

PHYSIOLOGIE DE LA RESPIRATION

Pr. André DENJEAN

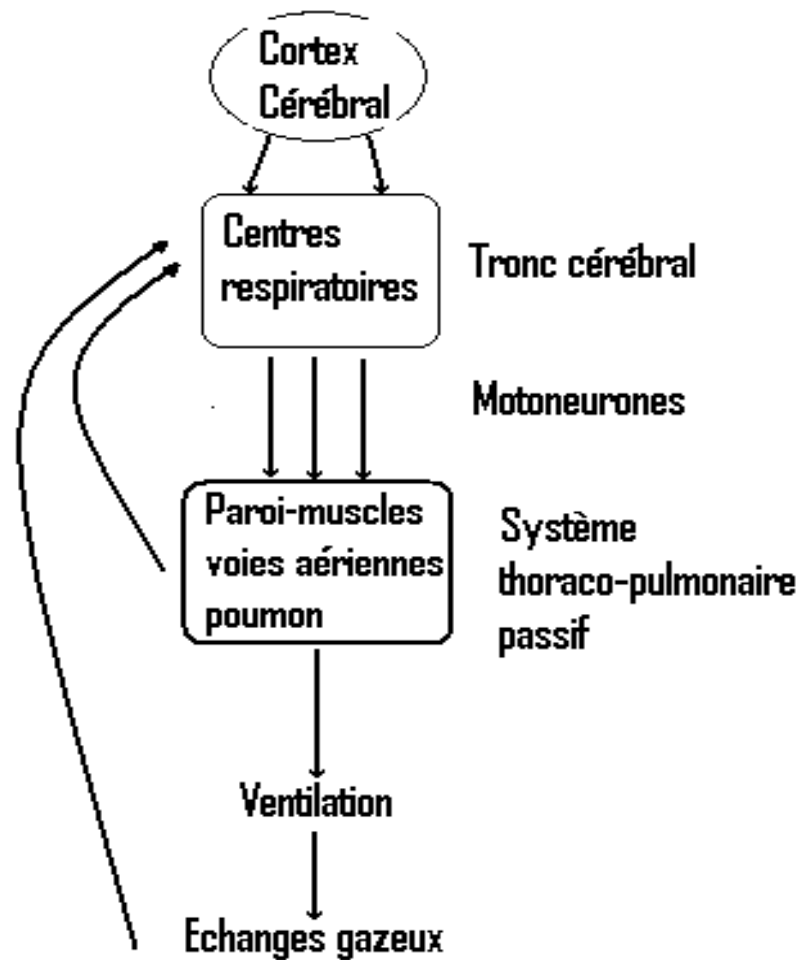
2011

Physiologie de la Respiration

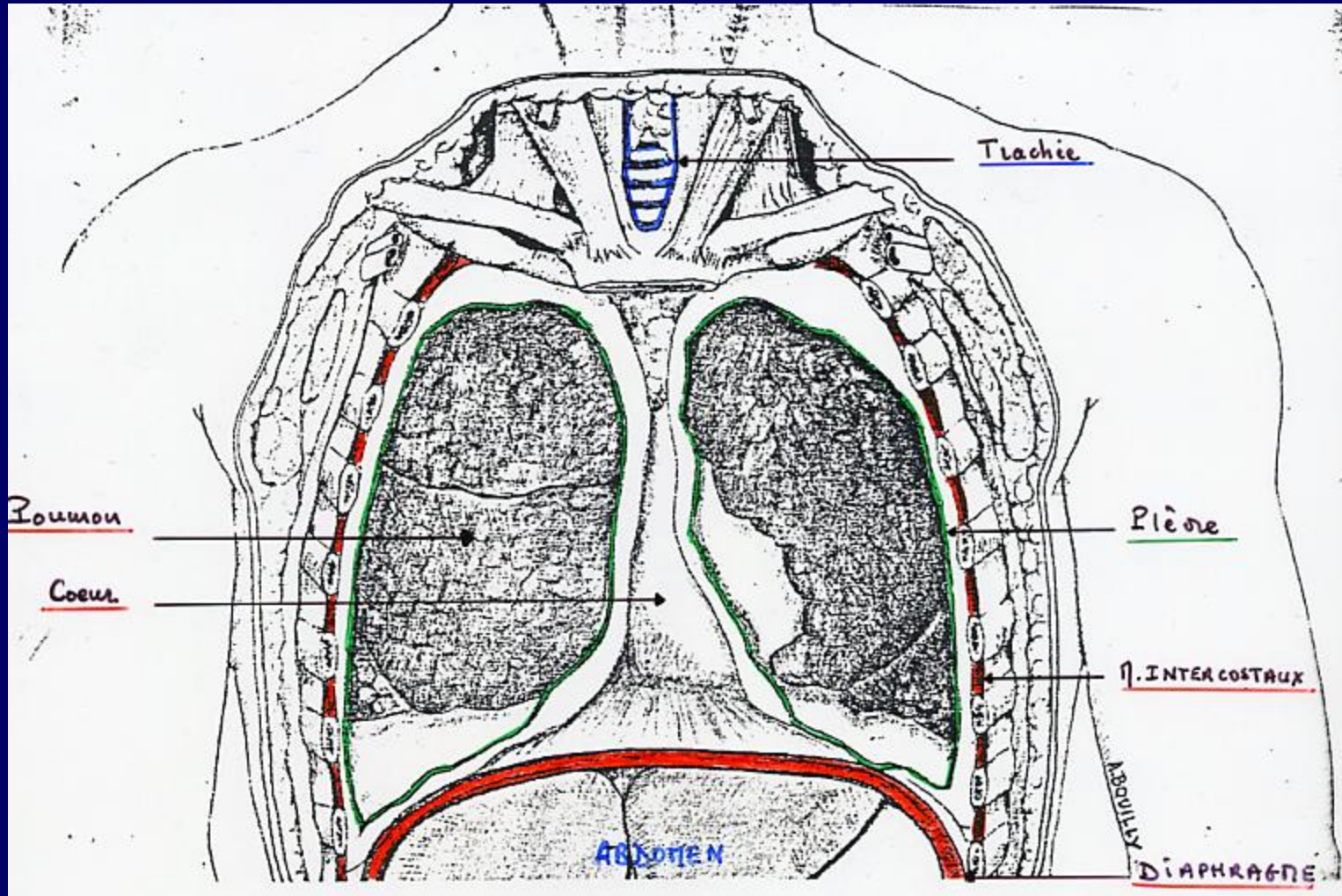
Comprend l'étude de :

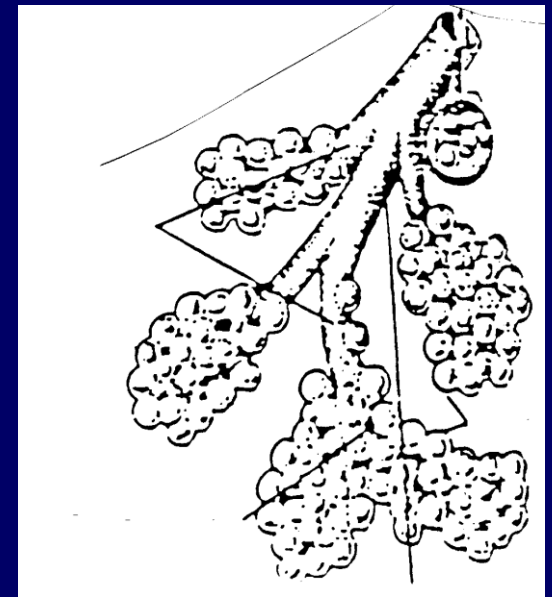
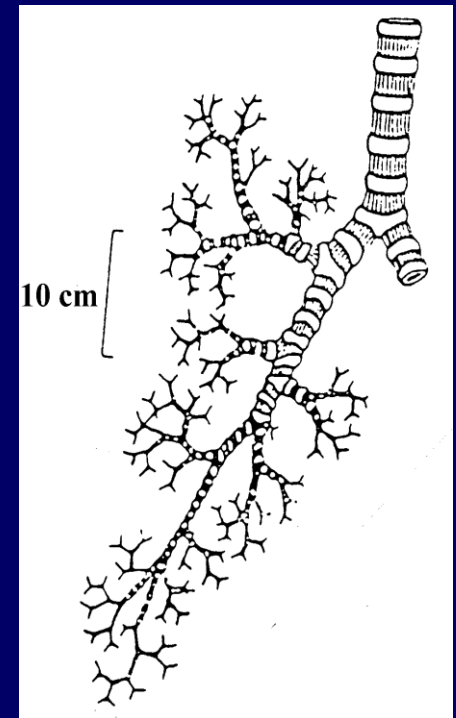
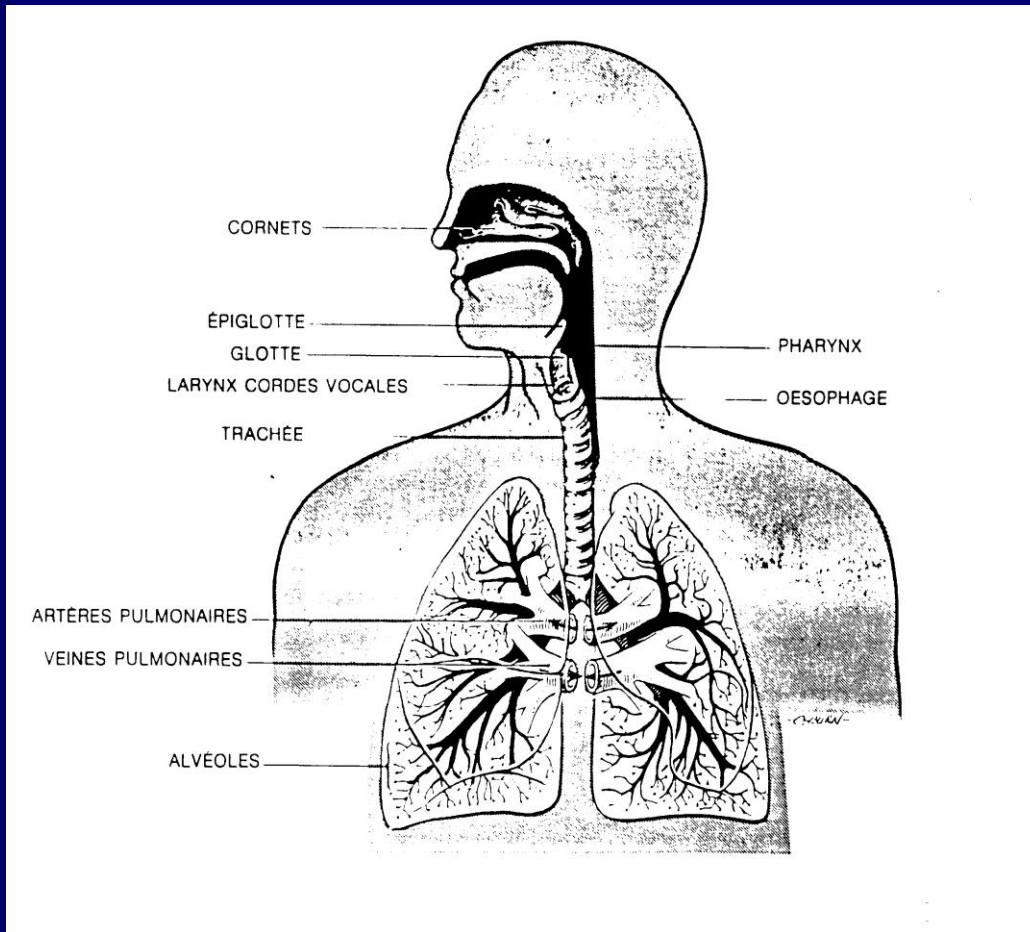
- **La ventilation (commande, effecteurs, mécanique, contrôle)**
- **Des échanges gazeux et des transports des gaz dans l'organisme (conduction, convection, diffusion)**
- **Voies aériennes et fonctions non respiratoires du poumon (épuration, métabolisme, équilibre acido-basique)**
- **Adaptations à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

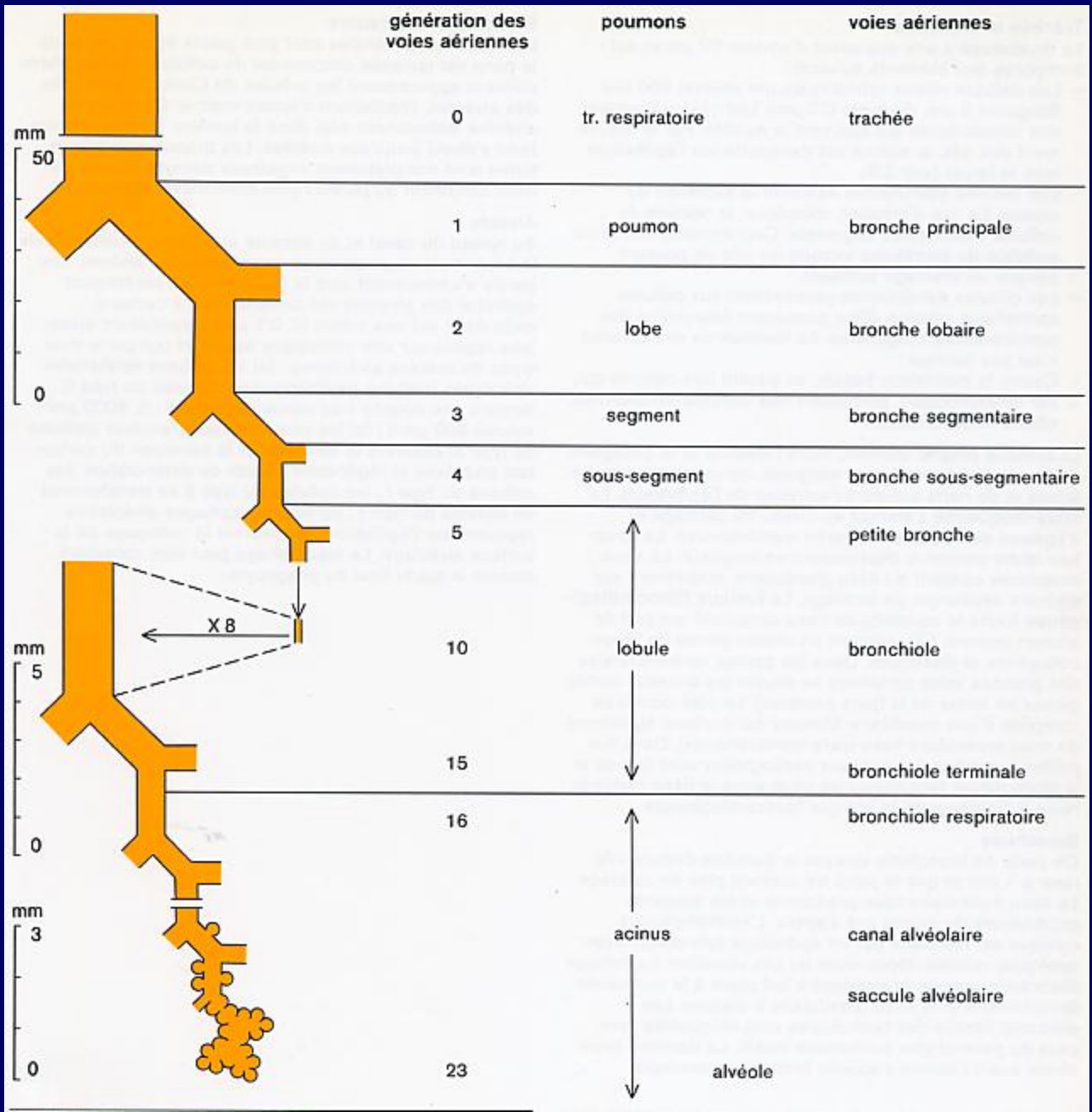
Schéma général



Anatomie du Thorax



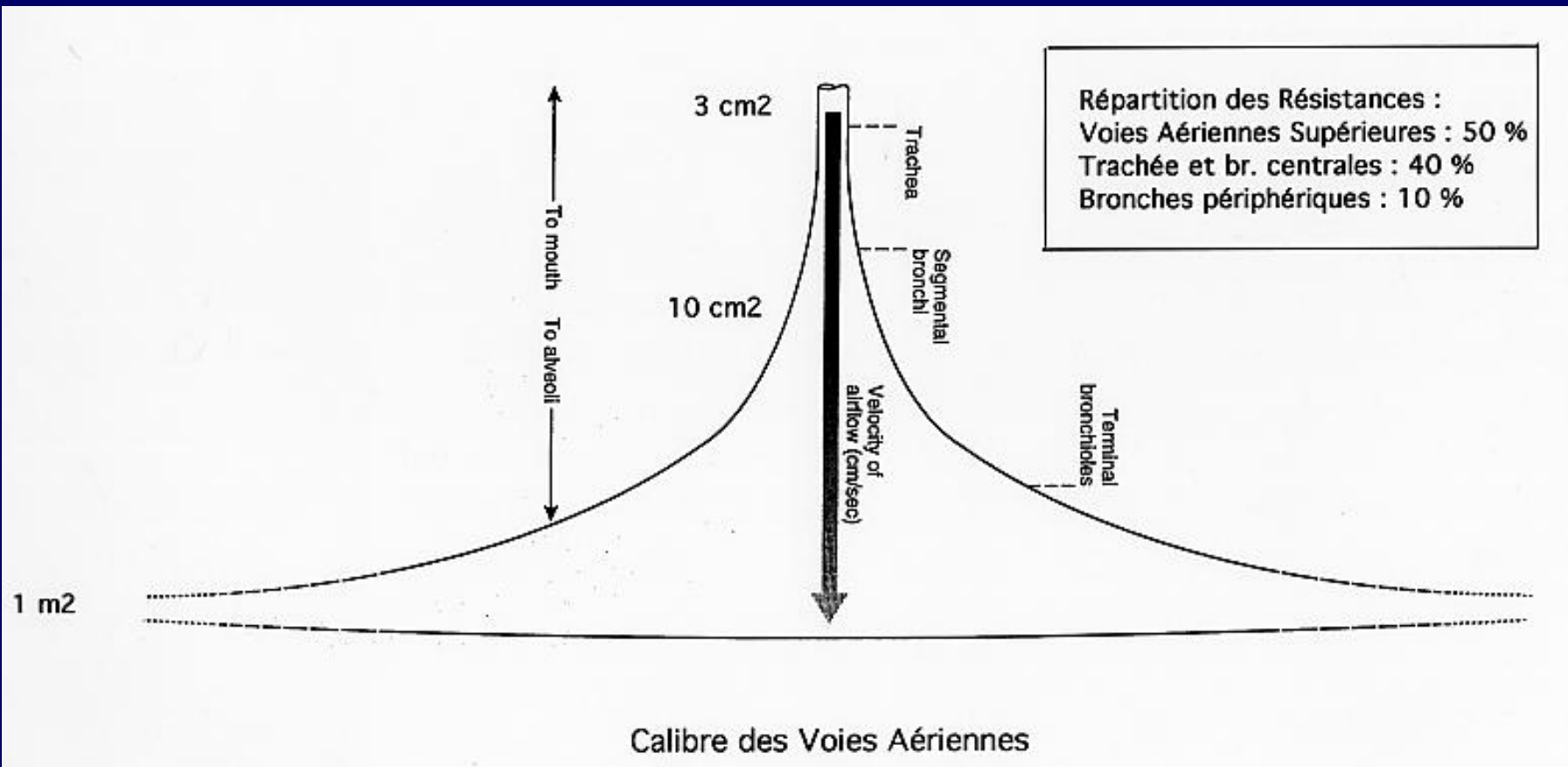




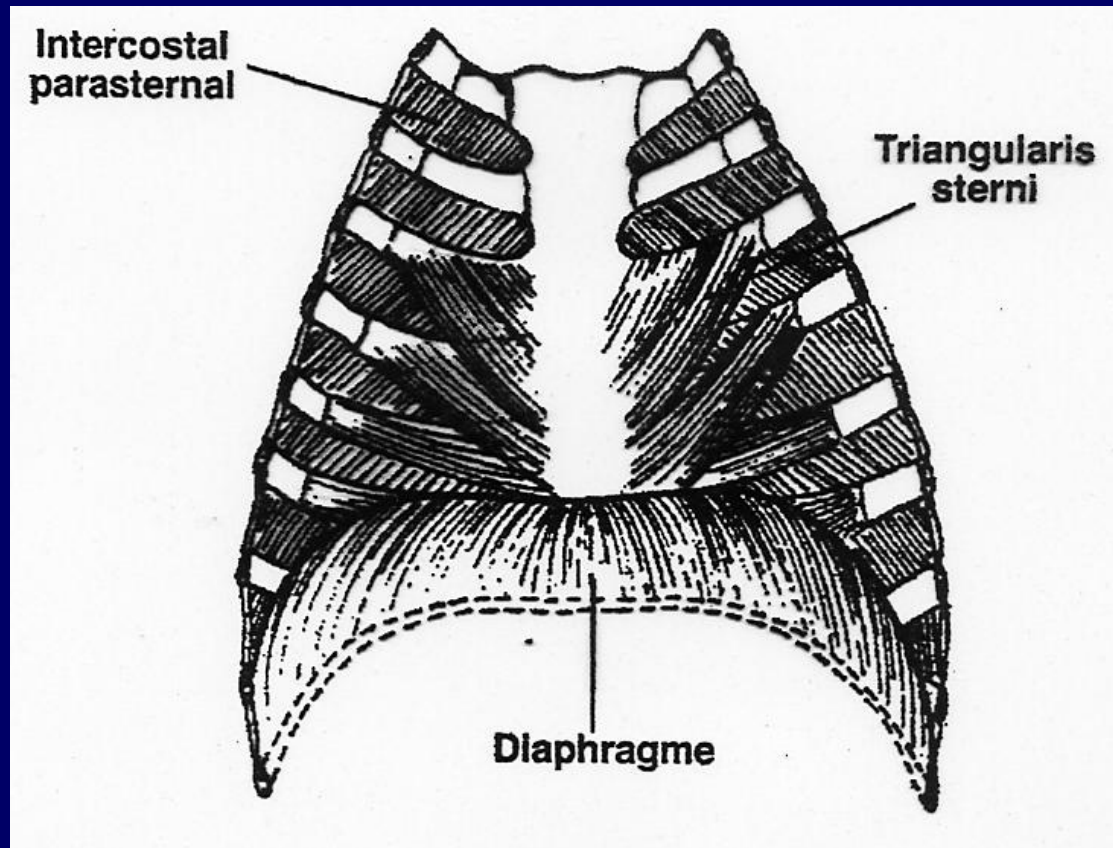
De la trachée
aux
Alvéoles

Arbre bronchique

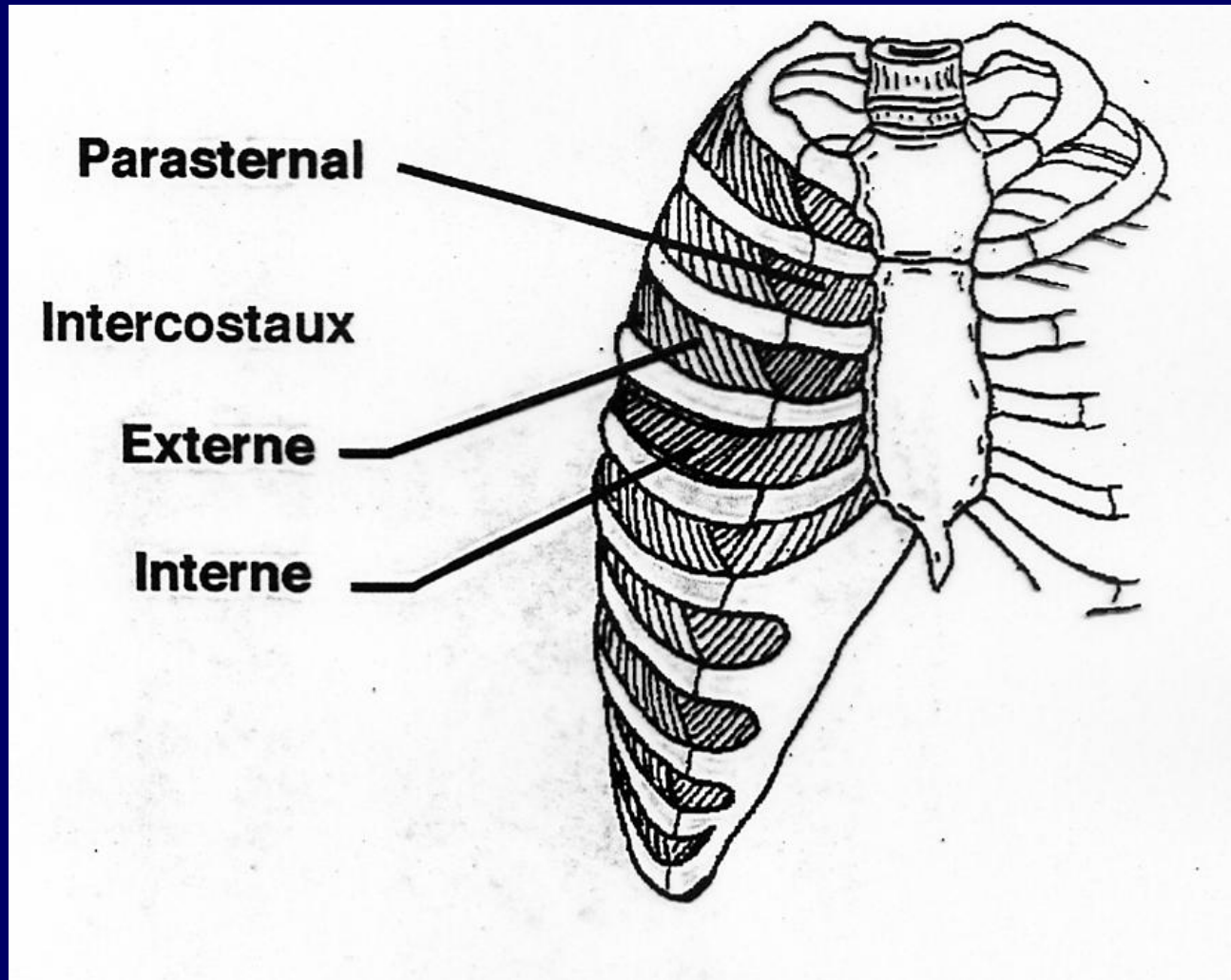
- Trachée : D 2cm, S 3 cm²
- Voies aériennes centrales : D 1-2 mm, S 10 cm², n 1000
- Voies aériennes périphériques : 0.5 mm, S 1m², n 1Million
- Résistances : $R = P/V'$
 - 50% VAS, 40% VA centrales, 10% VA périph



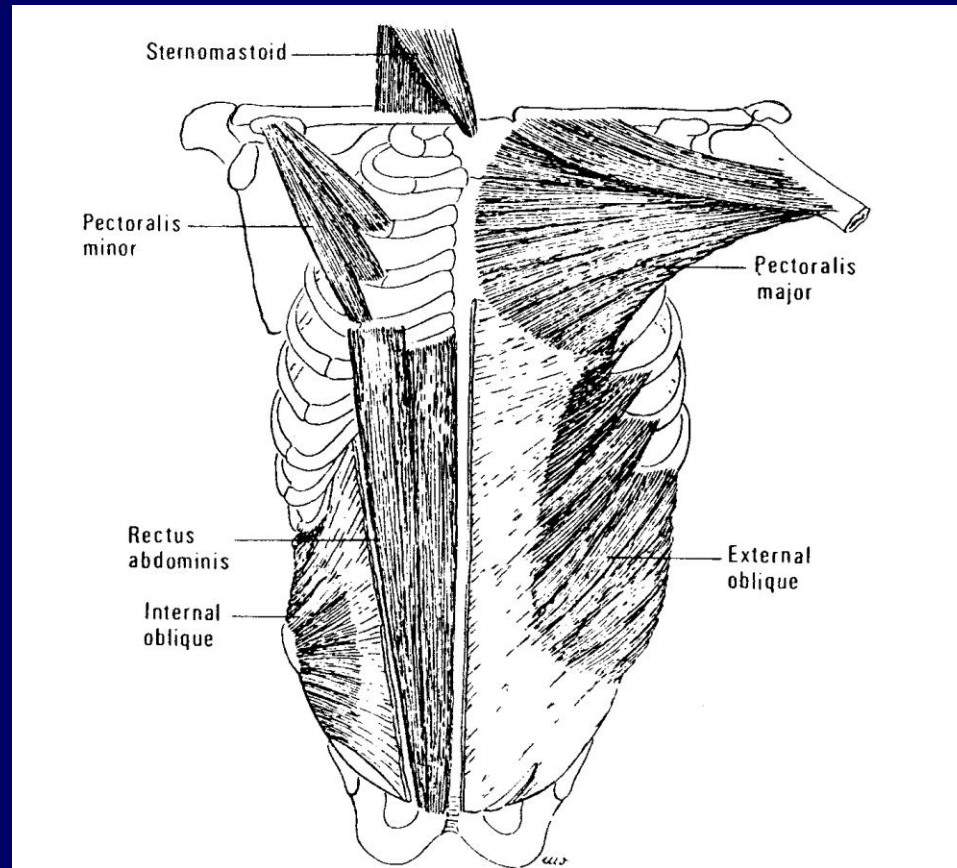
Muscles Ventilatoires



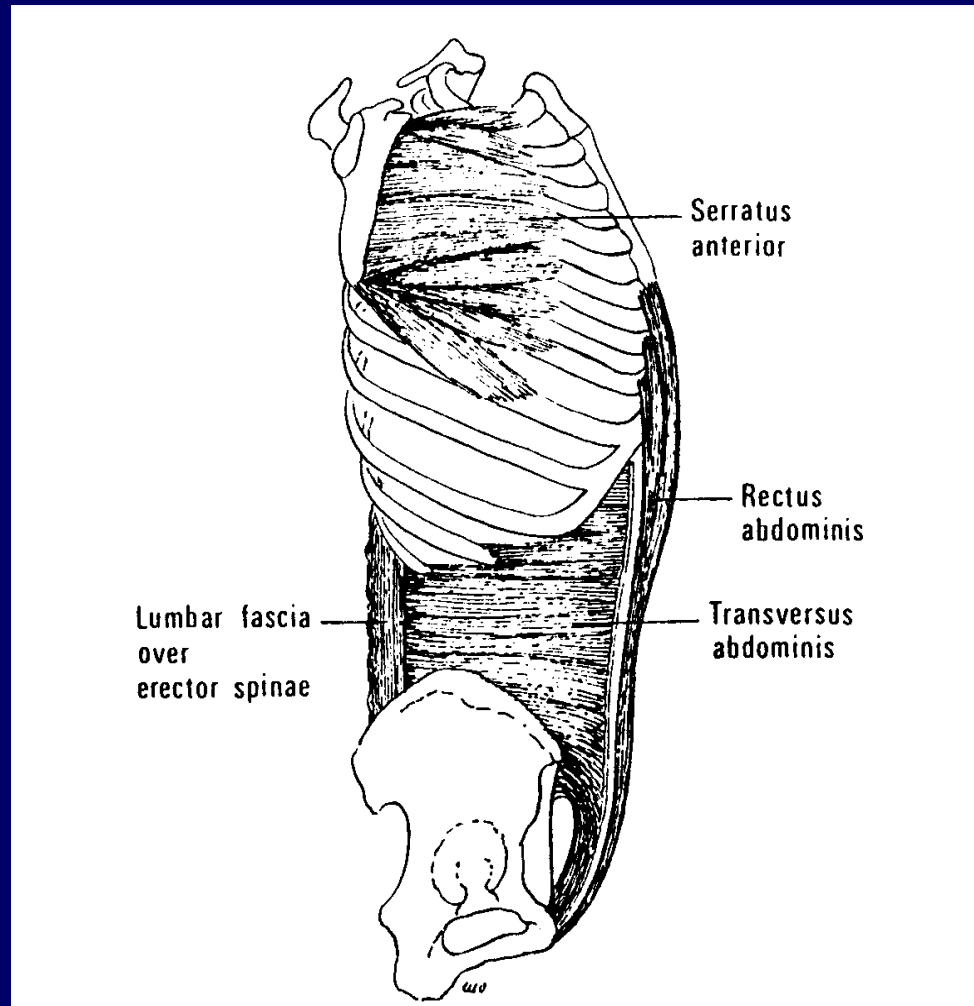
Muscles Ventilatoires



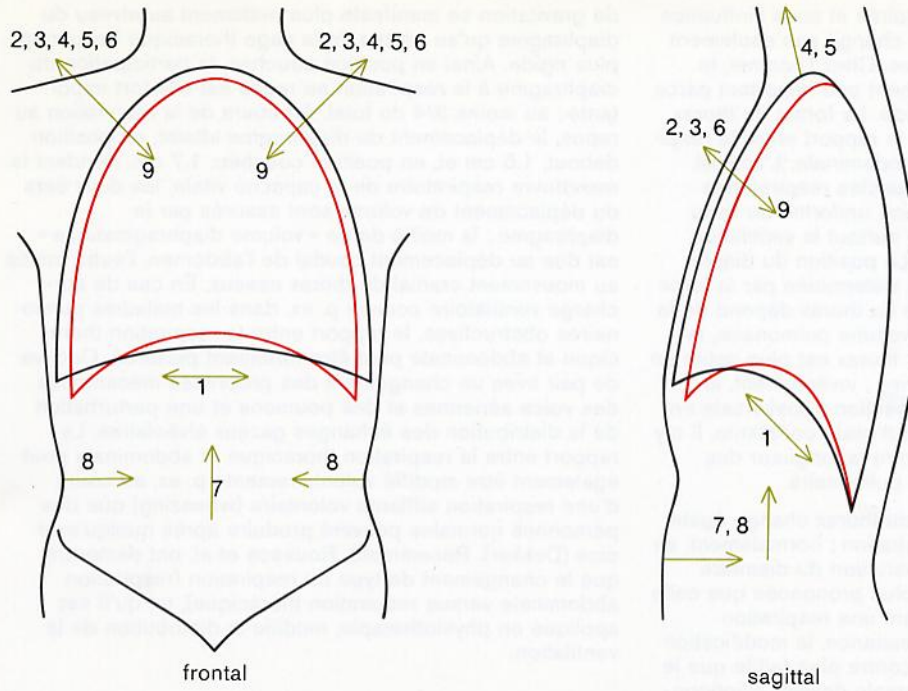
Muscles expiratoires



Muscles expiratoires



Les muscles ventilatoires



muscles respiratoires

muscles inspiratoires primaires :

1. diaphragme
2. m. intercostal externe
3. m. sternocostal

muscles inspiratoires secondaires :

4. m. sternocleidomastoïdien
5. m. scalène
6. m. pectoral

muscles expiratoires :

7. m. abdominal droit
8. m. abdominal oblique
9. m. intercostal interne

innervation motrice

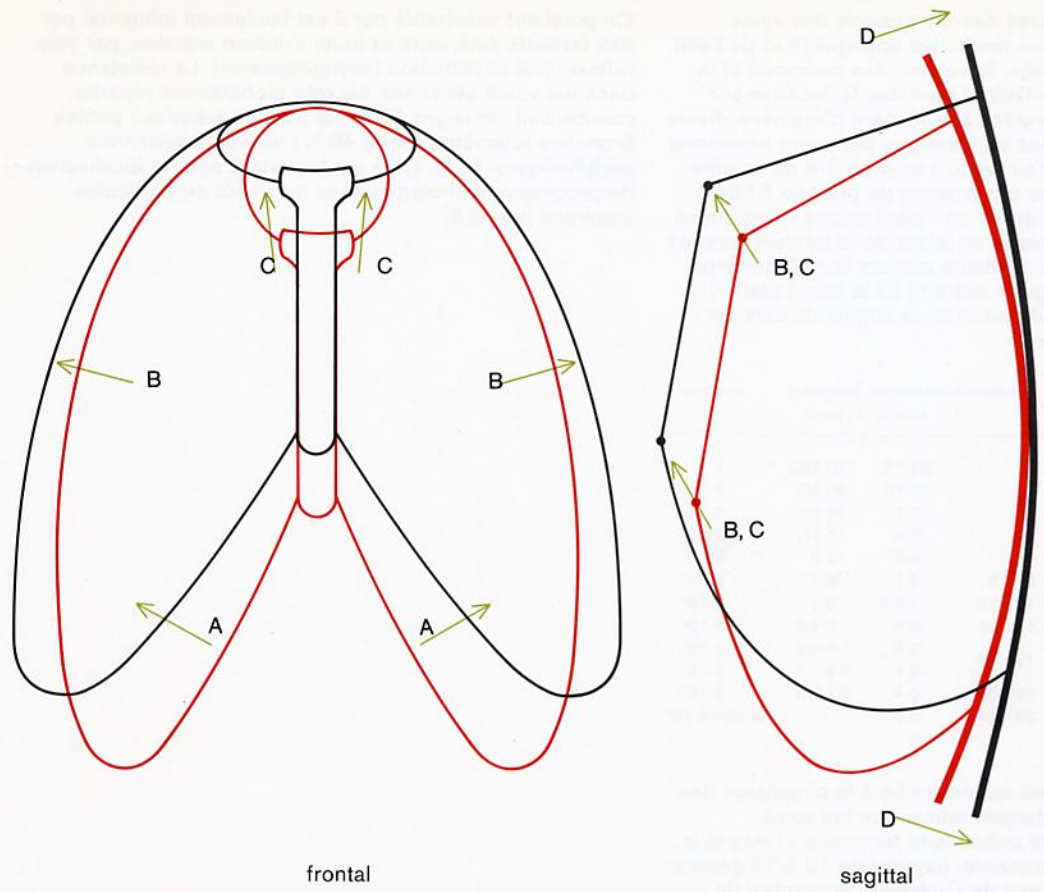
- n. phrénique (C3-C5)
- n. intercostal (T1-T11)
- n. intercostal (T1-T6)

- r. cervical XII (C2-C4)
- r. cervical spinal (C3-C8)
- n. pectoral (C5-T1)

- { n. ilio-inguinal }
- { n. ilio-hypogastrique } (T7-L1)
- n. intercostal (T1-T11)

— inspiration

— expiration



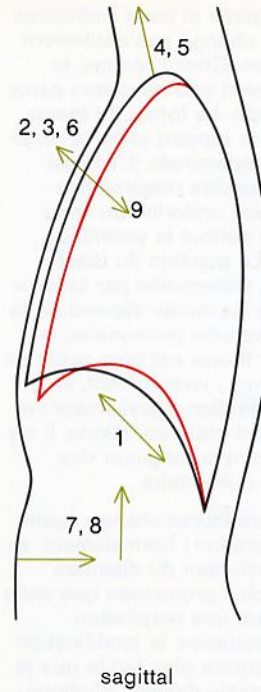
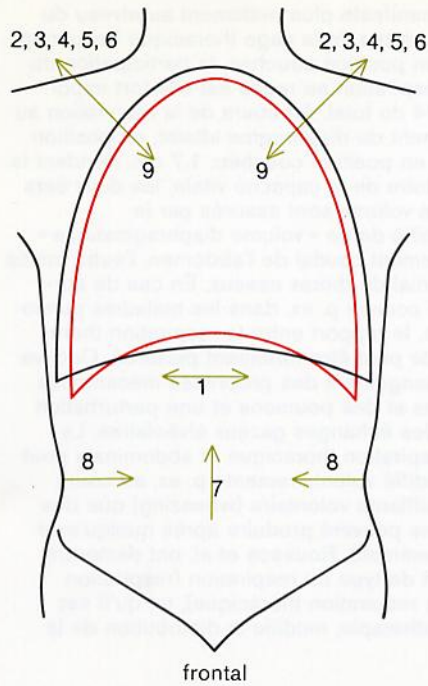
frontal

sagittal

— inspiration
 — expiration

A : élargissement de l'ouverture thoracique inférieure
 B : élargissement latéral du thorax
 C : déplacement cranial du thorax
 D : extension de la colonne vertébrale

Action des Muscles ventilatoires



Les muscles ventilatoires

muscles respiratoires

muscles inspiratoires primaires :

1. diaphragme
2. m. intercostal externe
3. m. sternocostal

muscles inspiratoires secondaires :

4. m. sternocleidomastoïdien
5. m. scalène
6. m. pectoral

muscles expiratoires :

7. m. abdominal droit
8. m. abdominal oblique
9. m. intercostal interne

innervation motrice

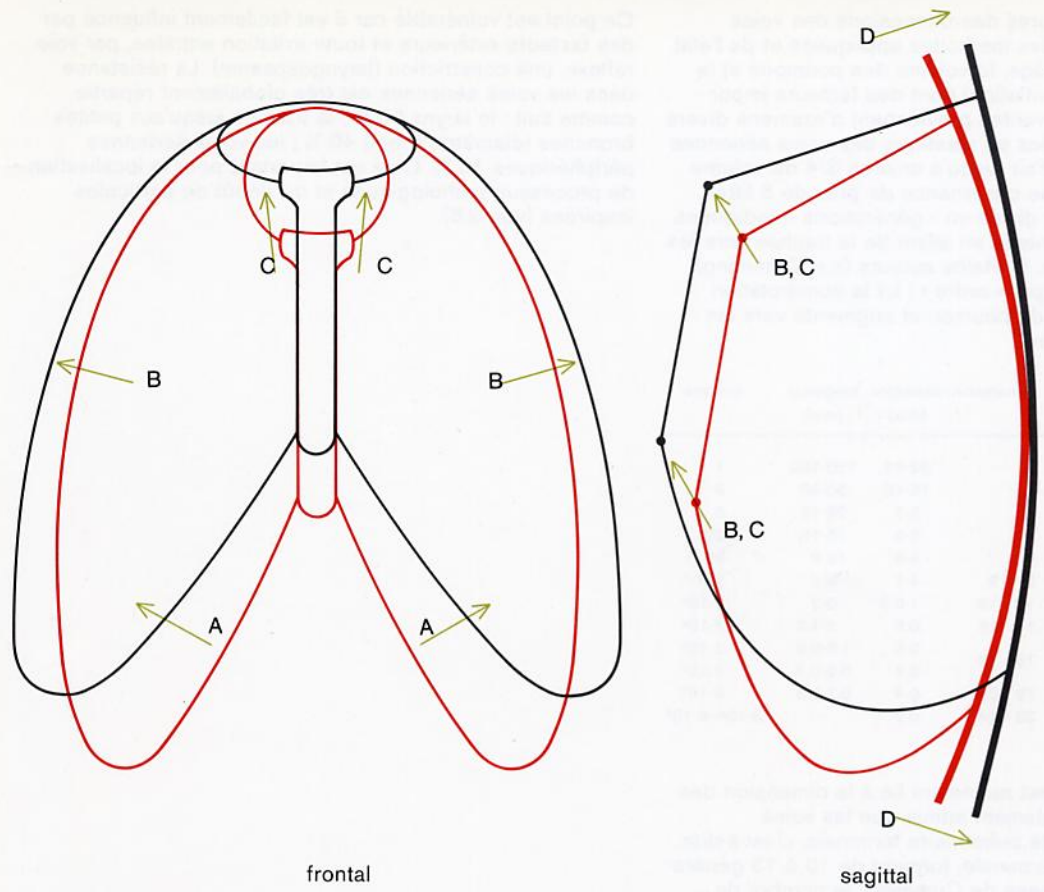
- n. phrénique (C3-C5)
- n. intercostal (T1-T11)
- n. intercostal (T1-T6)

- r. cervical XII (C2-C4)
- r. cervical spinal (C3-C8)
- n. pectoral (C5-T1)

- { n. ilio-inguinal }
- { n. ilio-hypogastrique } (T7-L1)
- n. intercostal (T1-T11)

— inspiration

— expiration



frontal

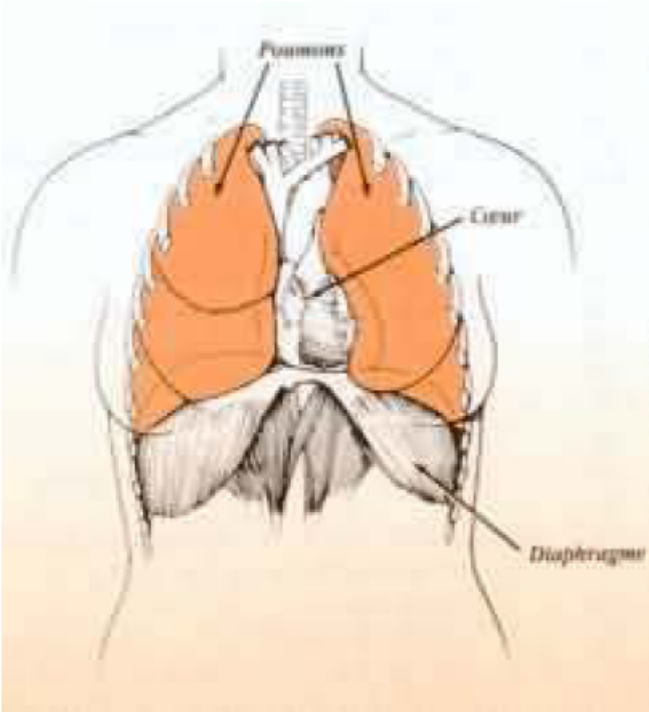
sagittal

— inspiration
 — expiration

A : élargissement de l'ouverture thoracique inférieure
 B : élargissement latéral du thorax
 C : déplacement cranial du thorax
 D : extension de la colonne vertébrale

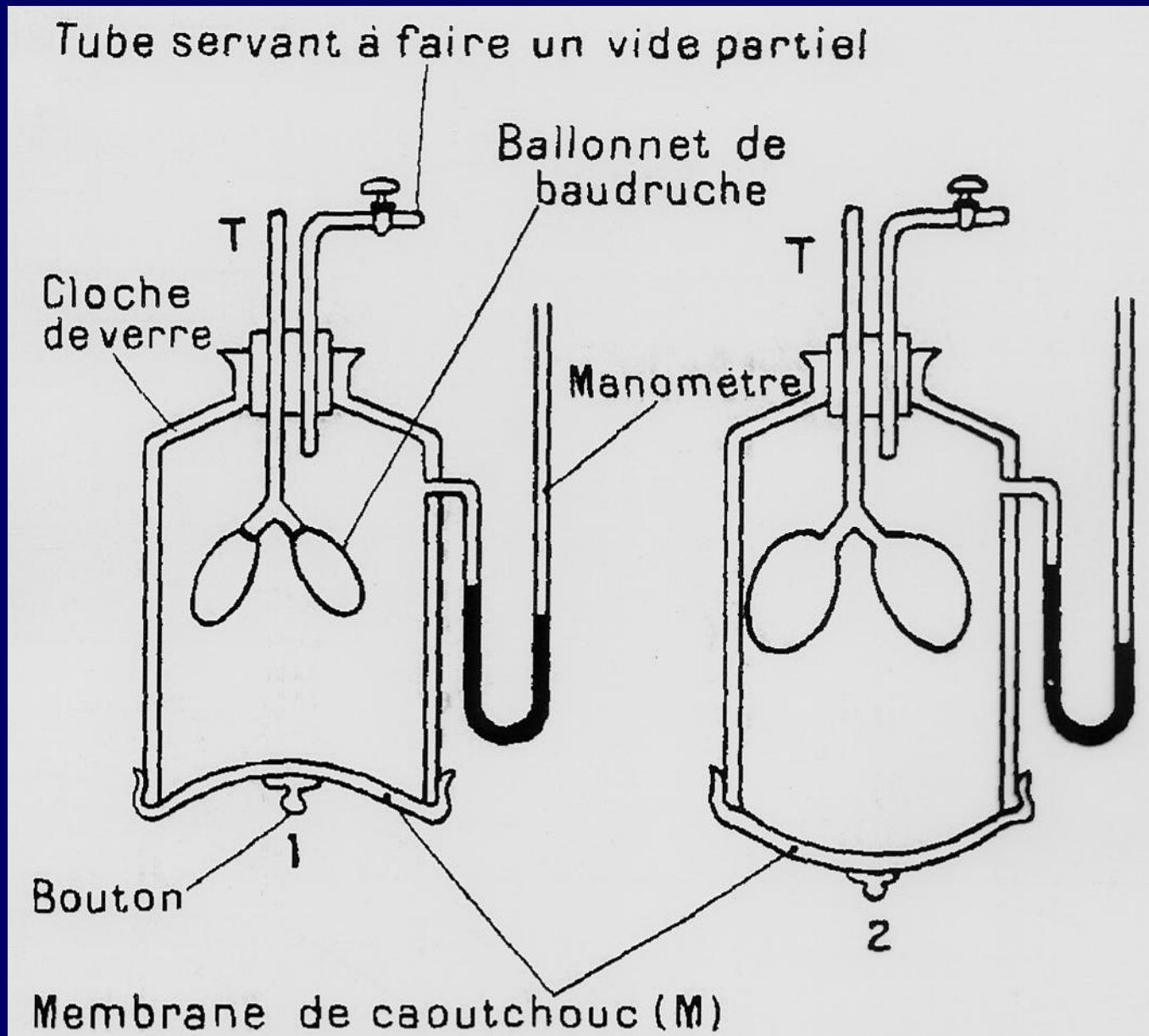
Action des Muscles ventilatoires

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

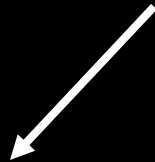
Modèle simplifié de mécanique ventilatoire



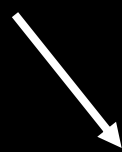
Muscles Ventilatoires



PRESSIONS (contraintes)



Poumons



V. Aériennes



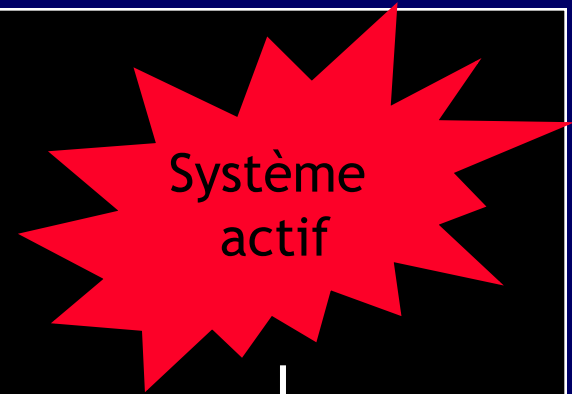
Volumes



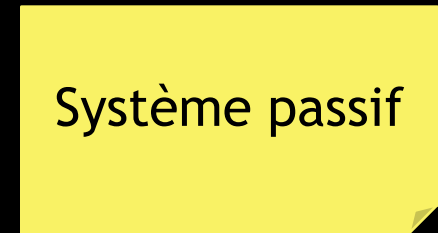
Débits



Inspiration et expiration



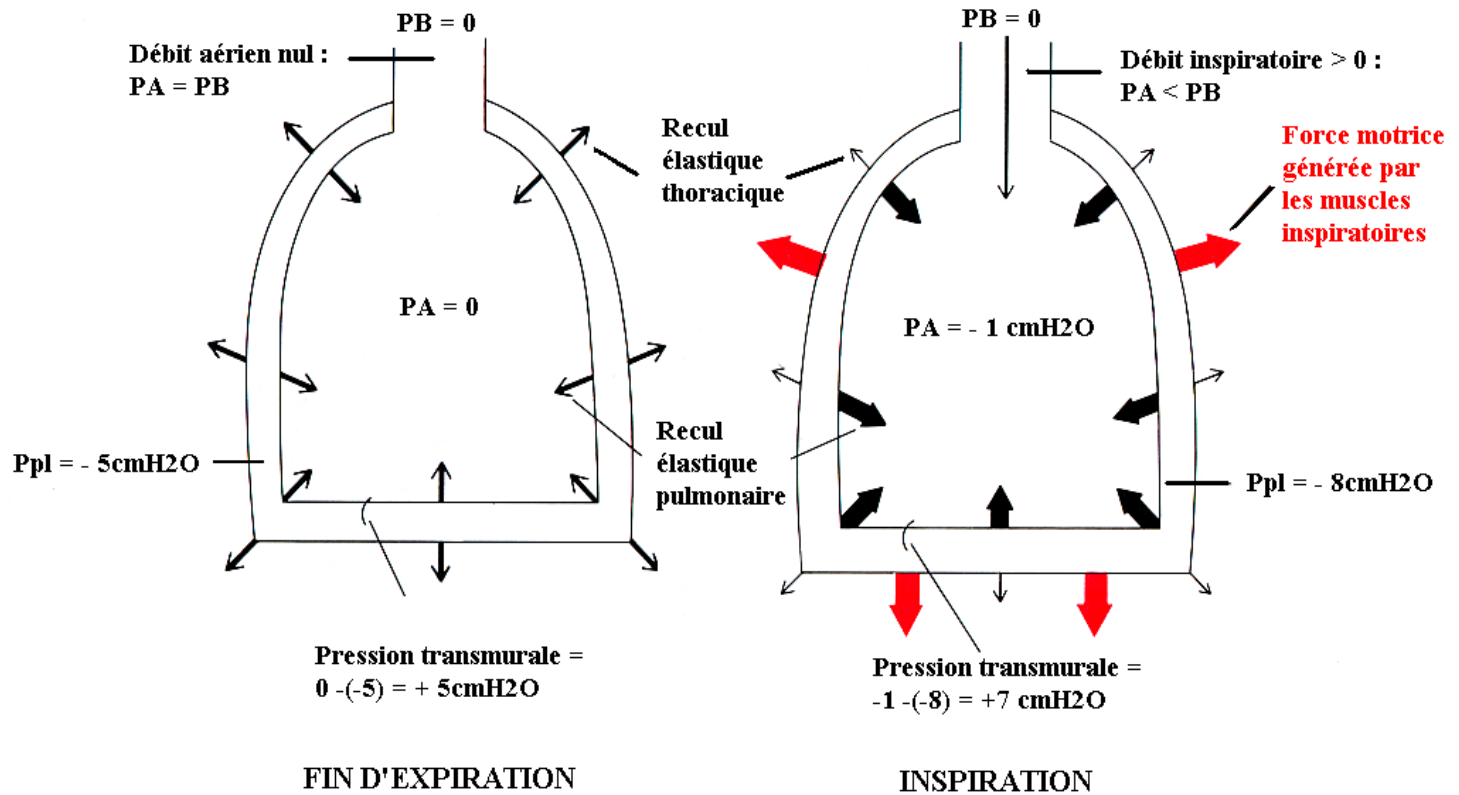
Système actif



Système passif



Déformations



Ventilation : les forces en présence

LES PRESSIONS

Les pressions mesurées

- la pression alvéolaire (PA)
- la pression pleurale (Ppl)
- la pression perithoracique (PB)

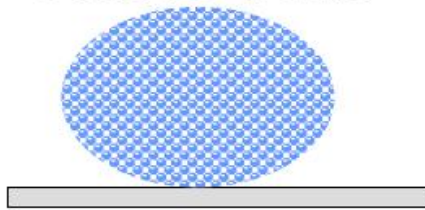
Les pressions calculées

- la pression trans-pulmonaire (Ppl-PA)
- la pression trans-thoracique (Ppl-PB)
- la pression trans-thoracopulmonaire (PA-PB)

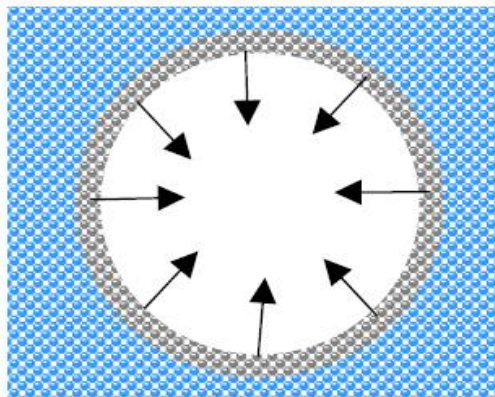
Interface air-tissu: tension superficielle

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

Goutte d'eau

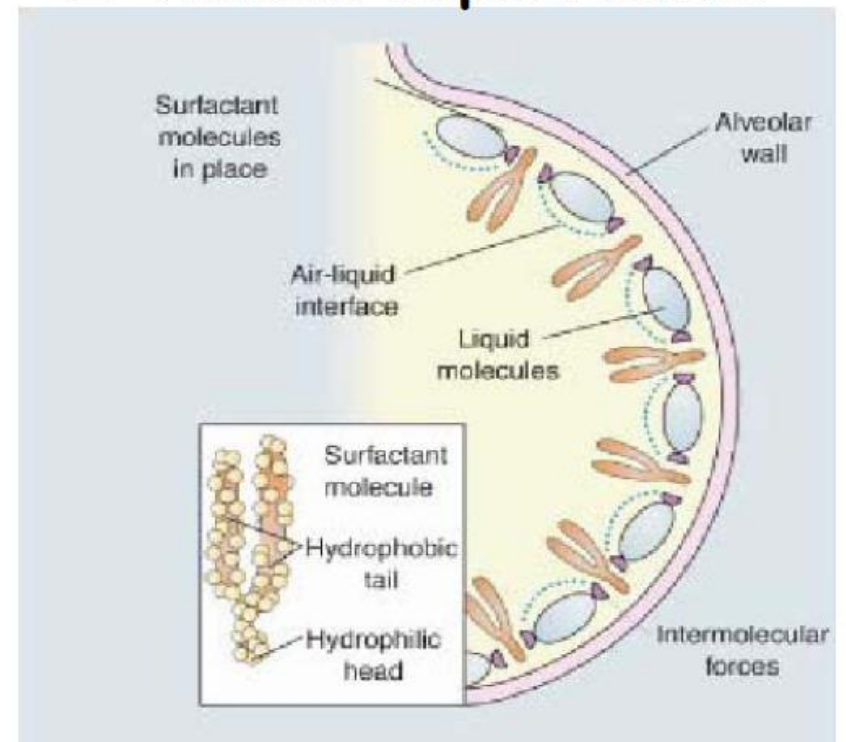


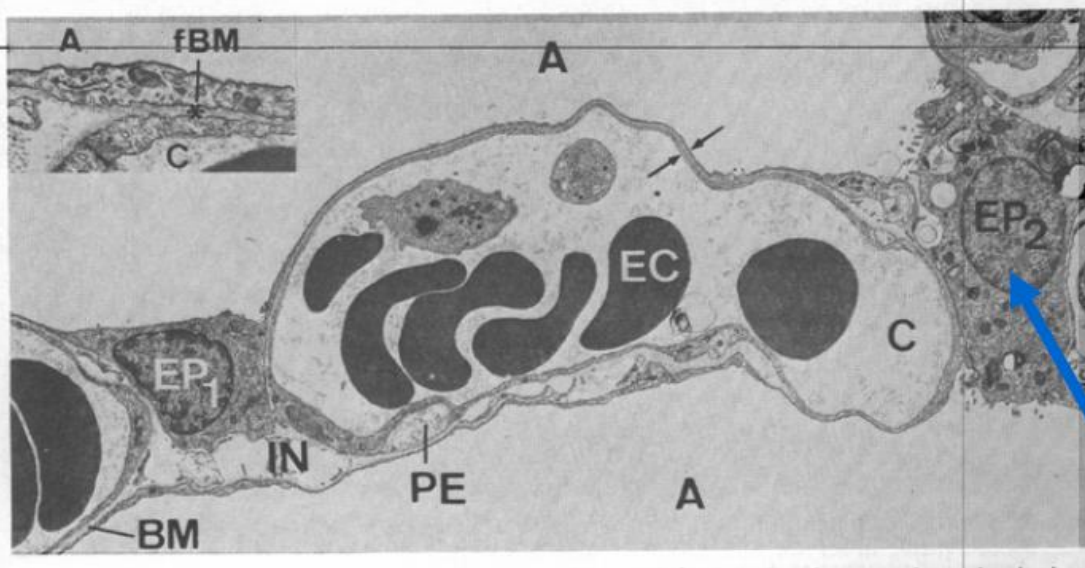
alvéole



$$P = 2T/r$$

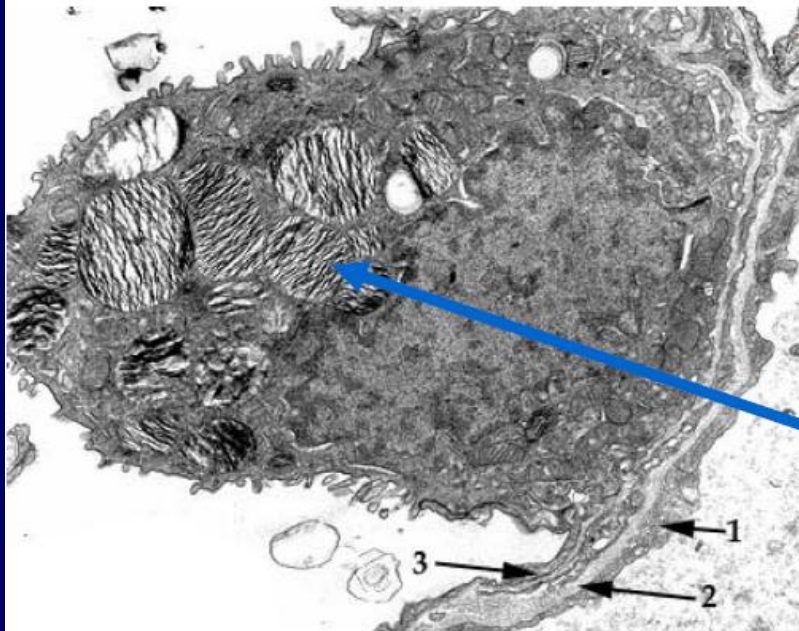
Surfactant:
↘ tension superficielle





Surfactant

85% phospholipides
13% protéines

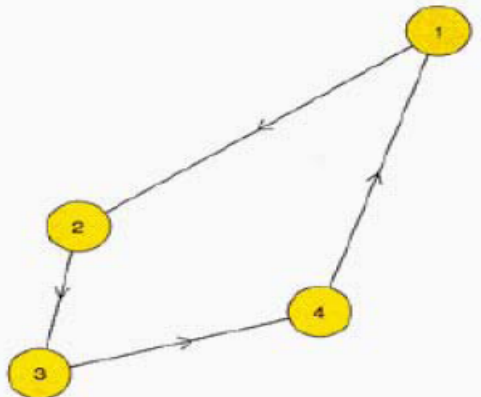


Pneumocyte de type II:

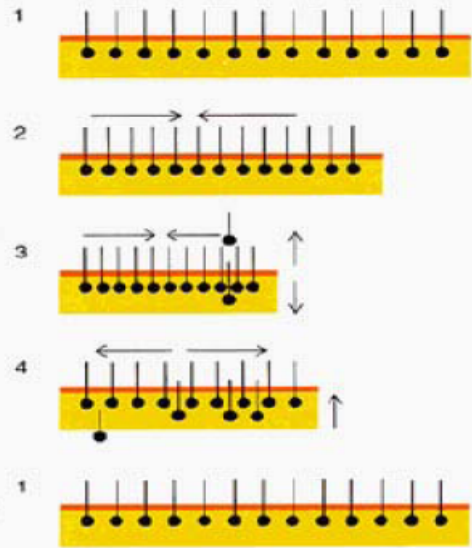
- 60% des cellules épithéliales alvéolaires
- 5% de la surface épithéliale
- synthèse et sécrétion du surfactant

Corps lamellaires

surface



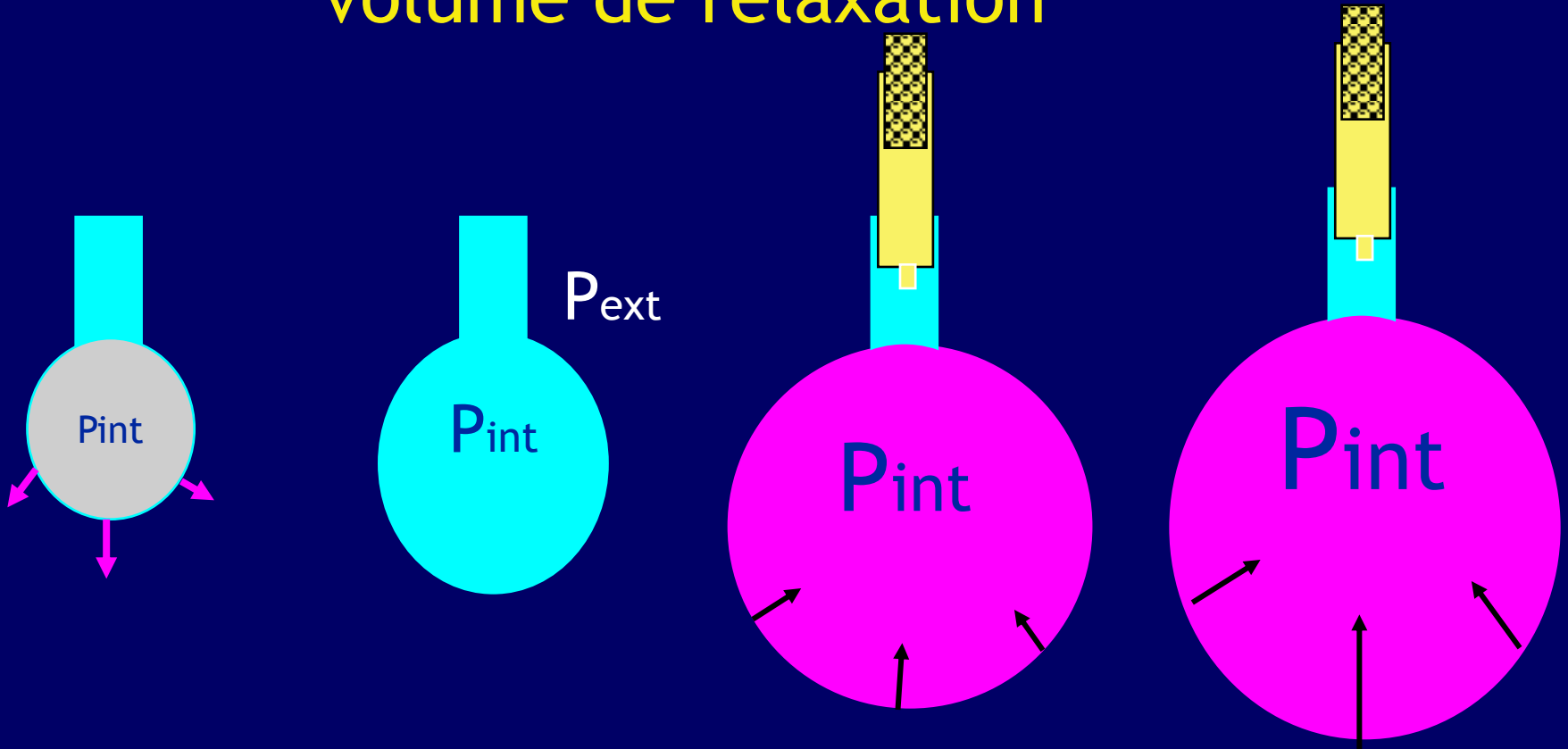
surface tension



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
- 3. Permet aux alvéoles de rester "au sec":**
 - diminue la pression autour des vaisseaux
 - évite l'issue de plasma (œdème)

Relation pression-volume: volume de relaxation

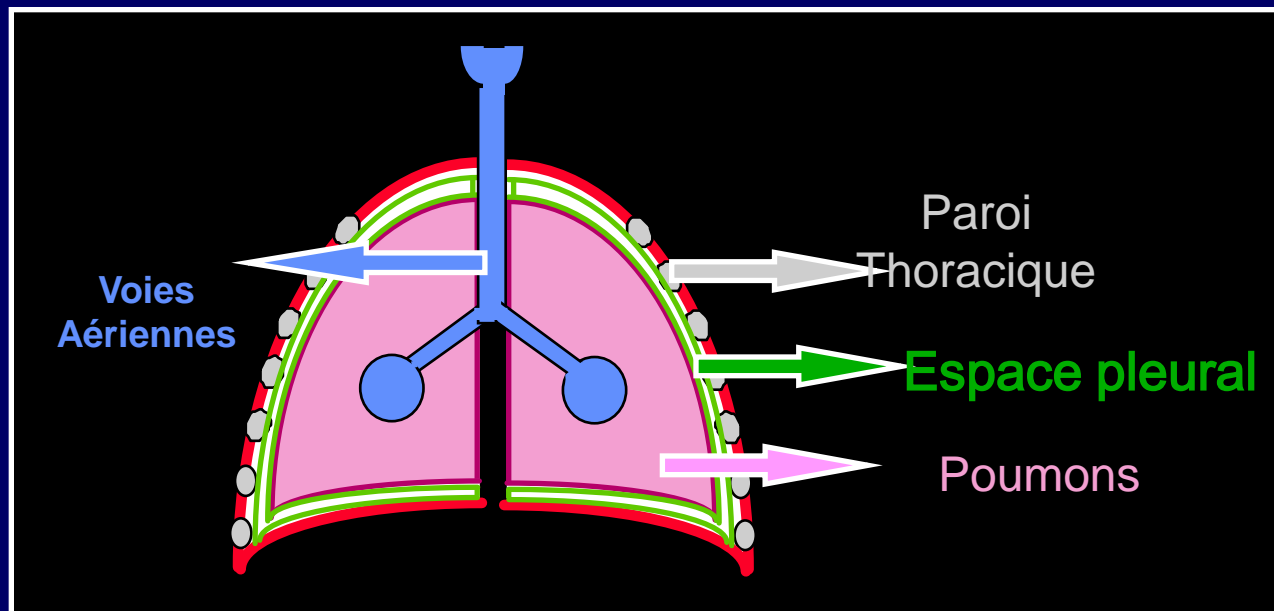
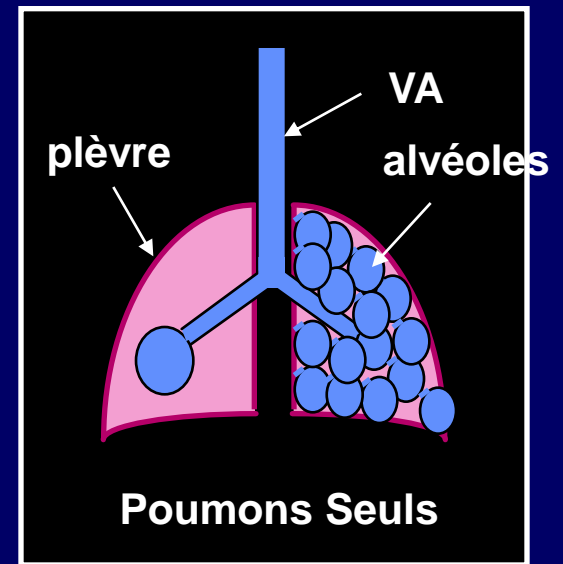
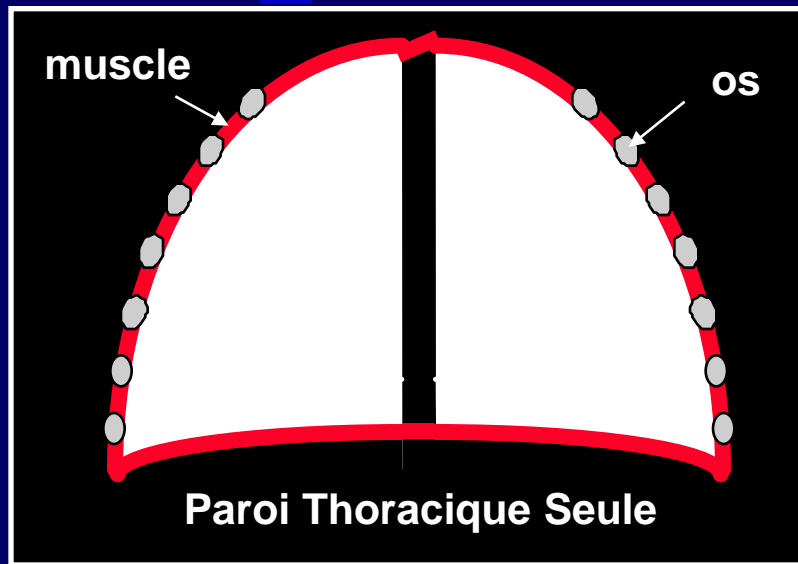


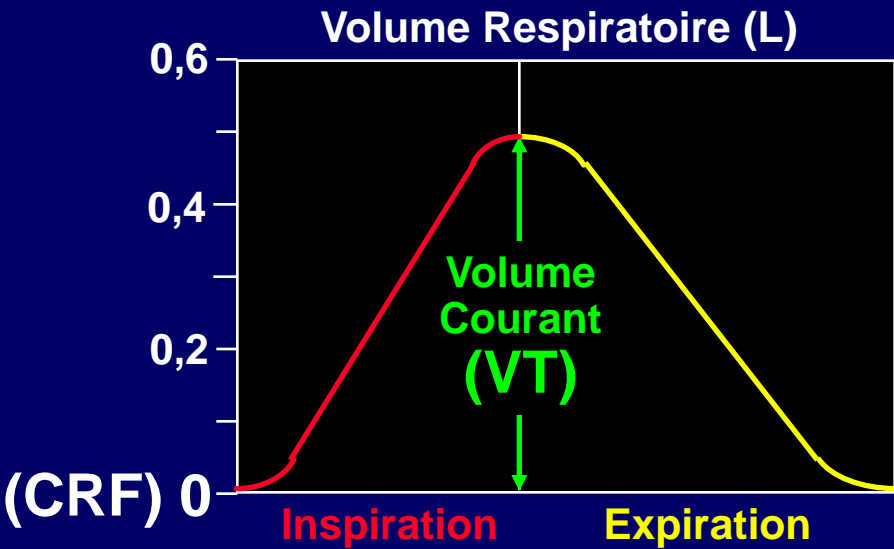
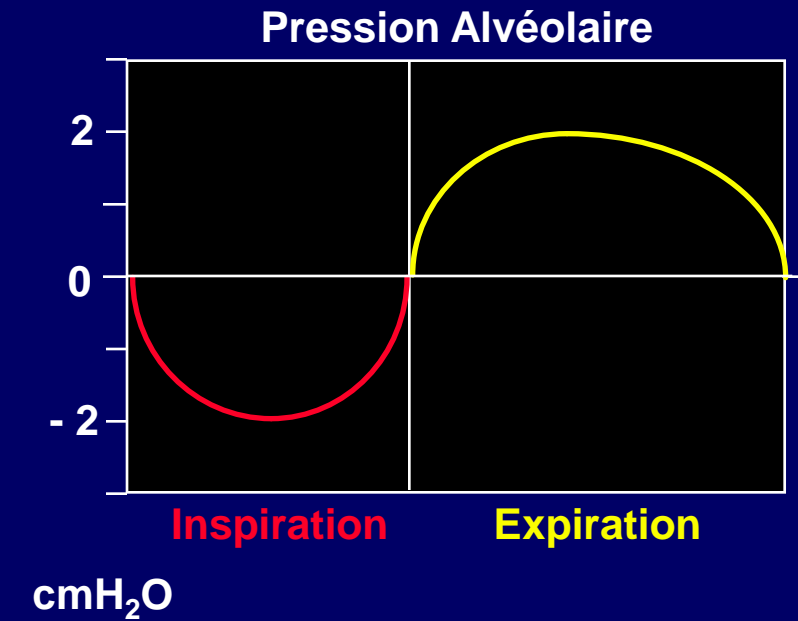
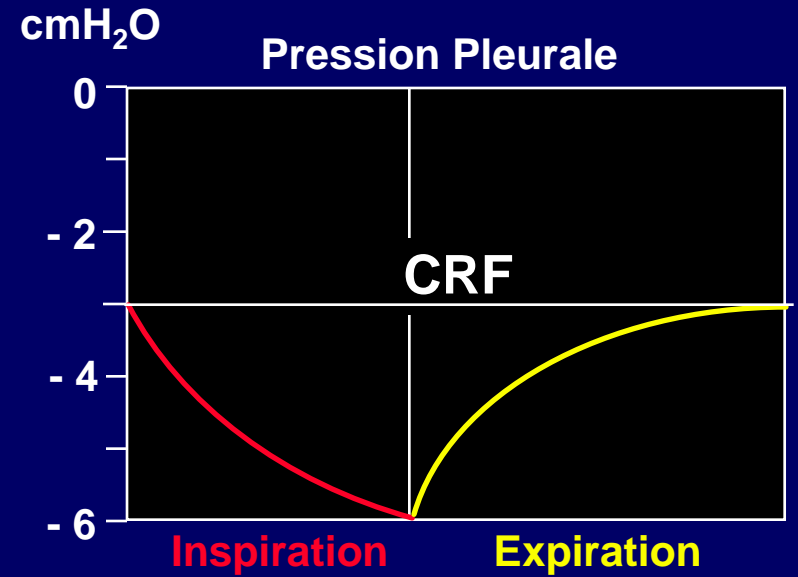
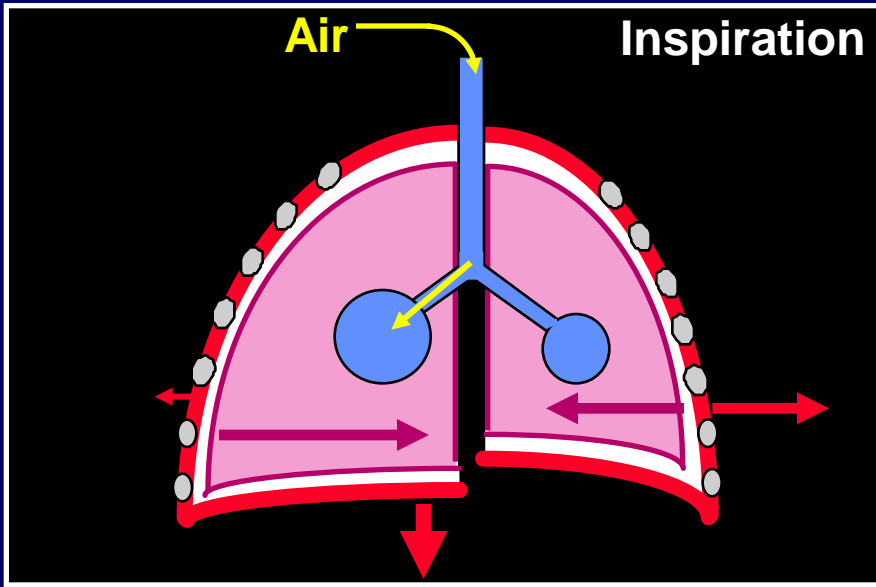
$$P_{int} < P_{ext}$$

$$P_{int} = P_{ext}$$

$$P_{int} > P_{ext}$$

Volume de relaxation





Poumon (Ppl-PA)

CPT

CRF

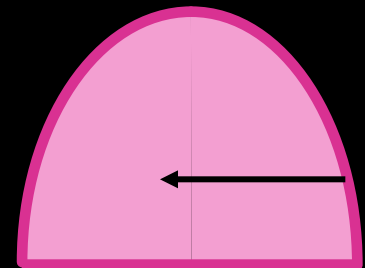
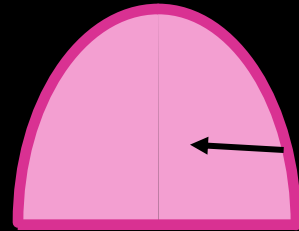
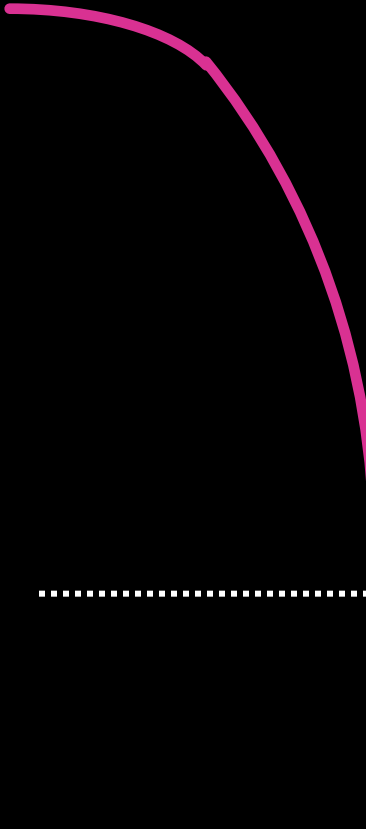
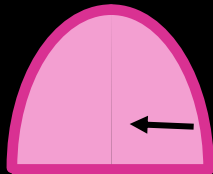
VR

-

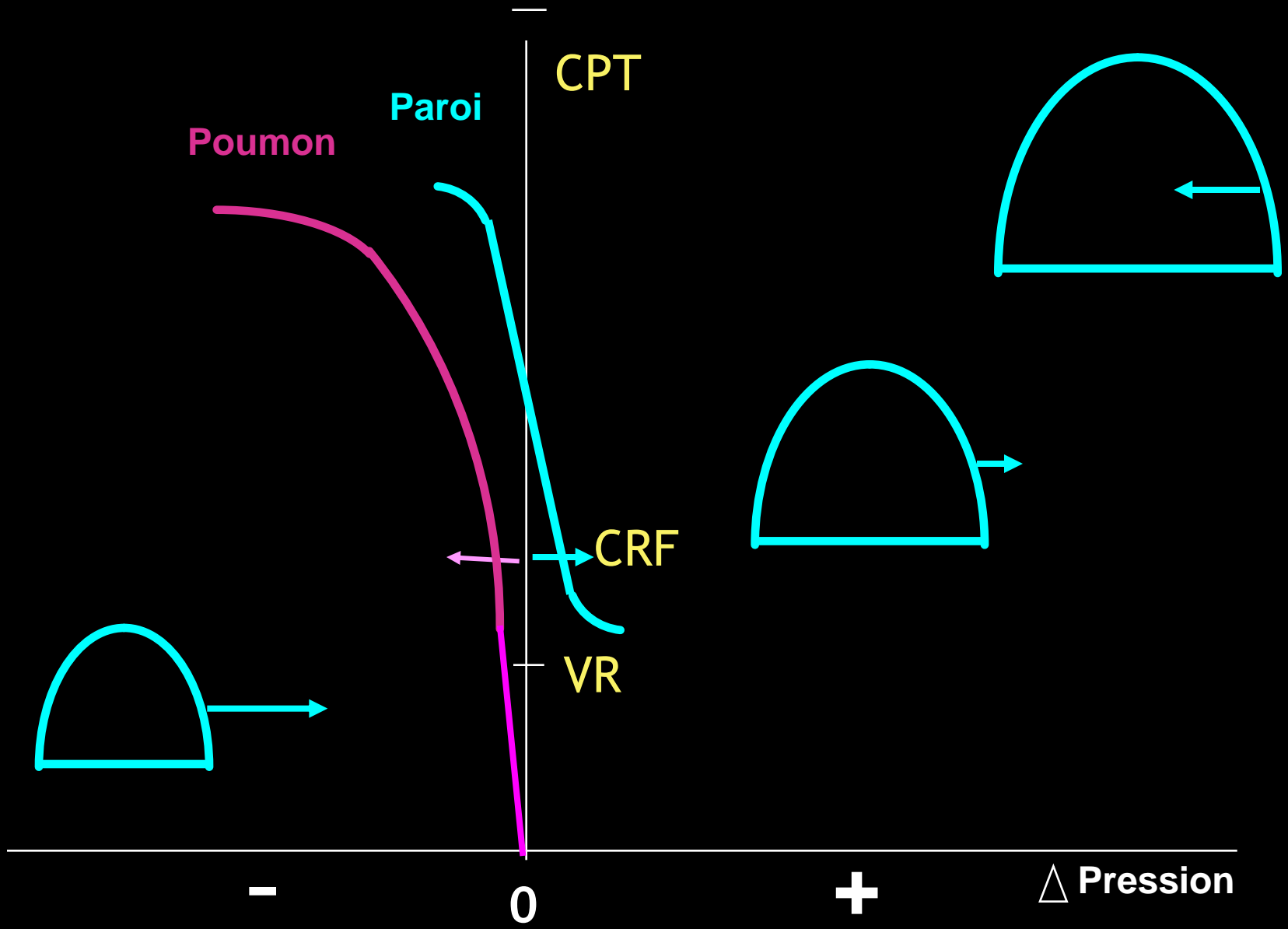
0

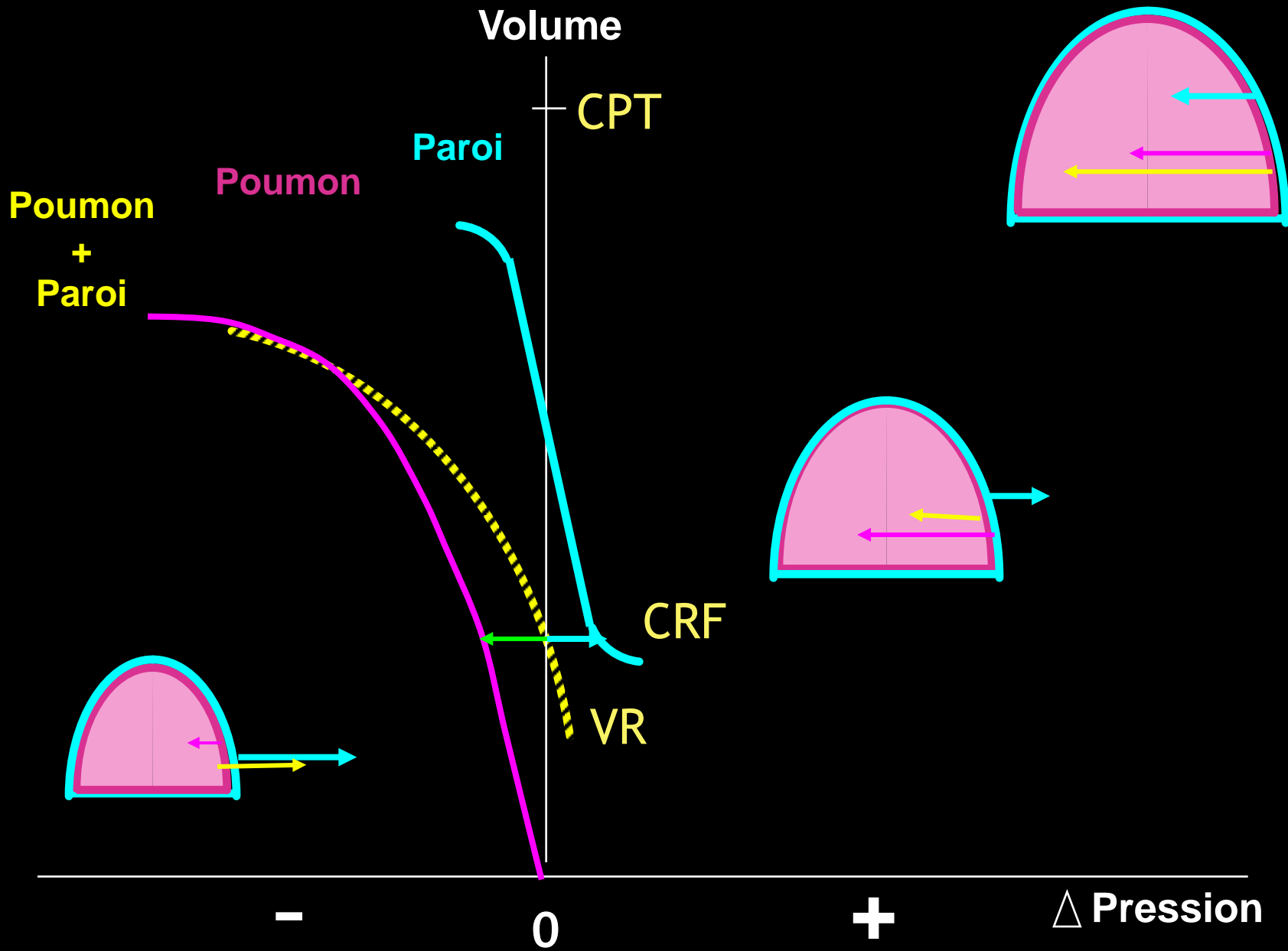
+

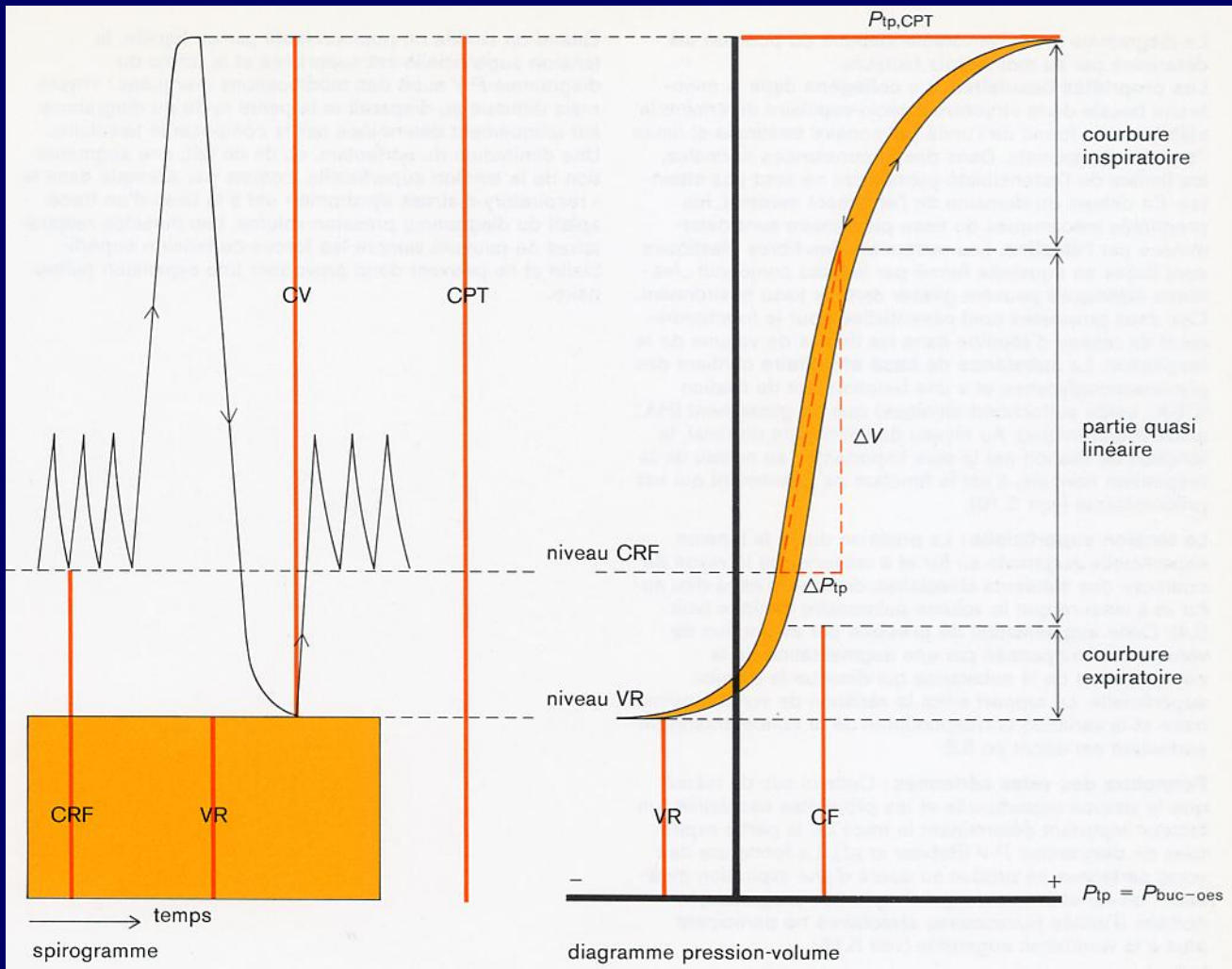
Δ Pression



Volume

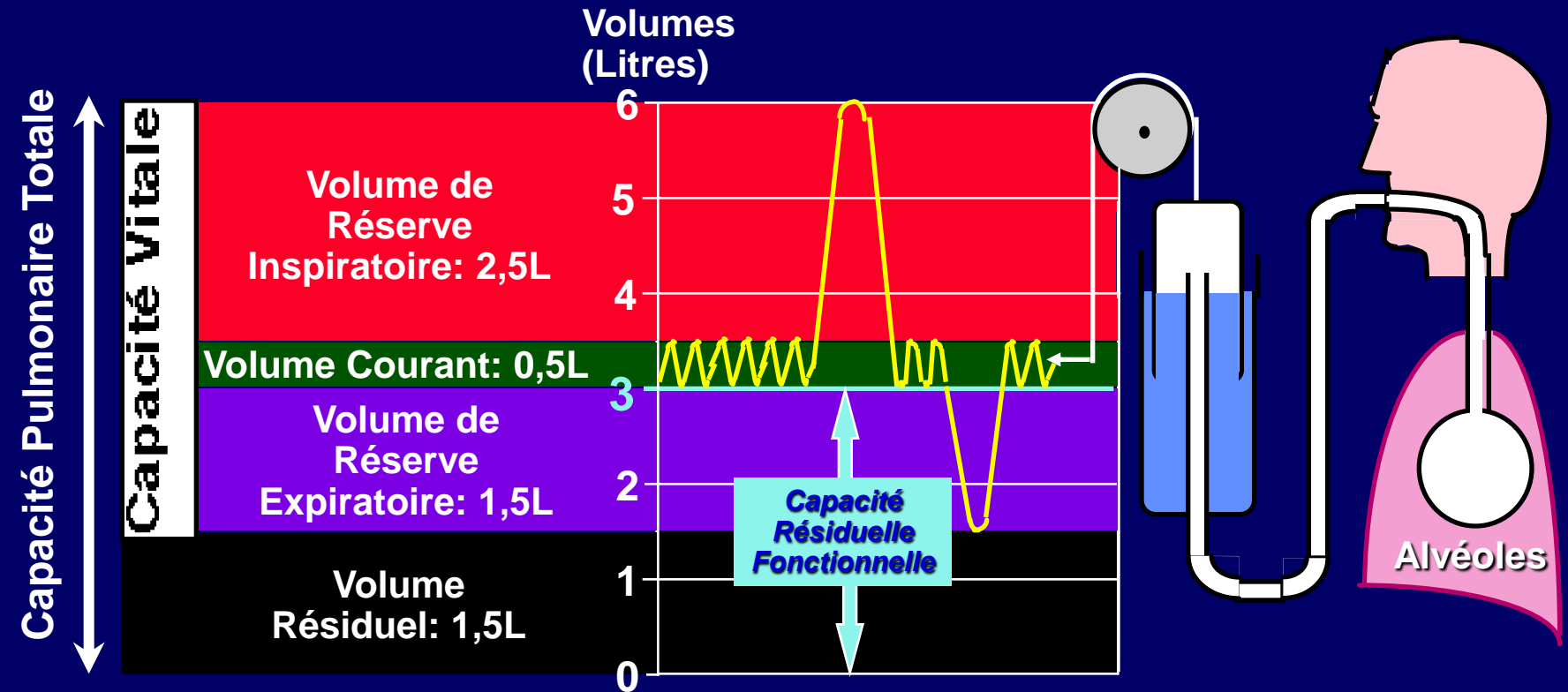




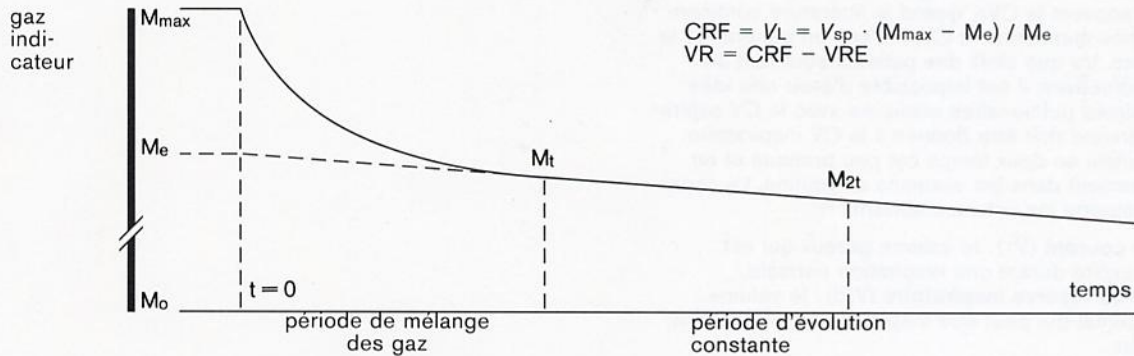
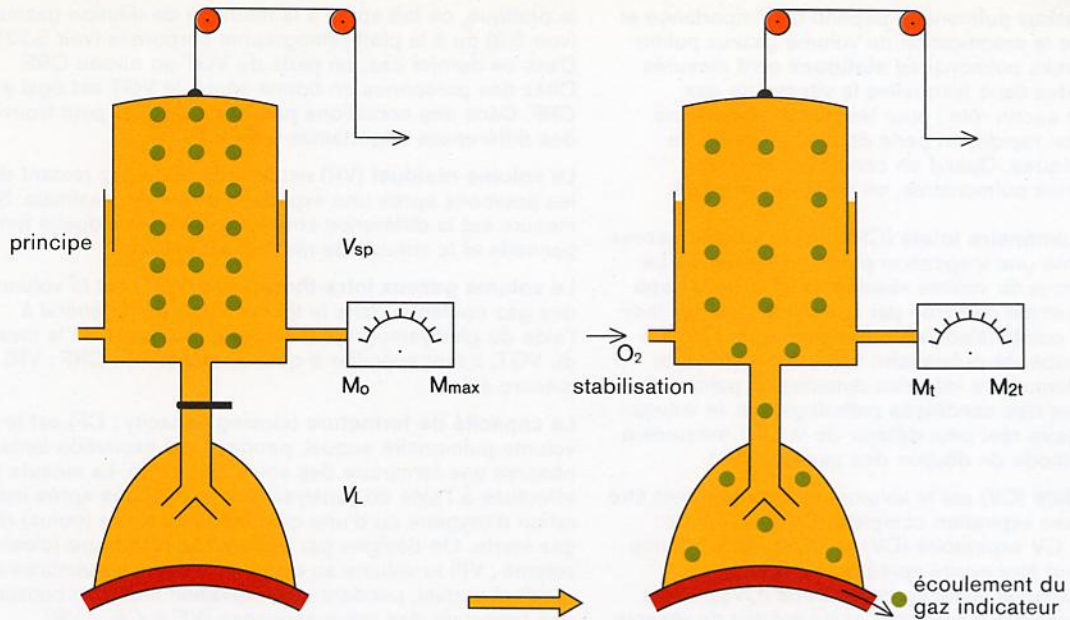


**Compliance
Pulmonaire :**
 $C_L = \Delta V / \Delta P$
 $C_L = 2L / kPa$

Les Volumes Pulmonaires



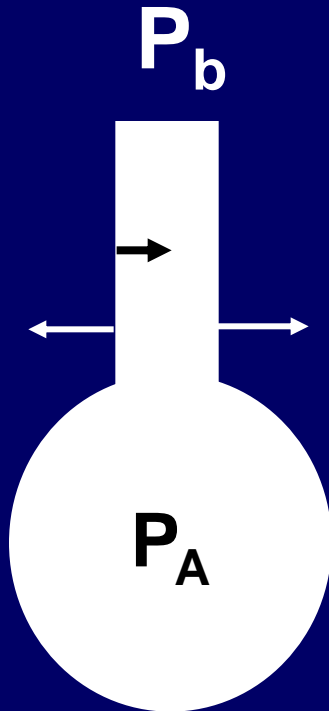
Fréquence Respiratoire: 15/min
Débit Ventilatoire de Repos: 7,5L/min



Mesure du Volume résiduel par l'hélium

$$C_1 V_1 = C_2 (V_1 + V_2)$$

Résistances des Voies Aériennes



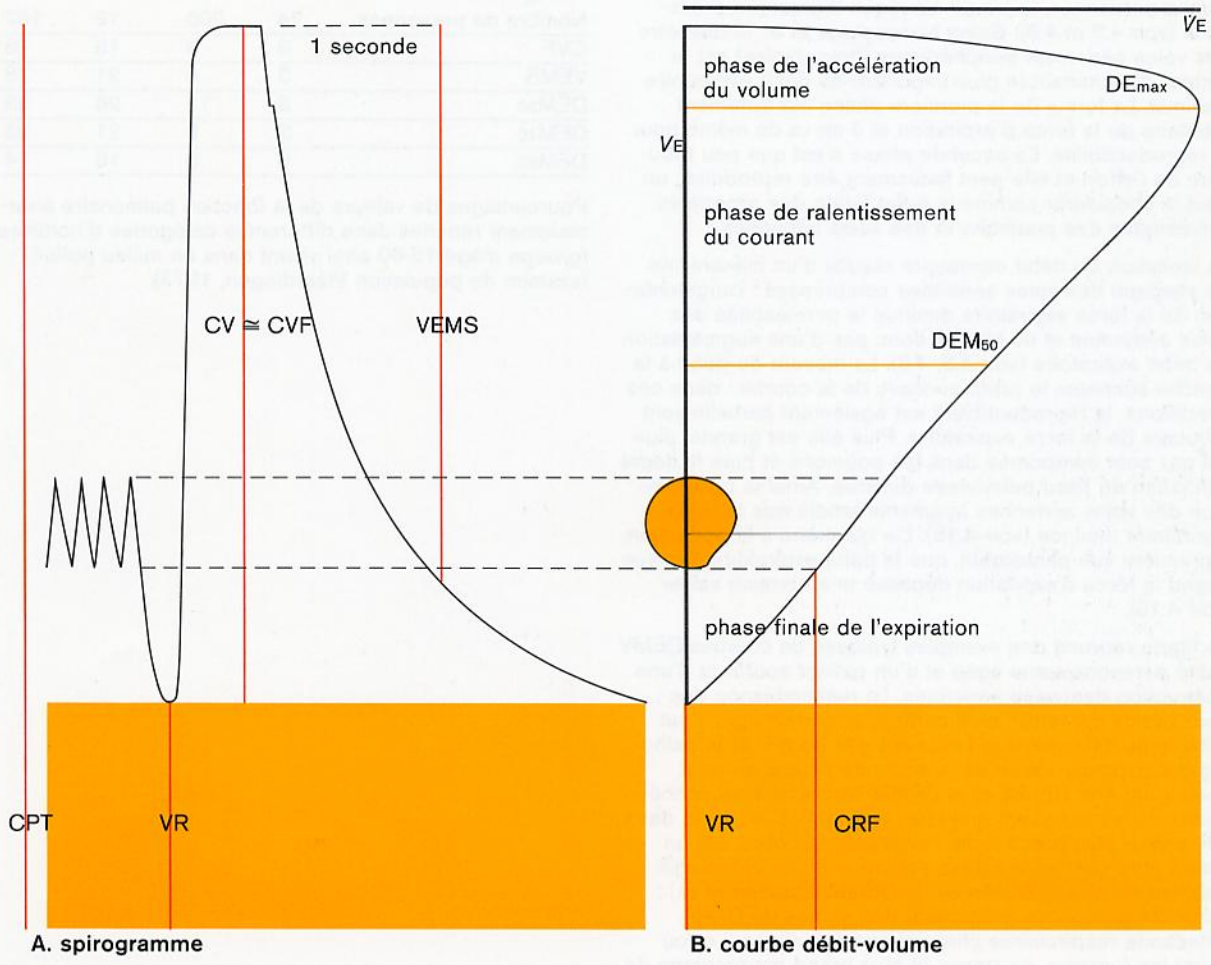
$$P_A - P_b = \text{Résistances} \times \text{Débit}$$

- Réduction du diamètre bronchique

➔ augmentation des résistances
diminution du débit

- Augmentation du diamètre bronchique

➔ Diminution des résistances
augmentation du débit



CPT = capacité pulmonaire totale
 CV = capacité vitale
 VEMS = volume expiratoire forcé par seconde
 VR = volume résiduel
 CRF = capacité résiduelle fonctionnelle

\dot{V}_E = débit expiratoire
 V_E = volume expiratoire
 CVF = capacité vitale expiratoire forcée
 DE_{max} = débit maximal de la courbe DEMV
 DE_{50} = \dot{V}_E maximal à 50 % de la CVF

Expiration forcée : Courbe Débit-Volume

Mécanismes de l'expiration

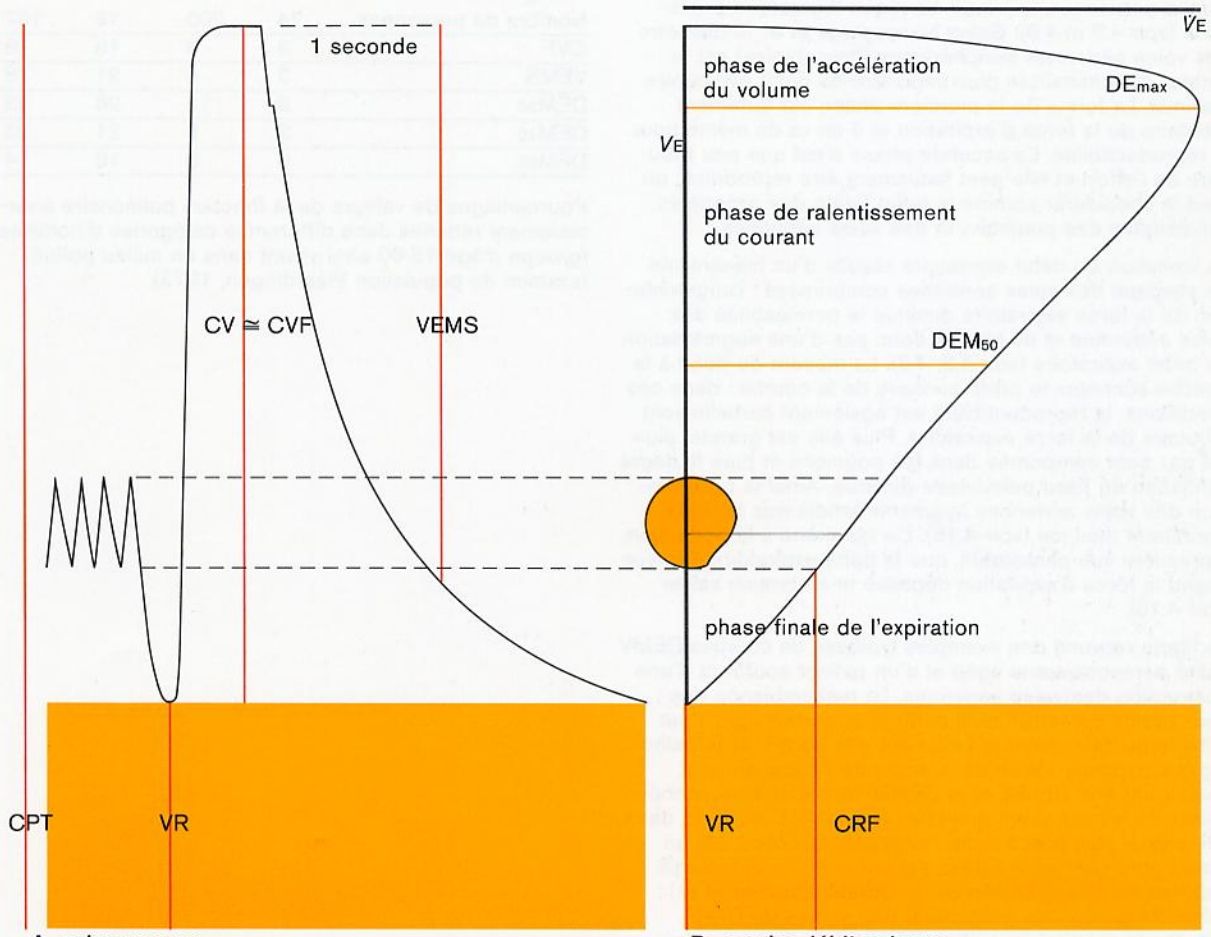
- Au repos couché

Essentiellement passive, liée au recul élastique du poumon

- Lorsque la demande est accrue

Mise en jeu et recrutement progressif des

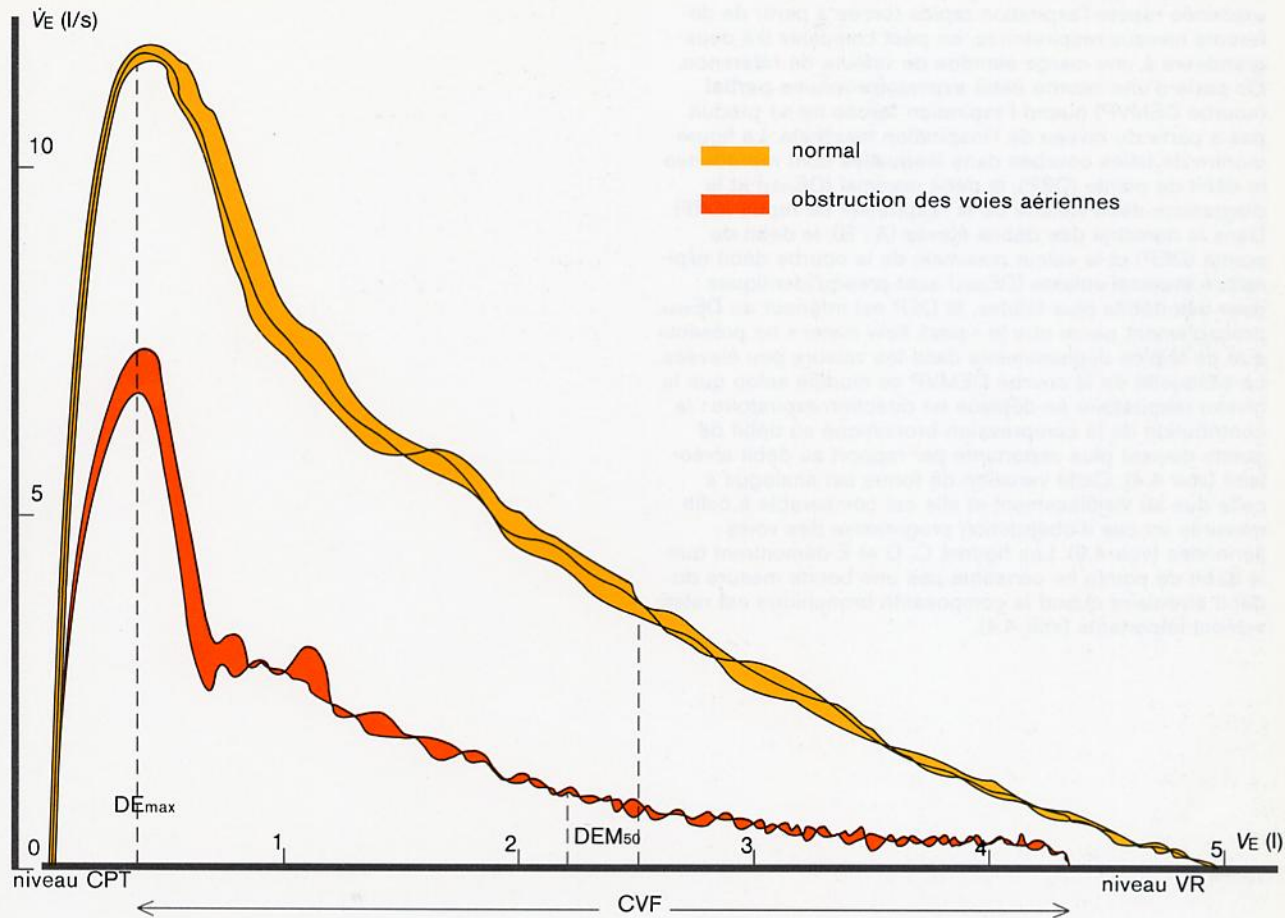
muscles expiratoires



Expiration forcée : Courbe Débit-Volume

CPT = capacité pulmonaire totale
 CV = capacité vitale
 VEMS = volume expiratoire forcé par seconde
 VR = volume résiduel
 CRF = capacité résiduelle fonctionnelle

VE = débit expiratoire
 VE = volume expiratoire
 CVF = capacité vitale expiratoire forcée
 DE_{max} = débit maximal de la courbe DEMV
 DEM₅₀ = VE maximal à 50 % de la CVF



Courbe Débit-Volume Et Obstruction Bronchique

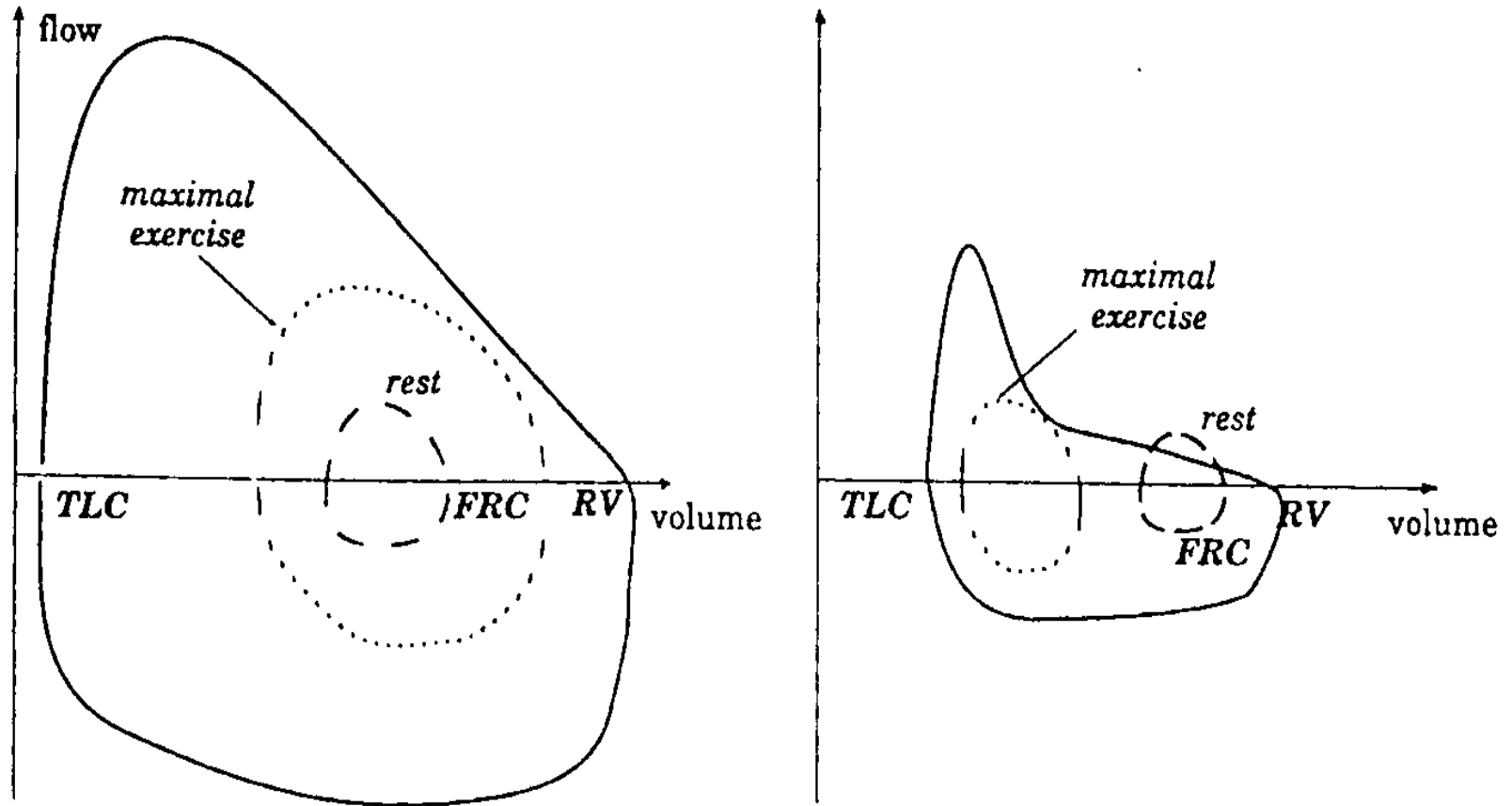
\dot{V}_E = débit expiratoire
 V_E = volume expiratoire
 DE_{max} = valeur maximale de la courbe DEMV
 DE_{50} = DEM à 50 % de la CVF

CPT = capacité pulmonaire totale
 CVF = capacité vitale expiratoire forcée
 VR = volume résiduel

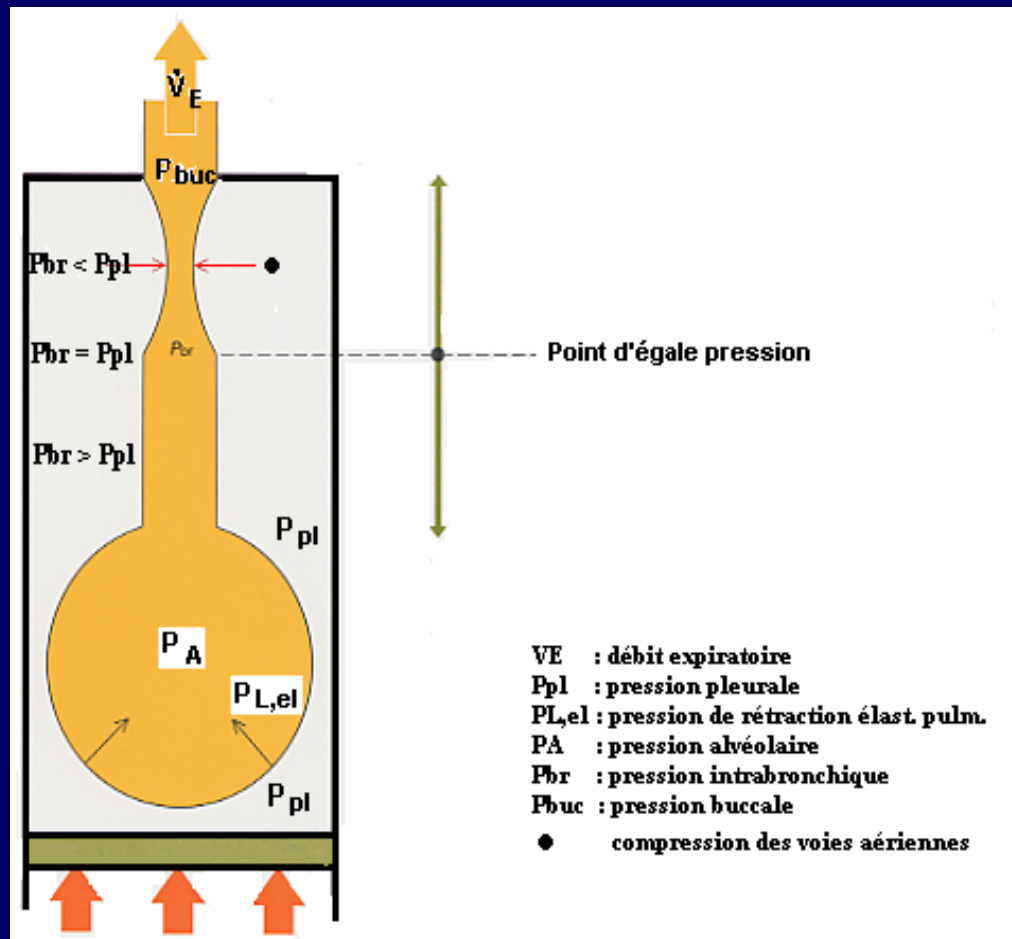
Facteurs influençant l'expiration forcée

- **Force des muscles expiratoires**
- **Structure élastique du parenchyme pulmonaire**
- **Résistance des voies aériennes à l'écoulement gazeux**
- **Distension pulmonaire**
- **Structure de la paroi bronchique**

Obstruction bronchique dynamique



Physiopathologie de l'expiration forcée

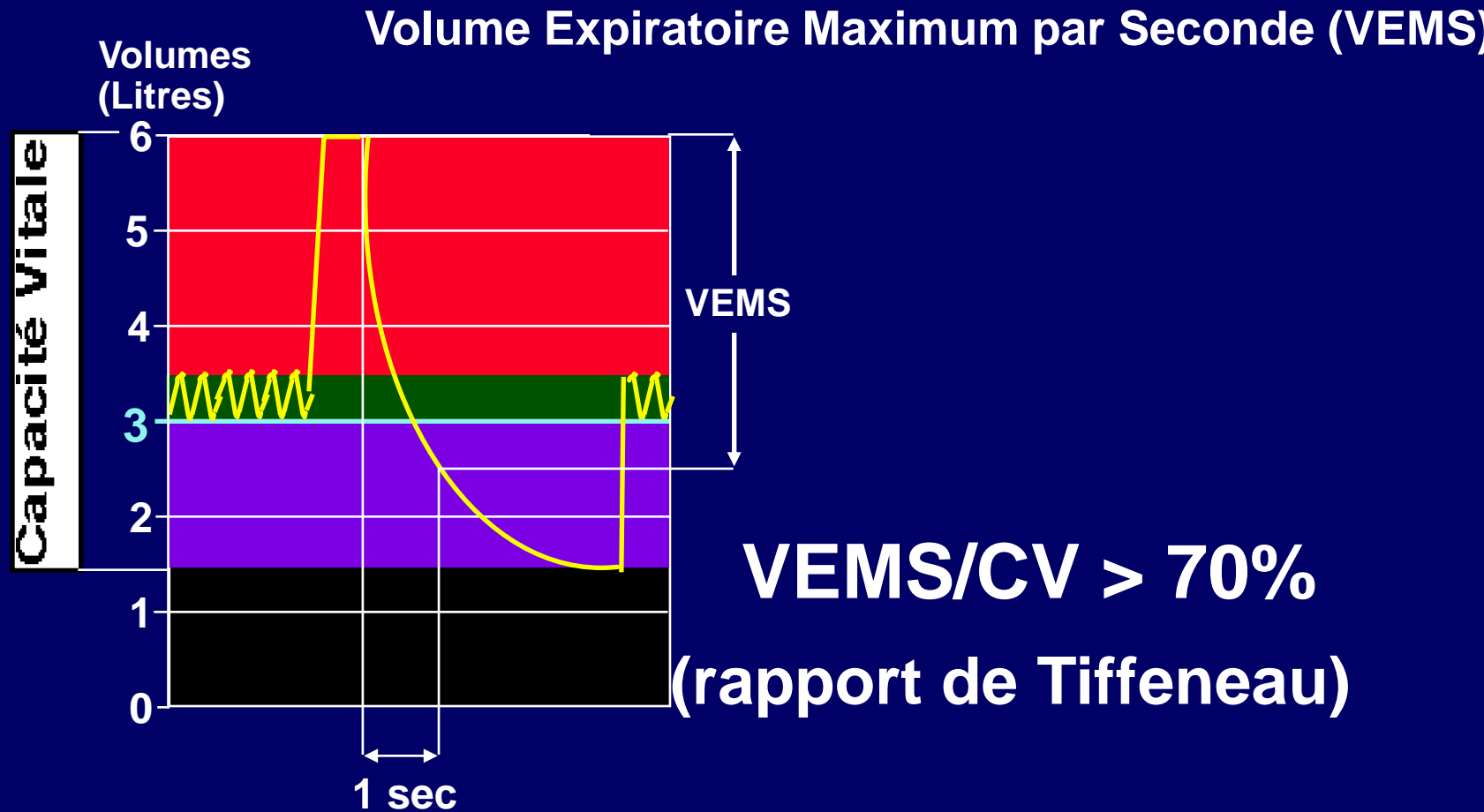


Mesure des résistances

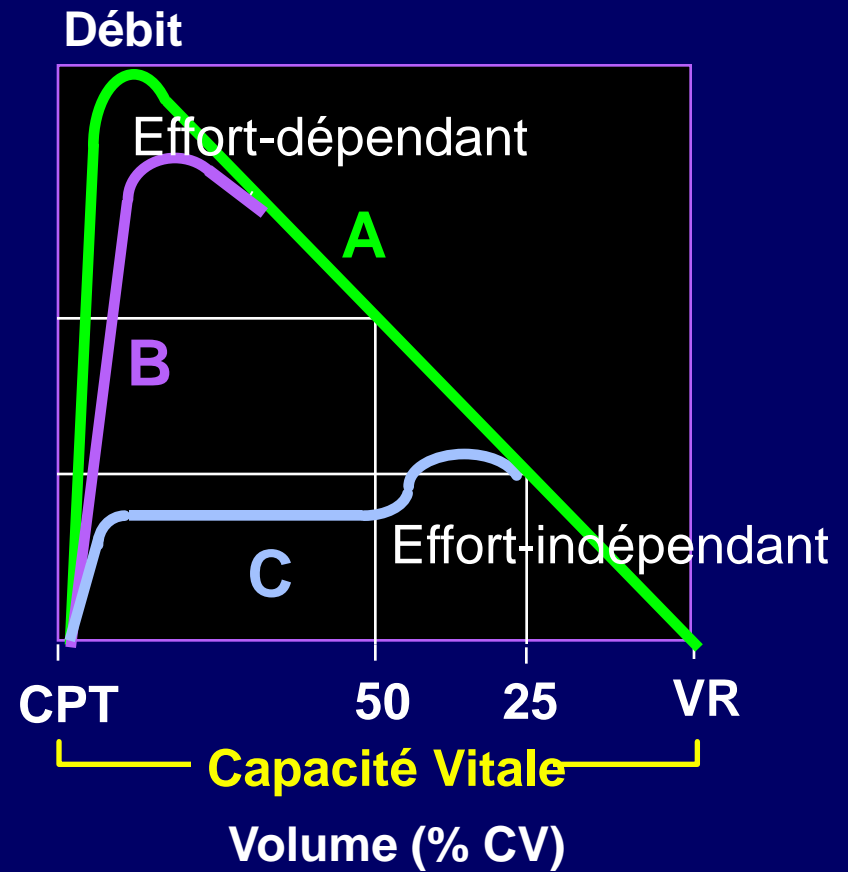
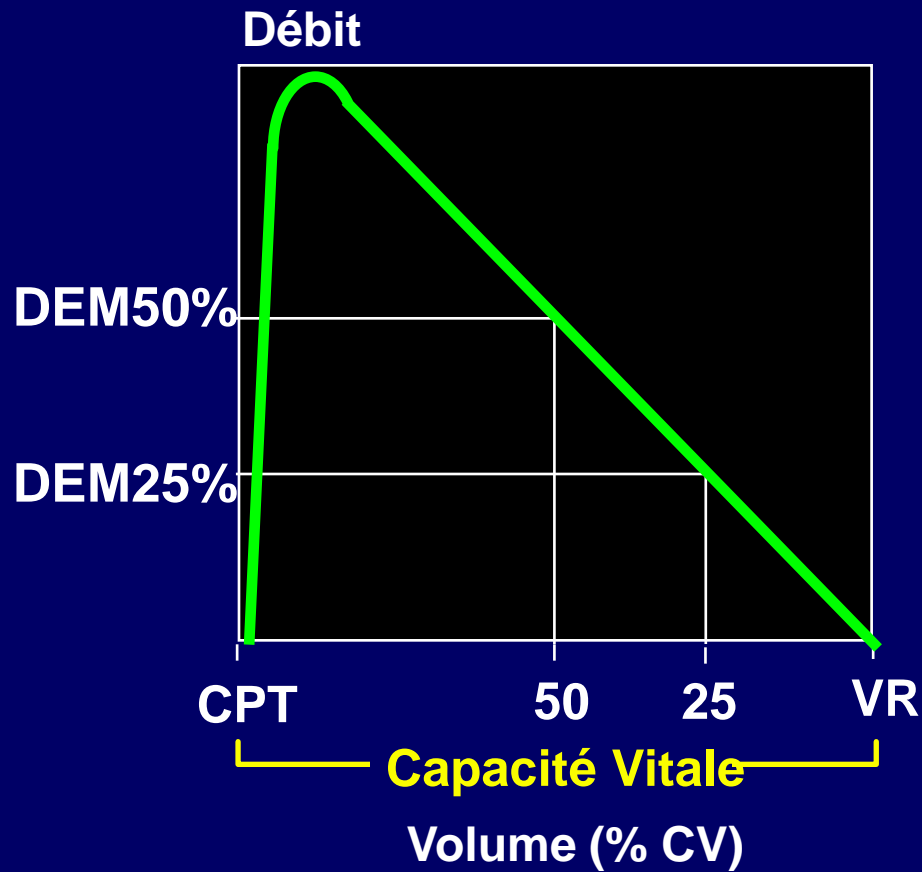
$$R = \Delta P / \Delta V$$

- Par plethysmographie : R_{aw}
- Par oscillation forcée : R_{osc}
- Par interruption du débit : R_{int}

Mesure des débits dans les voies aériennes



Courbes Débit-Volume



Les troubles ventilatoires

- Le trouble ventilatoire restrictif : TVR

–CPT[↓]

–CVL, CRF, VR[↓]

diminution

harmonieuse

des volumes

pulmonaires

–VEMS/CVL = N

Les maladies pulmonaires restrictives

Atteinte de la paroi thoracique

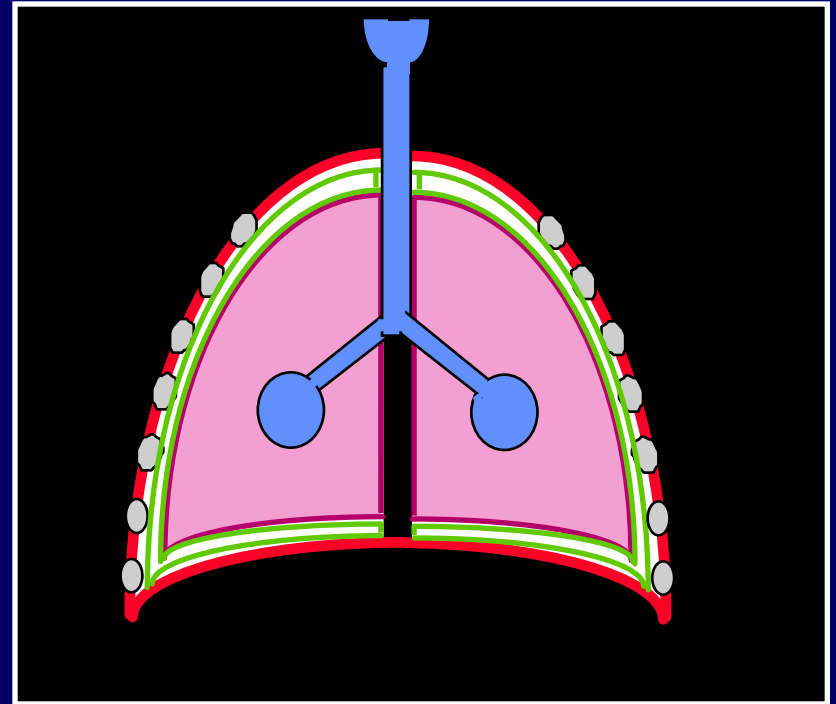
- Limitations des mouvements du thorax
- Obésité

Atteinte pleurale

Pneumothorax, pleurésie

Atteinte pulmonaire

- Fibrose
- Oedème pulmonaire
- Atélectasie, resection poumon
- Résection pulmonaire



Les troubles ventilatoires

- Le trouble ventilatoire obstructif : TVO
 - VEMS/CVL (Tiffeneau) ↓
 - DEM25-75% ↓
 - DEM25% ↓

➔ Conséquences :

- CRF N ou ↑
- VR N ou ↑
- CPT N ou ↑

+ Trouble ventilatoire mixte

Les maladies pulmonaires obstructives

- Obstruction des voies aériennes intrathoraciques

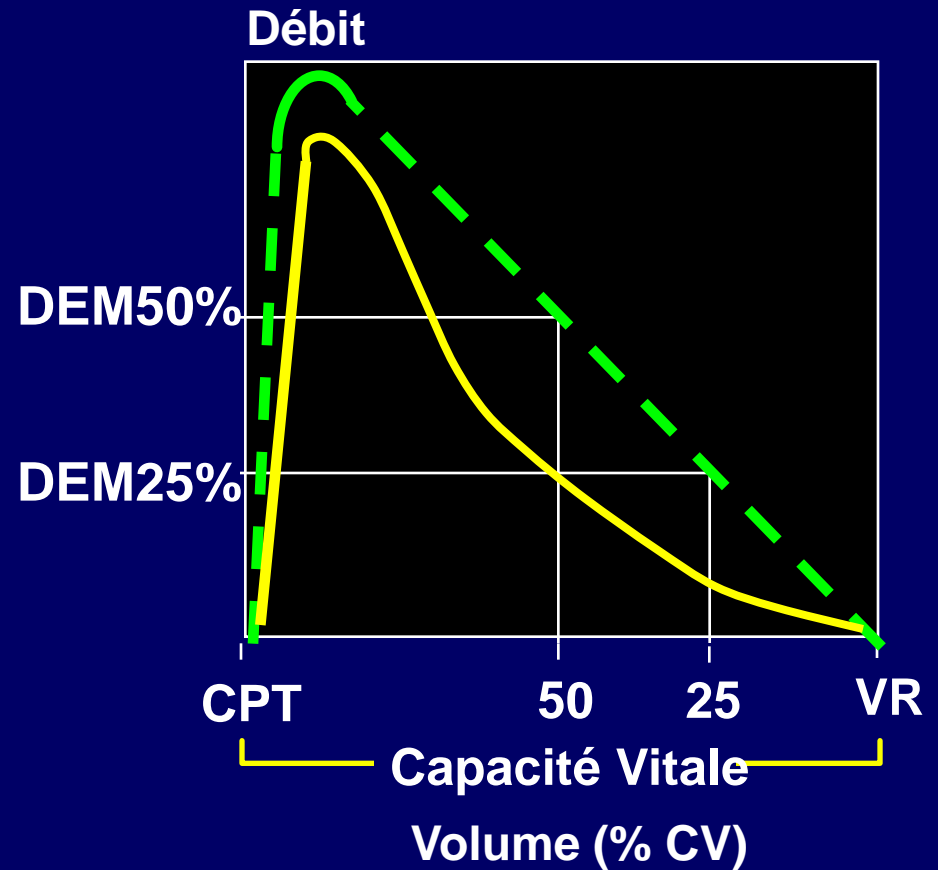
Asthme

Bronchite chronique

constriction muscle lisse bronchique

œdème de la muqueuse bronchique

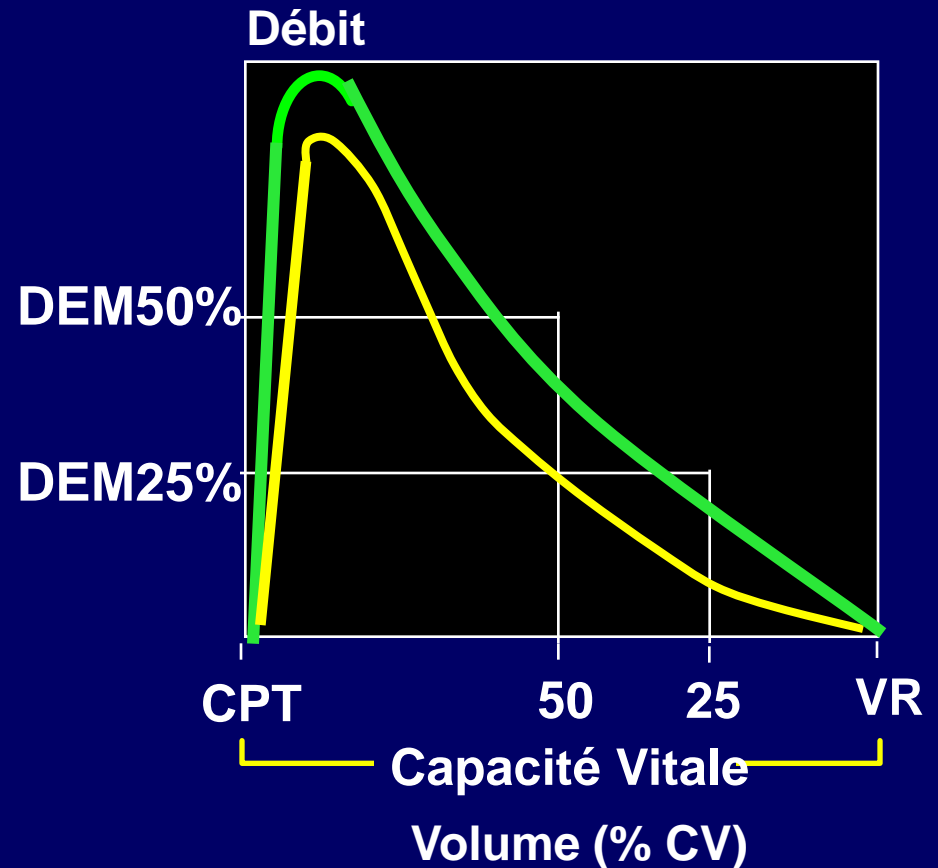
hypersécrétion de mucus



Les tests pharmacodynamiques

1. Bronchodilatation

Patients présentant un TVO
Inhalation d'une seule dose de beta-2 agonistes
Analyse de la réponse sur le VEMS + 20% et + 200 ml
mise en évidence d'un facteur spastique



Les tests pharmacodynamiques

2. Bronchoconstriction (en absence de TVO)

Inhalation de méthacholine (analogue de l'acetylcholine)

Détermination de la dose entraînant

- une diminution de 20% du VEMS
- une augmentation de 50% des résistances

Réponse comparée à une population dite normale

➔ Recherche d'une hyperréactivité bronchique
Suspicion d'asthme

Les maladies pulmonaires obstructives

- Obstruction des voies aériennes intrathoraciques

Asthme

Bronchite chronique

constriction muscle lisse bronchique

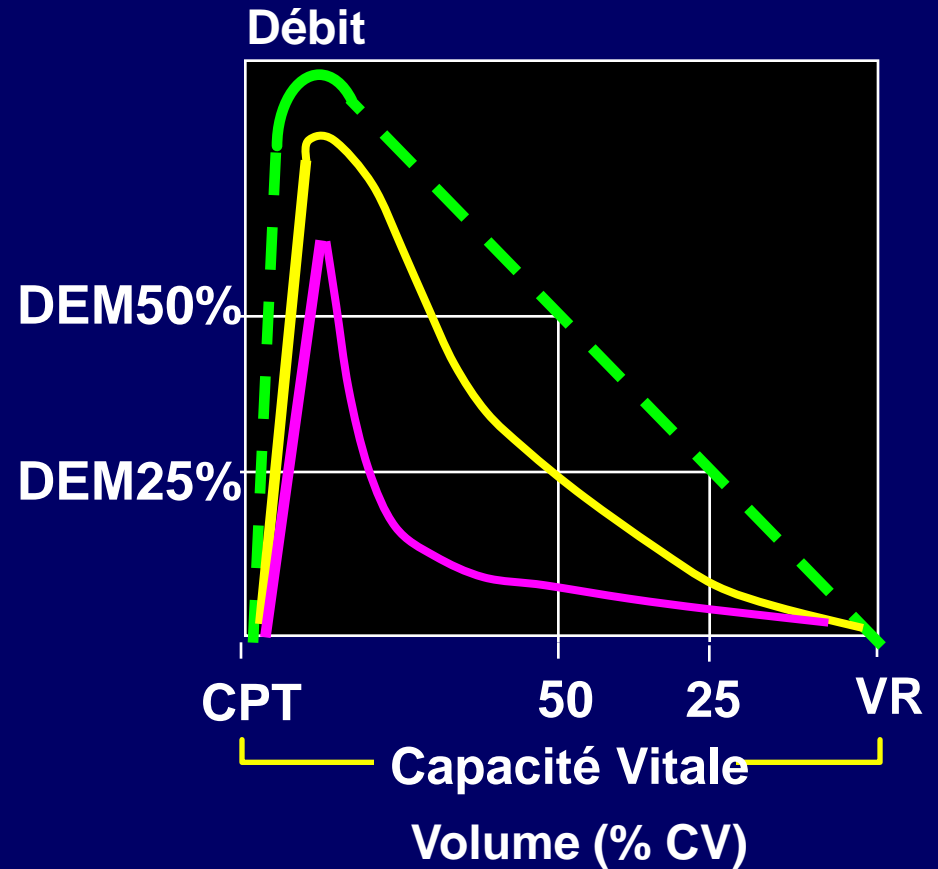
œdème de la muqueuse bronchique

hypersécrétion de mucus

Emphysème

bronche normale

augmentation de la compliance



Les maladies pulmonaires obstructives

- Obstruction des voies aériennes intrathoraciques

Asthme

Bronchite chronique

constriction muscle lisse bronchique

œdème de la muqueuse bronchique

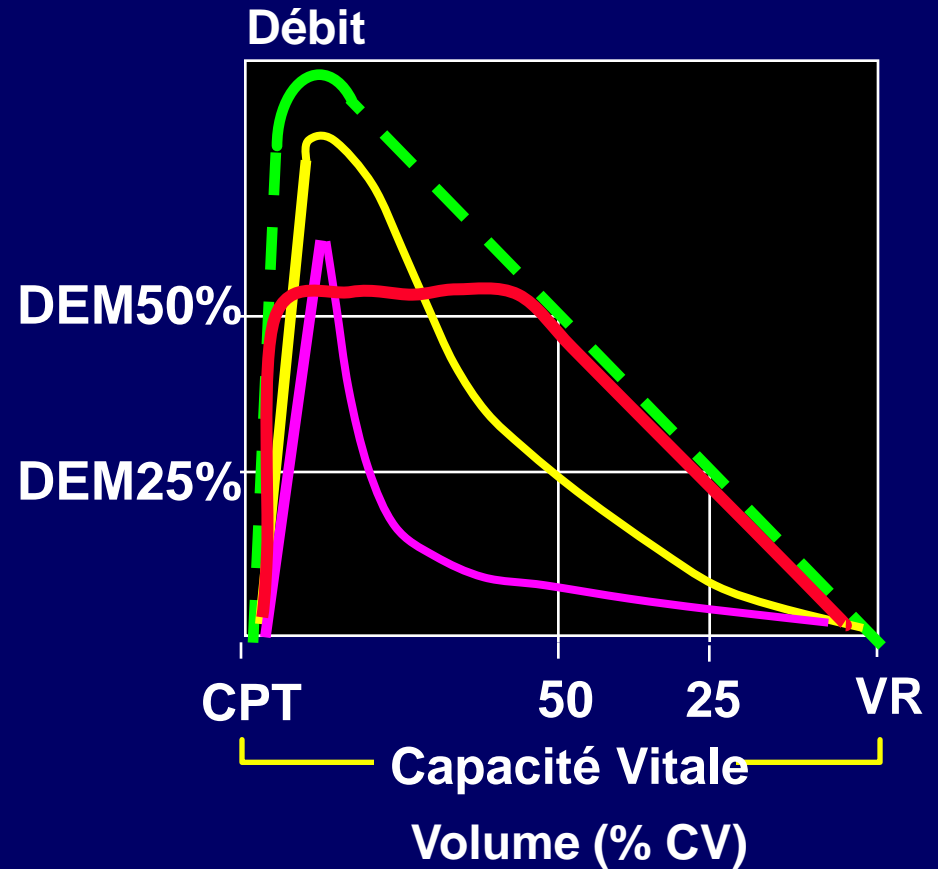
hypersécrétion de mucus

Emphysème

bronche normale

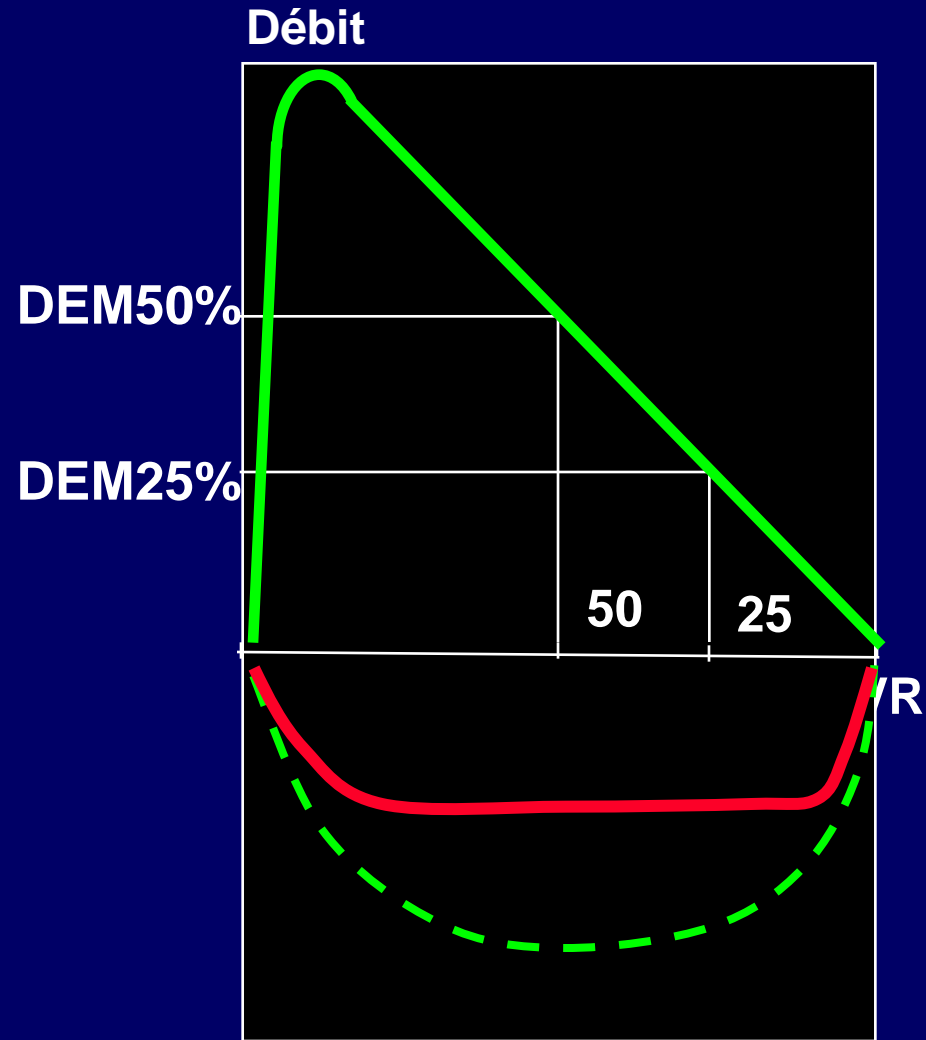
augmentation de la compliance

Obstruction trachéale intrathoracique

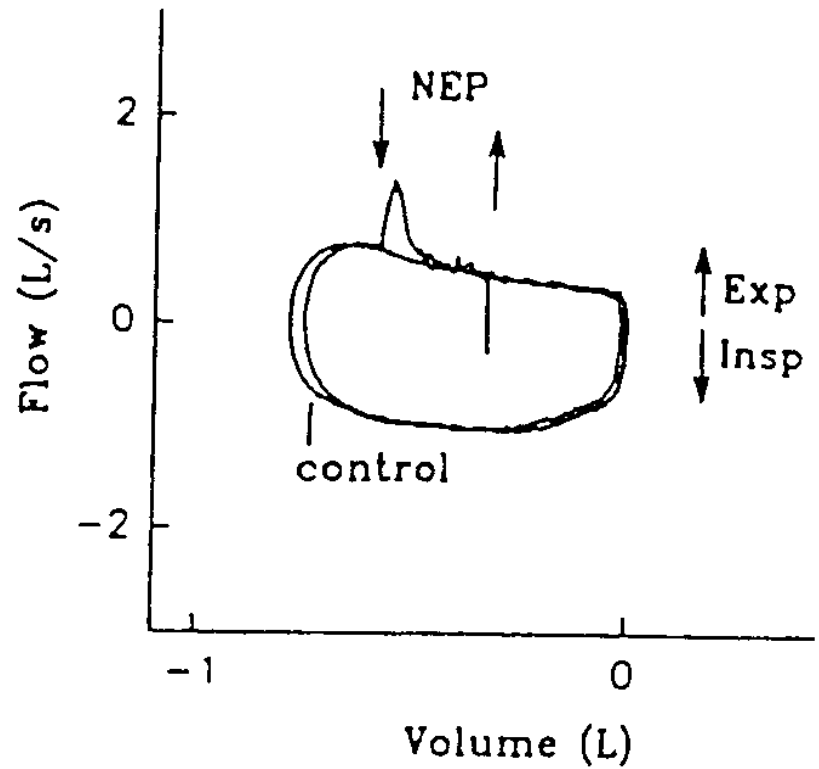
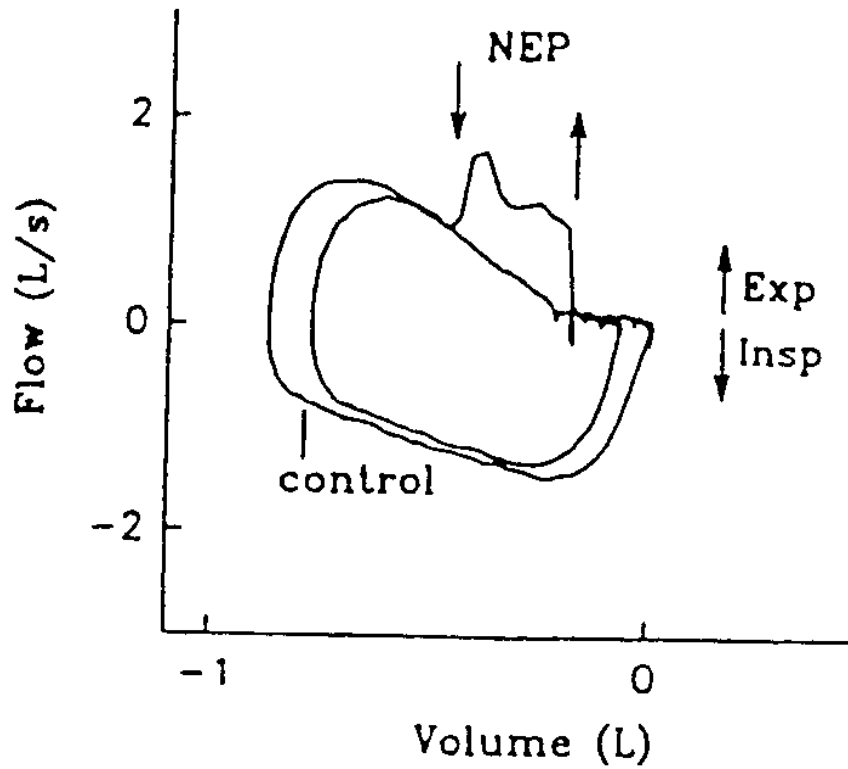


Obstruction des voies aériennes extrathoraciques

- Paralysie des cordes vocales
- œdème de la glotte
- compression de la glotte
- trachéomalacie



Limitation du débit expiratoire



La Toux

- **Les muscles expiratoires (abdominaux) jouent un rôle majeur dans le mécanisme de la toux**
- **Pression jusqu'à 200 cmH₂O**
- **Débit jusqu'à 10-12 L/sec**