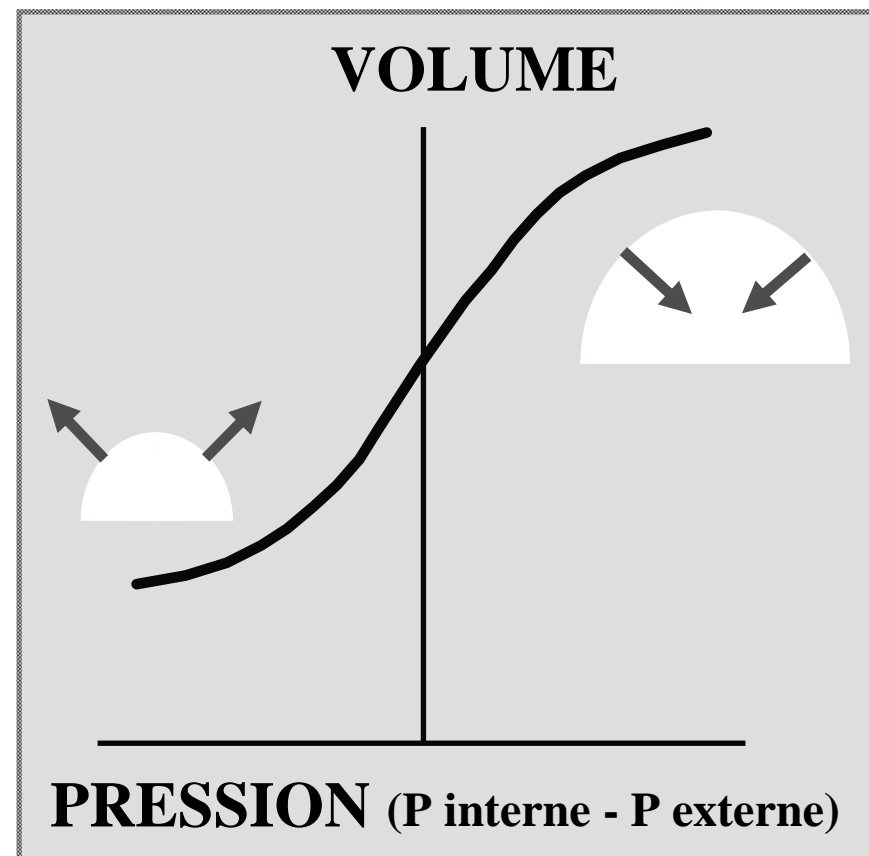


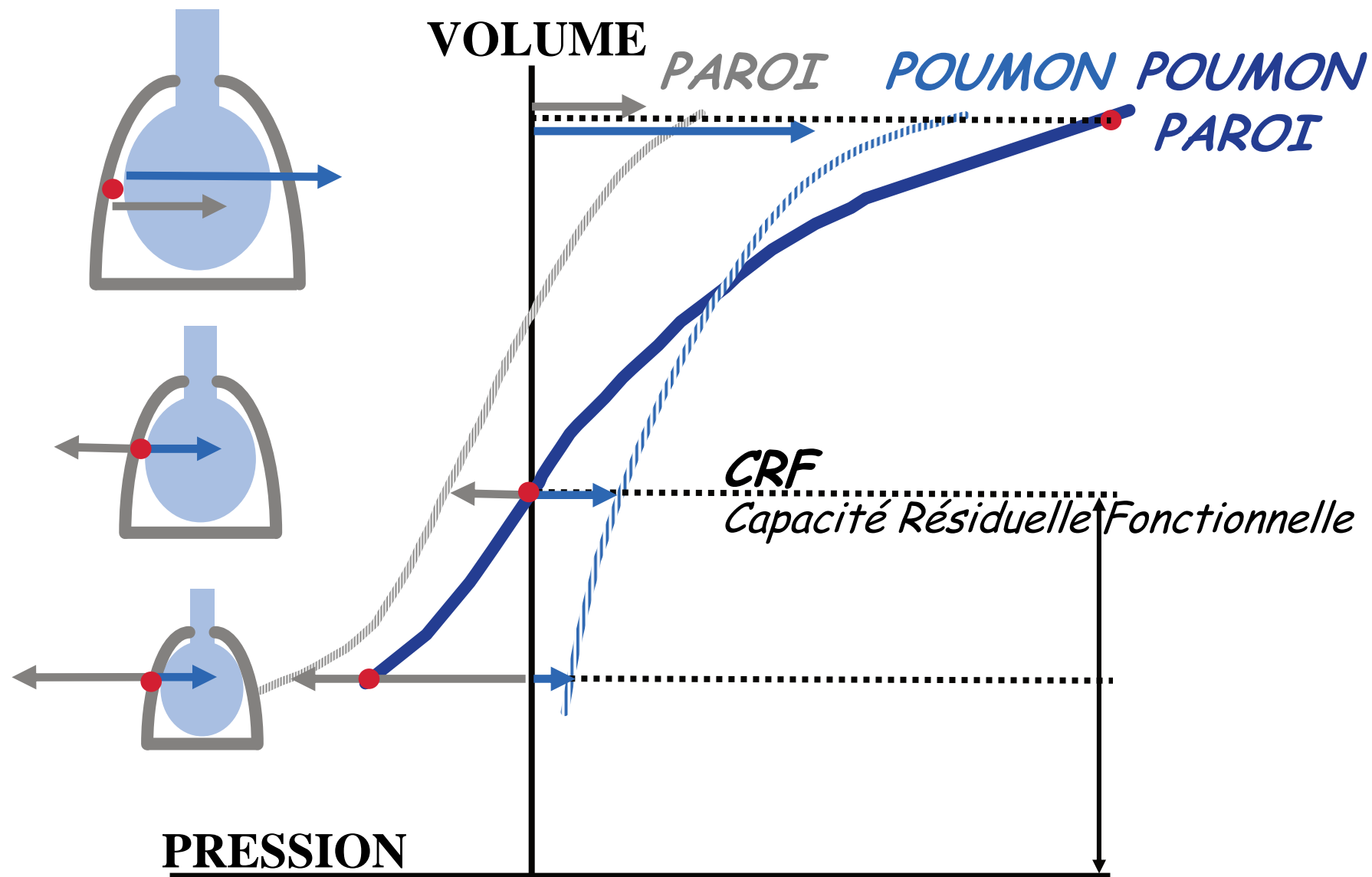
Courbes pression - volume

Poumon



Paroi thoraco-abdominale

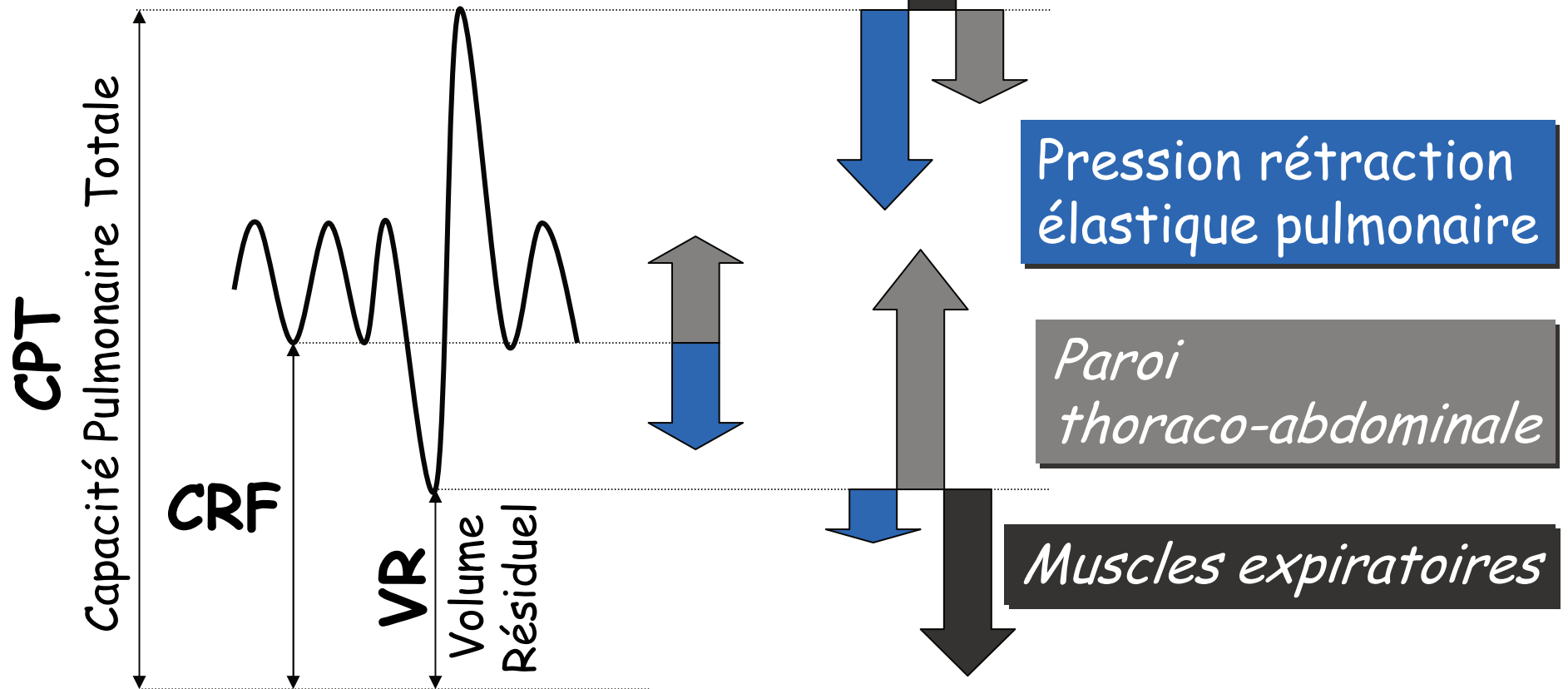




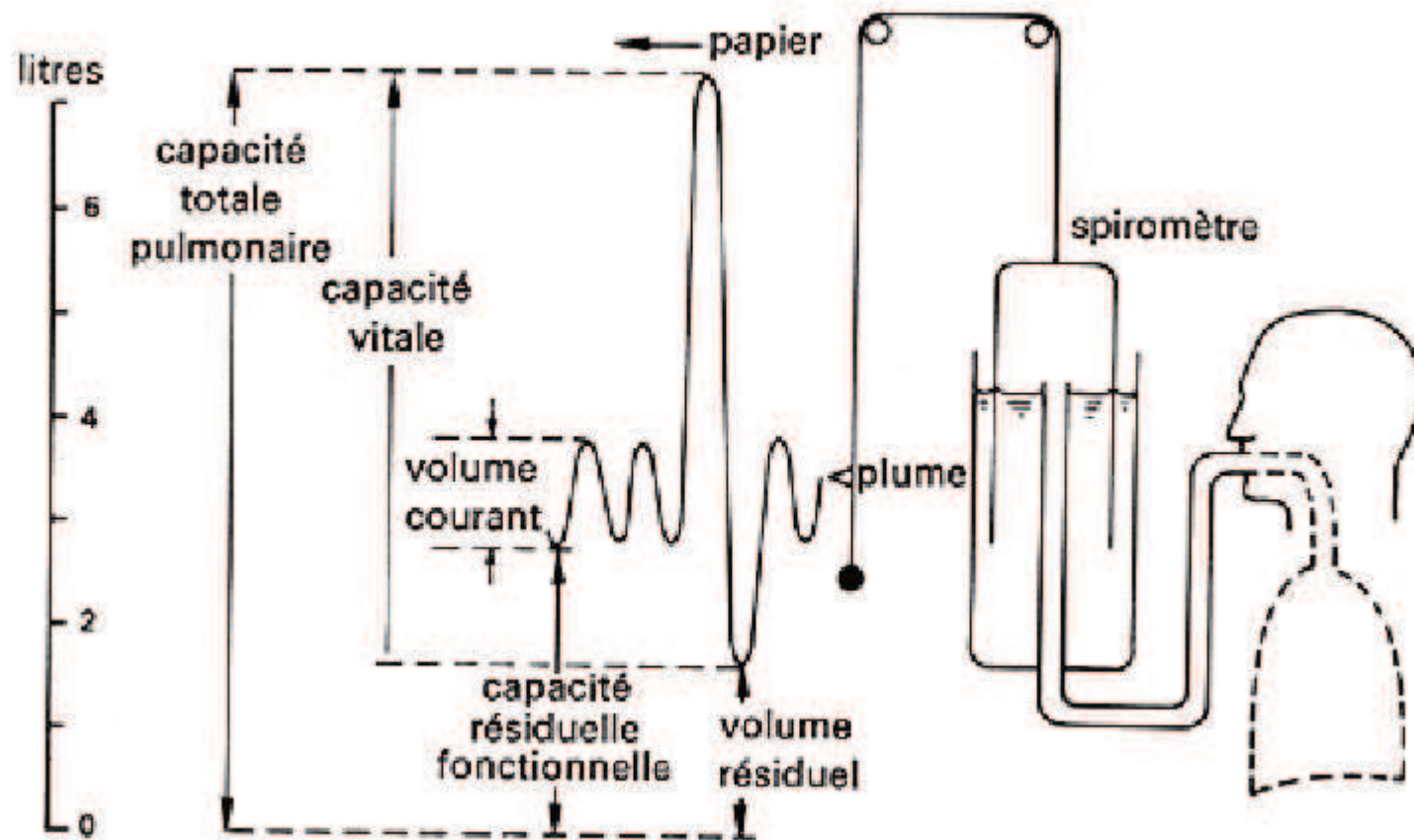
$$E_{tp} = E_t + E_p$$

- Cp pulmonaire ~0,2 L/cmH₂O*
- Cp paroi thor-abd ~0,2 L/cmH₂O*
- Cp thoraco-pulmonaire ~0,1 L/cmH₂O*

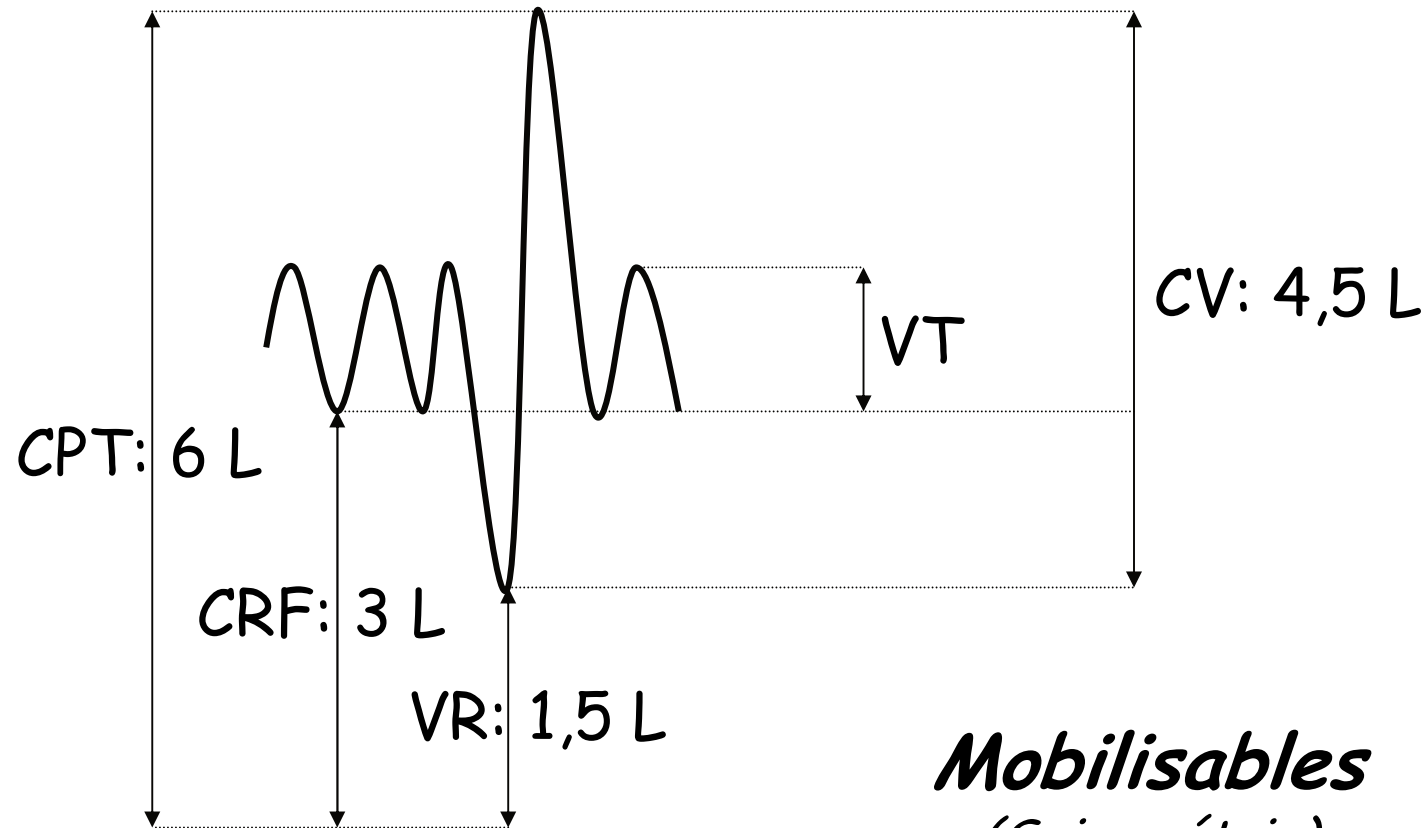
Volumes pulmonaires
statiques
positions d'équilibre



Spirométrie: mesure des volumes mobilisables



volumes pulmonaires

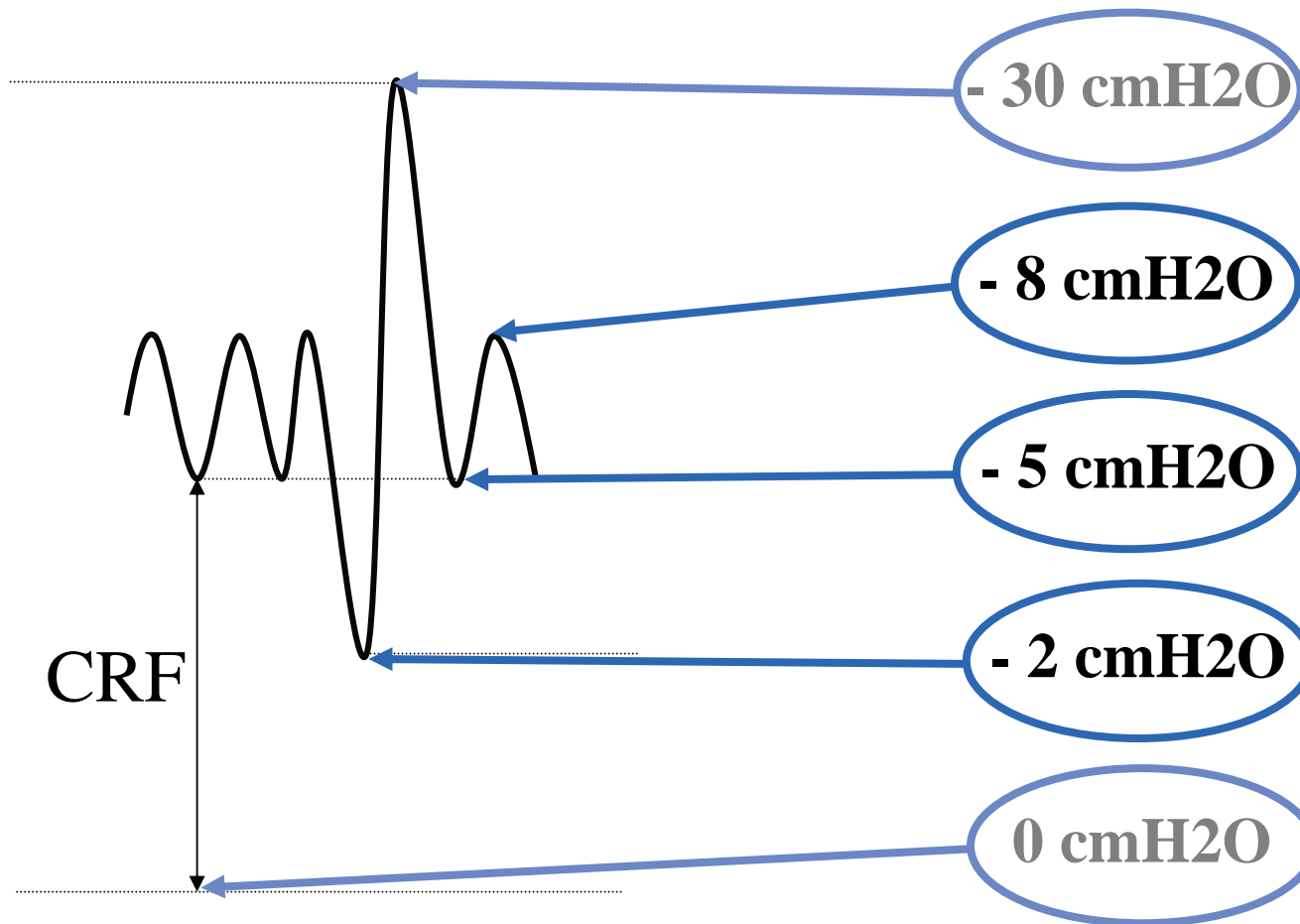


Non mobilisables
(dilution, pléthysmographie)

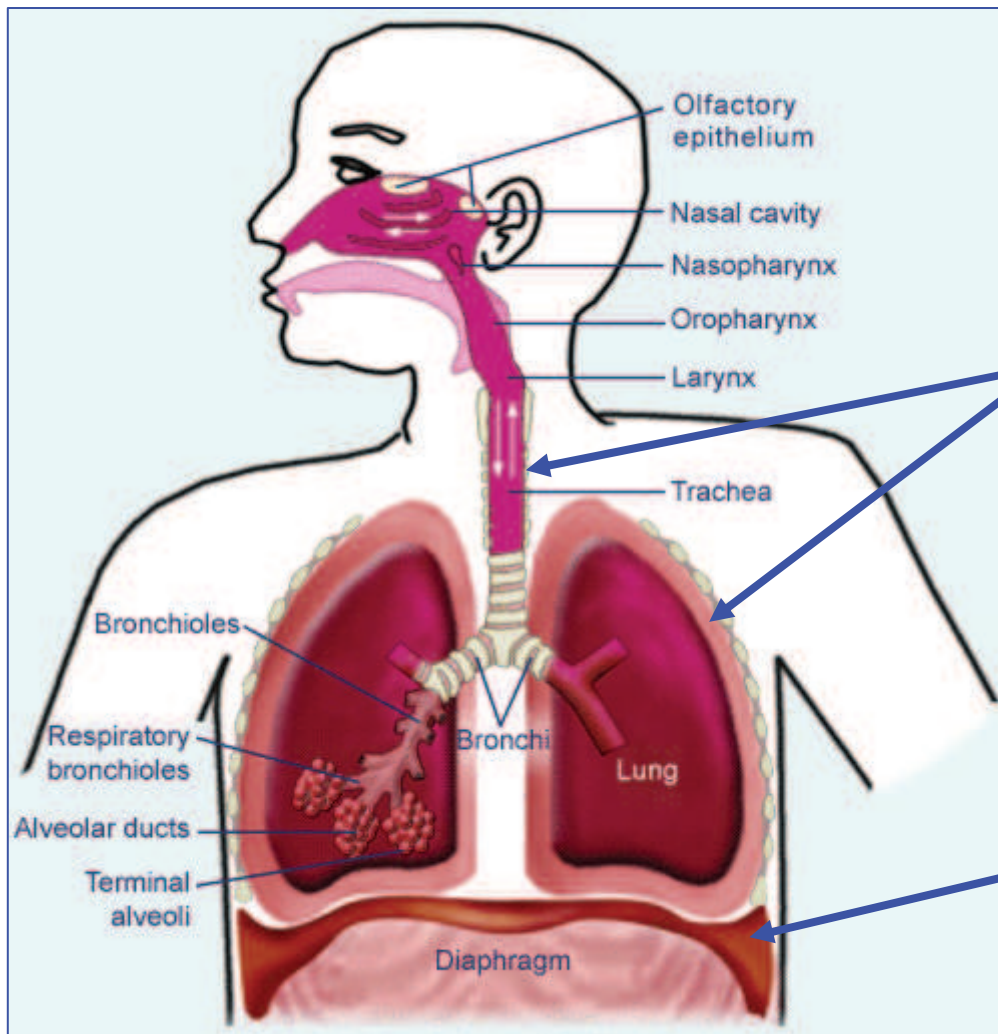
Mobilisables
(Spirométrie)

CV: capacité vitale
VT: volume courant (Tidal)

Pression pleurale



Systeme mécanique ventilatoire

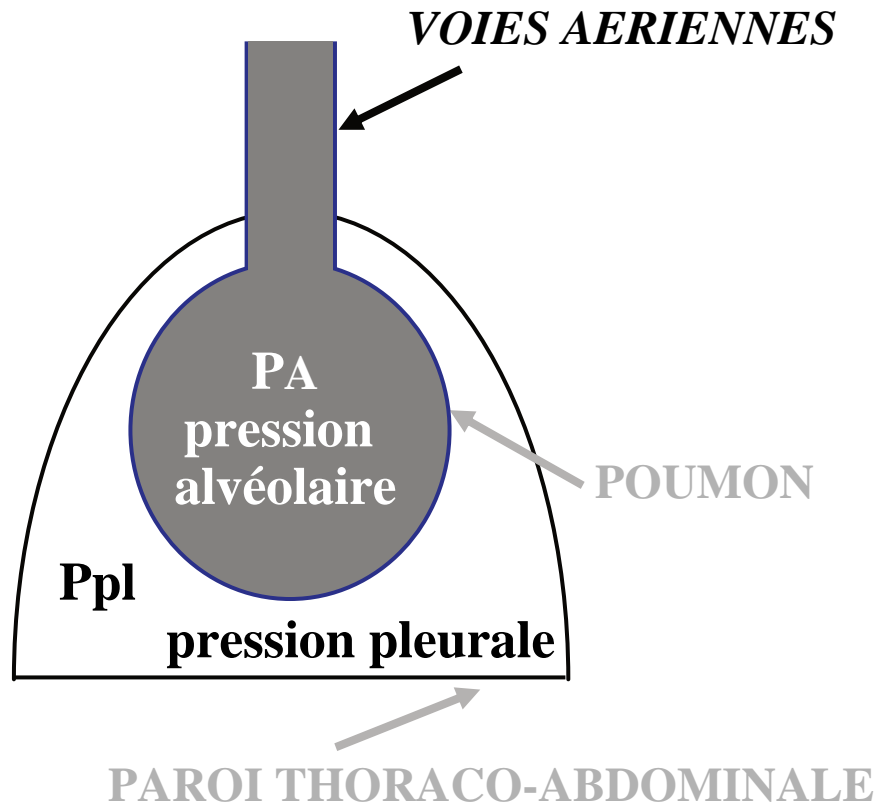


Systeme passif:

- Systeme élastique
- Systeme résistif

Systeme actif:
muscles ventilatoires

Systeme resistif: voies aeriennes



$$\Delta P = R \times \dot{V} = 1/G \times \dot{V}$$

- Mesure de résistance
- Mesure de débit

L'arbre aérien : voies aériennes de conduction

1. Voies aériennes supérieures

- le nez
- le pharynx
- le larynx

2. Voies aériennes inférieures

- morphologie
- relation pression-débit : résistance
- caractéristiques mécaniques des voies bronchiques
- expiration forcée et relation volume-débit

Voies aériennes supérieures

1. Nez

- conditionnement du gaz en température et humidité
surface 150 cm^2 , volume de 20 cm^3
- résistance : 50% de la résistance respiratoire

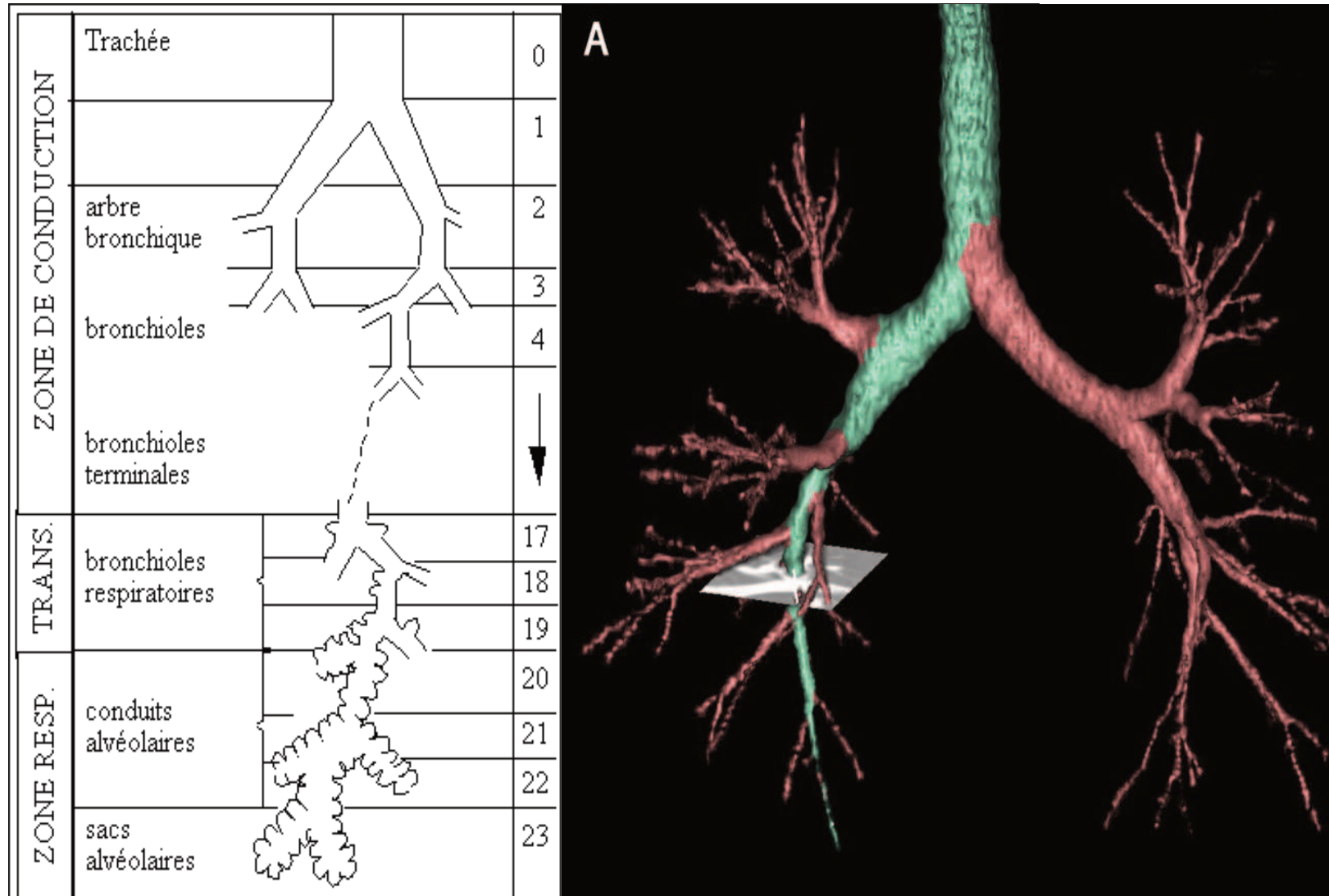
2. Pharynx

- grande compliance mais action des muscles pharyngés
- risque de collapsus → apnée

3. Larynx

- cordes vocales: muscle de la phonation
- arrimage de la trachée

Voies aériennes inférieures

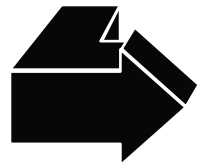


Résistance

P1
cmH₂O

débit gazeux (L/s) →

P2



$$R = (P1 - P2) / \text{débit}$$

cmH₂O / (L/s)

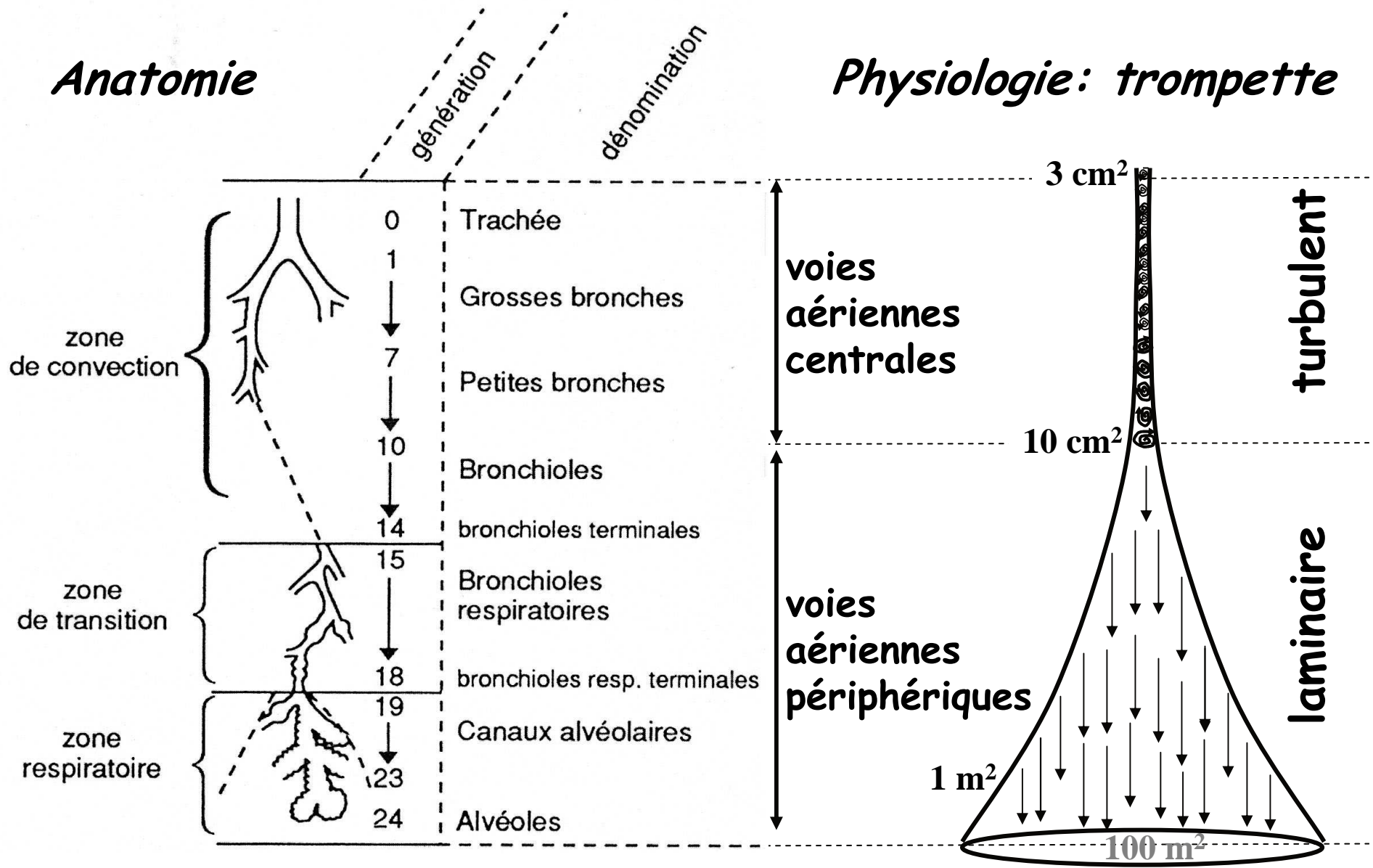
$$R = \frac{8 \cdot l \cdot \eta}{\Pi \cdot r^4}$$

η viscosité dynamique

La perte de charge dépend de :

- géométrie
(section totale des voies aériennes)
- conditions d'écoulement
(écoulement turbulent ou laminaire)

L'arbre bronchique en physiologie



Répartition de la résistance du système respiratoire

Respiration nasale

Nez
± pharynx

50 %

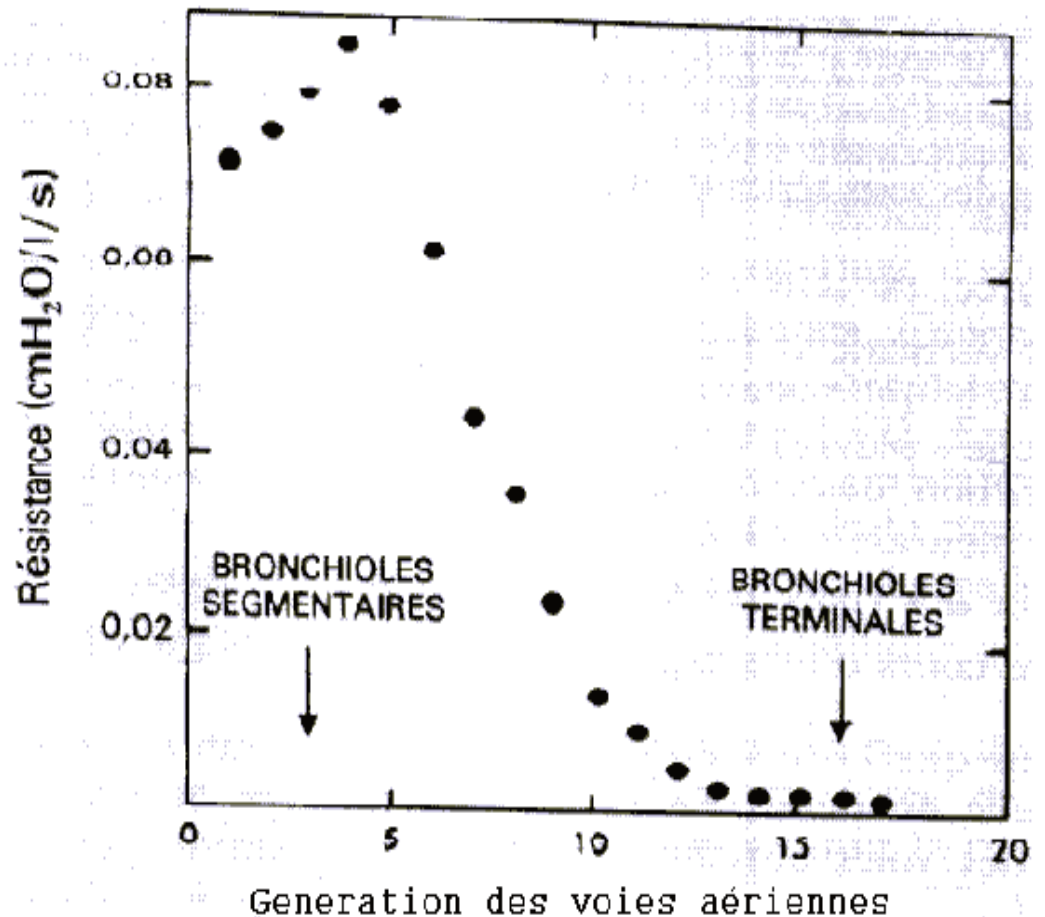
Voies aériennes
centrales

40 %

Voies aériennes
périphériques

10 %

Répartition intra-thoracique



$$\dot{V} = \Delta P / R$$

Analyse des débits expiratoires

Dans quelle condition un débit peut refléter le calibre des voies aériennes ?

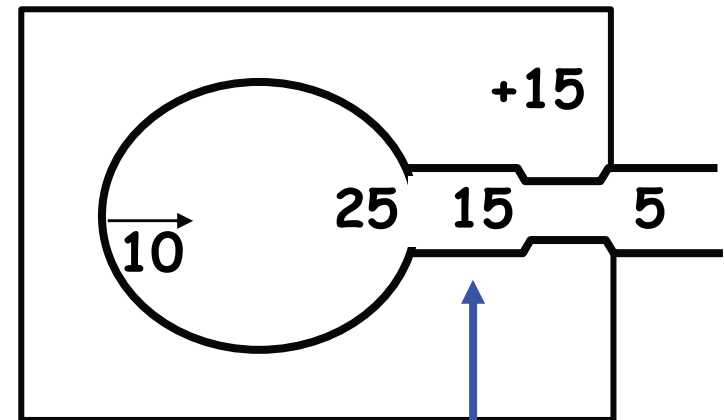
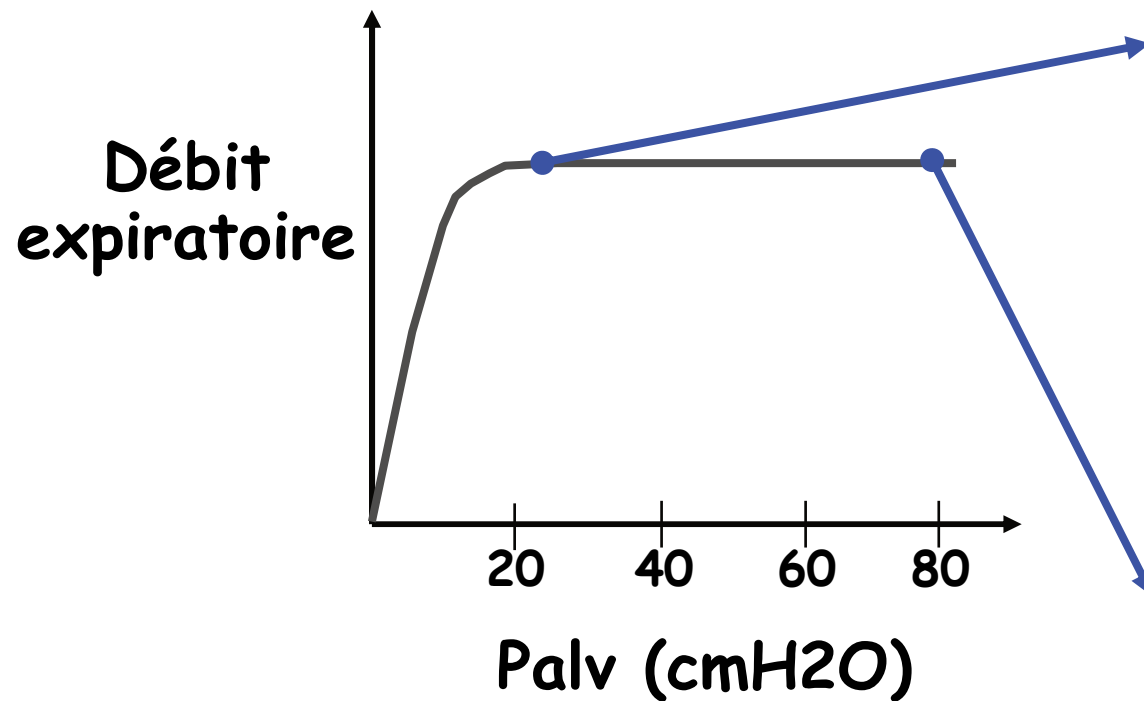
Quand le calibre est limitant pour le débit

Uniquement à l'expiration

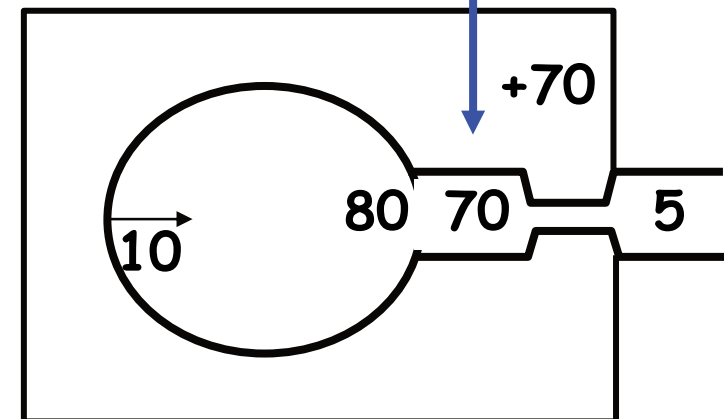
Débit inspiratoire non limité par le calibre
Limitation par l'effort musculaire

Expiration forcée : la limitation de débit

Evaluation de l'état des bronches



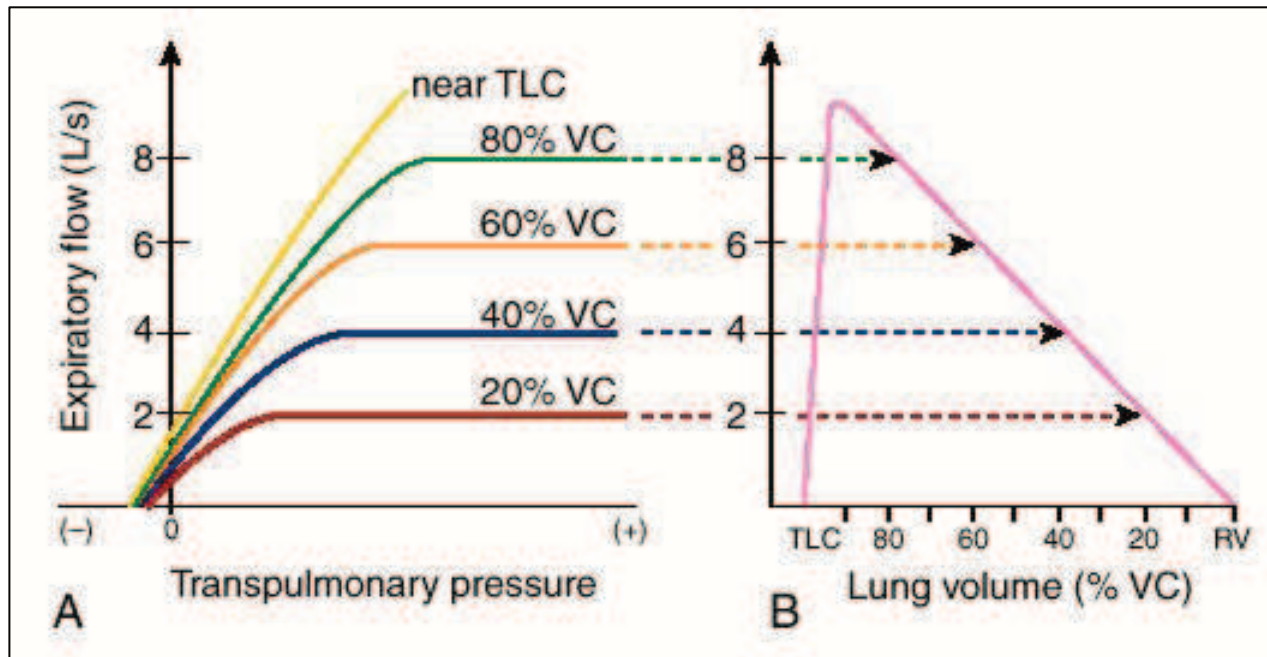
Limitation de débit



Phénomène de limitation
du débit expiratoire: collapsus

$$\dot{V} = \Delta P / R$$

Analyse des débits expiratoires

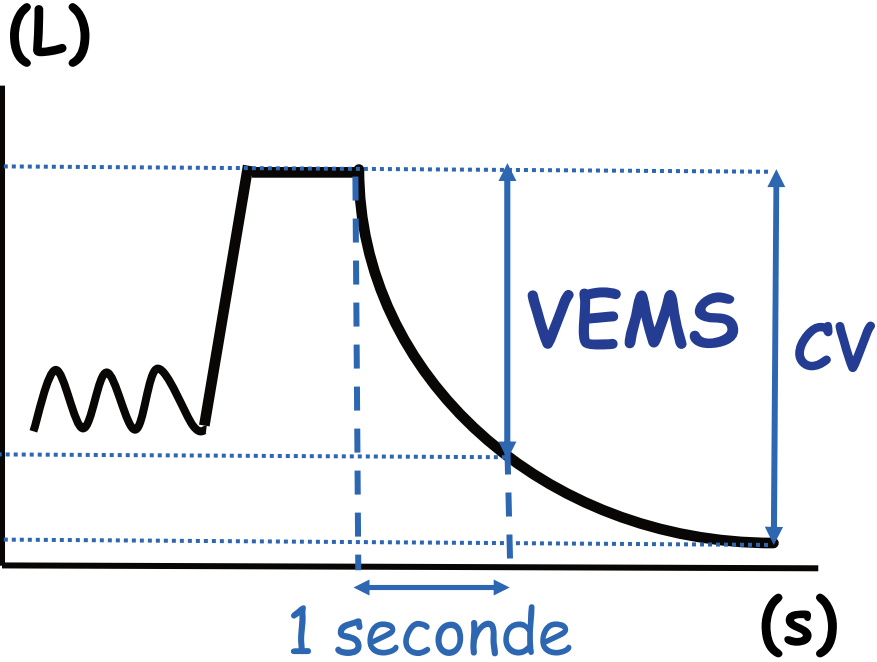


Le point de collapsus bronchique se déplace vers la « périphérie » au cours de l'expiration forcée

$$\dot{V} = \Delta P / R$$

Analyse des débits expiratoires

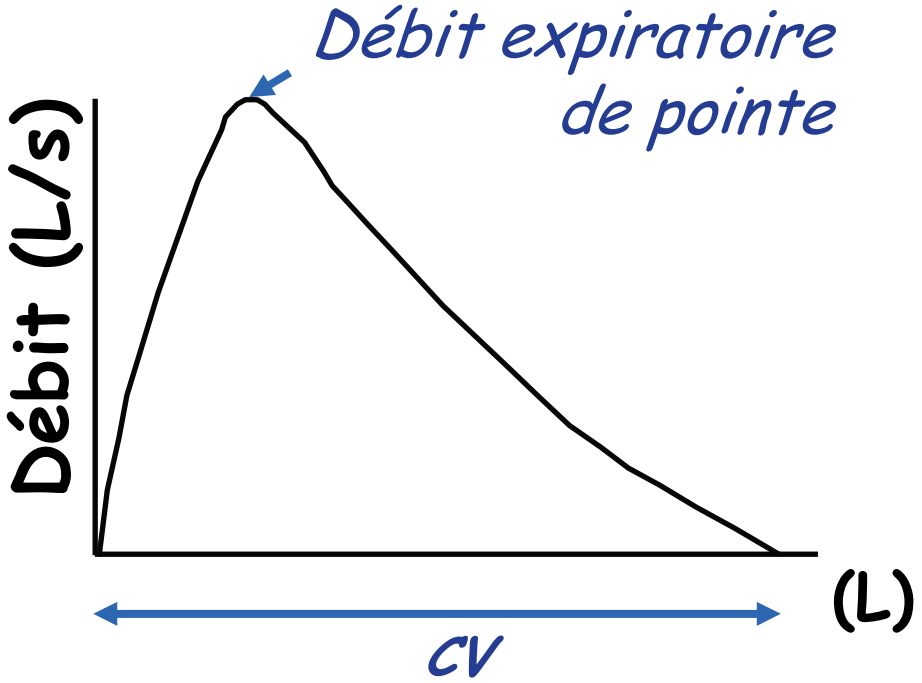
• Temps - Volume



VEMS > 75% CV

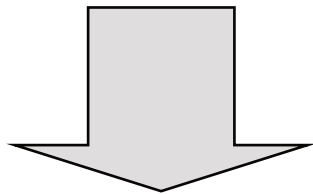
Volume Expiré Maximal en 1 Seconde

• Volume - Débit



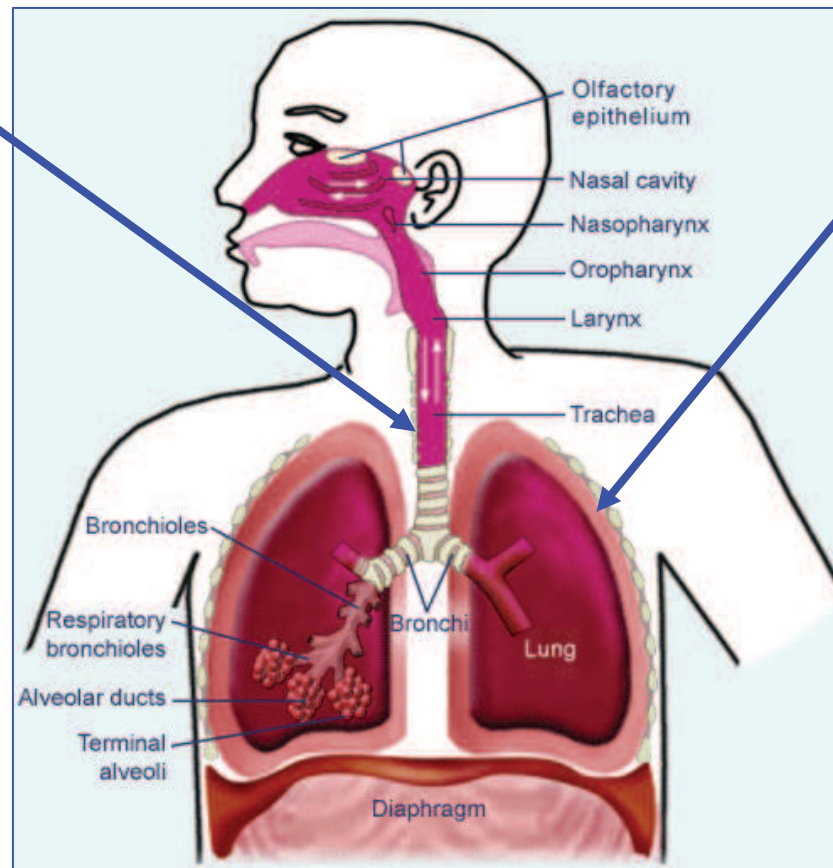
Explorations Fonctionnelles Respiratoires des pathologies pulmonaires

Obstruction
des VA:
Asthme, BPCO...

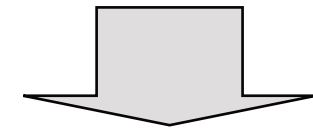


Etude aux EFR:

- débits
- résistance



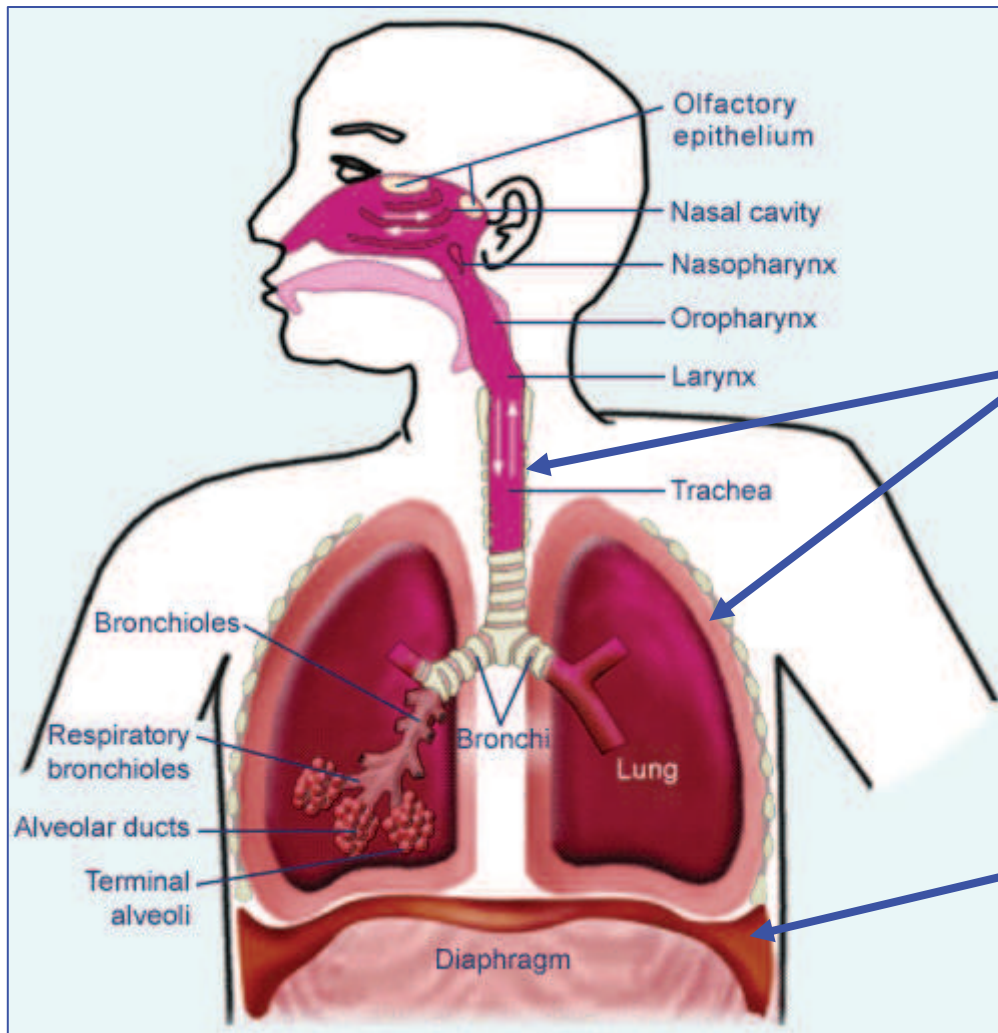
Atteinte du
parenchyme:
fibrose,
emphysème, ...



Etude aux EFR:

- volumes
- compliance

Systeme mécanique ventilatoire



Systeme passif:

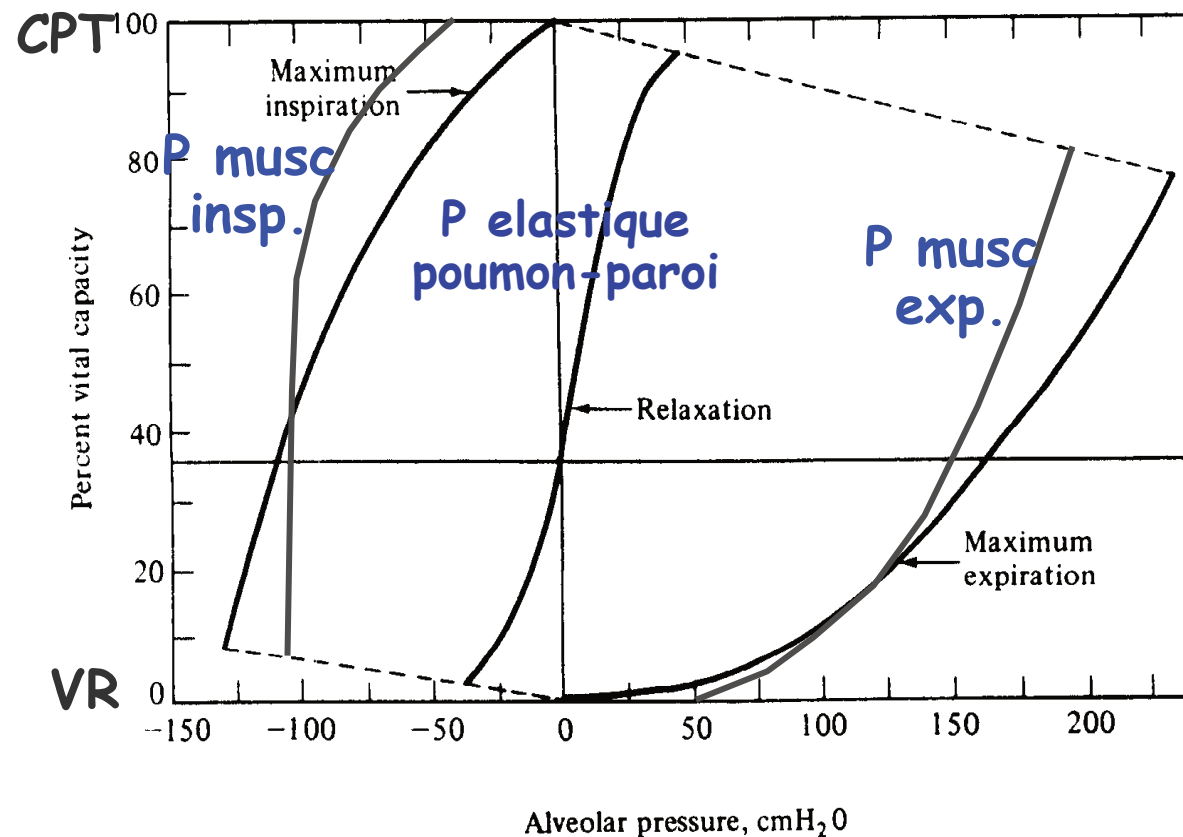
- Systeme élastique
- Systeme résistif

Systeme actif:
muscles ventilatoires

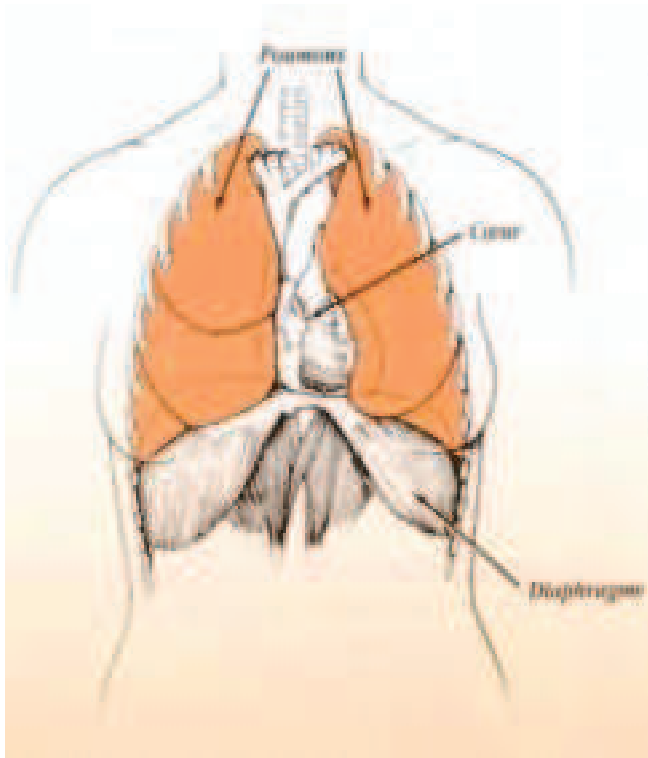
Systeme actif: muscles respiratoires

Pressions maximales

Effort maximal contre obstacle à la bouche à différents volumes pulmonaires

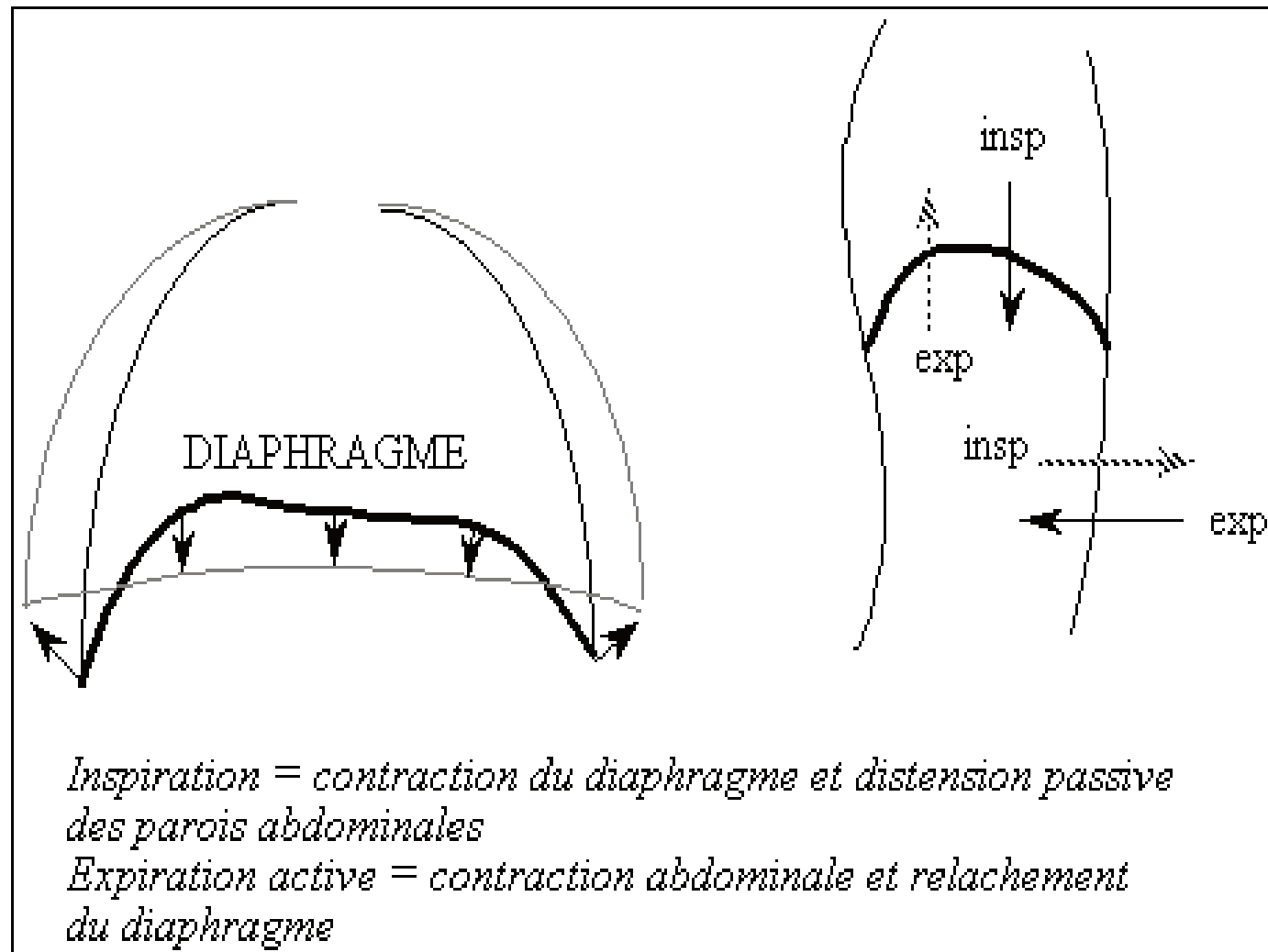


Muscle inspiratoire principal : diaphragme



- Muscle strié
- Double contrôle : volontaire, automatique
- Inspiration essentiellement
- Hémi-diaphragme = coupole + dôme aplati
- Diaphragme = 2 muscles
 - costale, antérieure : mince, plat (partie tendineuse diaphr. → cage thor.)
 - crural, post, paravertébral, épais
- Composition : 40% fibres lentes oxydatives
- Commande : nerfs phréniques
corps cellulaires motoneurones : C3-C4-C5

Diaphragme



Autres muscles inspiratoires

1. Muscles inspiratoires actifs à l'inspiration normale

- action: contraction permettant de rigidifier cage thor.
- muscles intercostaux parasternaux
- scalènes

2. Muscles inspiratoires accessoires

- recrutés en cas de besoin (défaillance respiratoire)
- muscles intercostaux externes
- muscles sternocléidomastoïdiens

Expiration

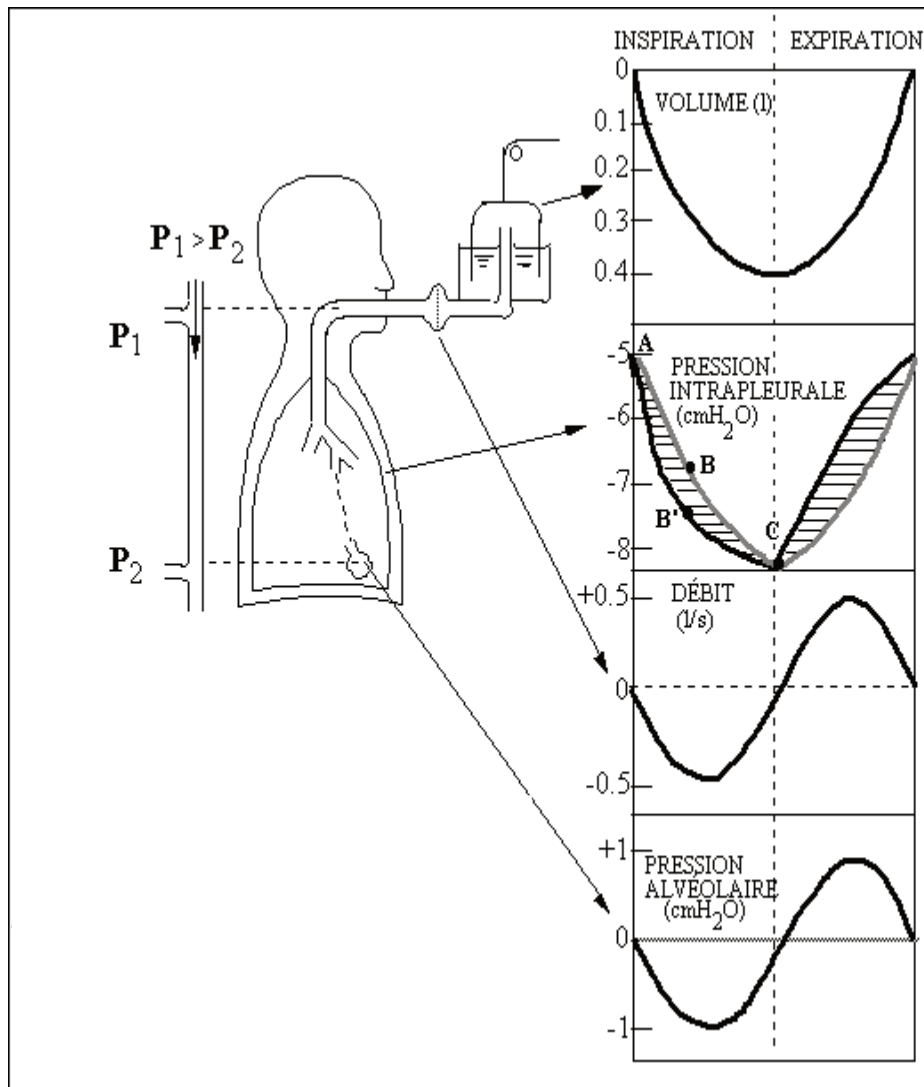
Expiration passive au cours de la ventilation calme

Expiration active lors de l'exercice musculaire

Liée à l'action des muscles de la paroi abdominale

- grands droits
- obliques interne et externe
- transverse
- leur contraction refoule le diaphragme vers le haut

Pressions au cours de la ventilation courante



Respiration normale
volume courant ~400 ml

Pression pleurale négative
CRF: - 5cmH₂O

Débit au repos < 500 ml/s

Très faibles variations
de pression alvéolaire