

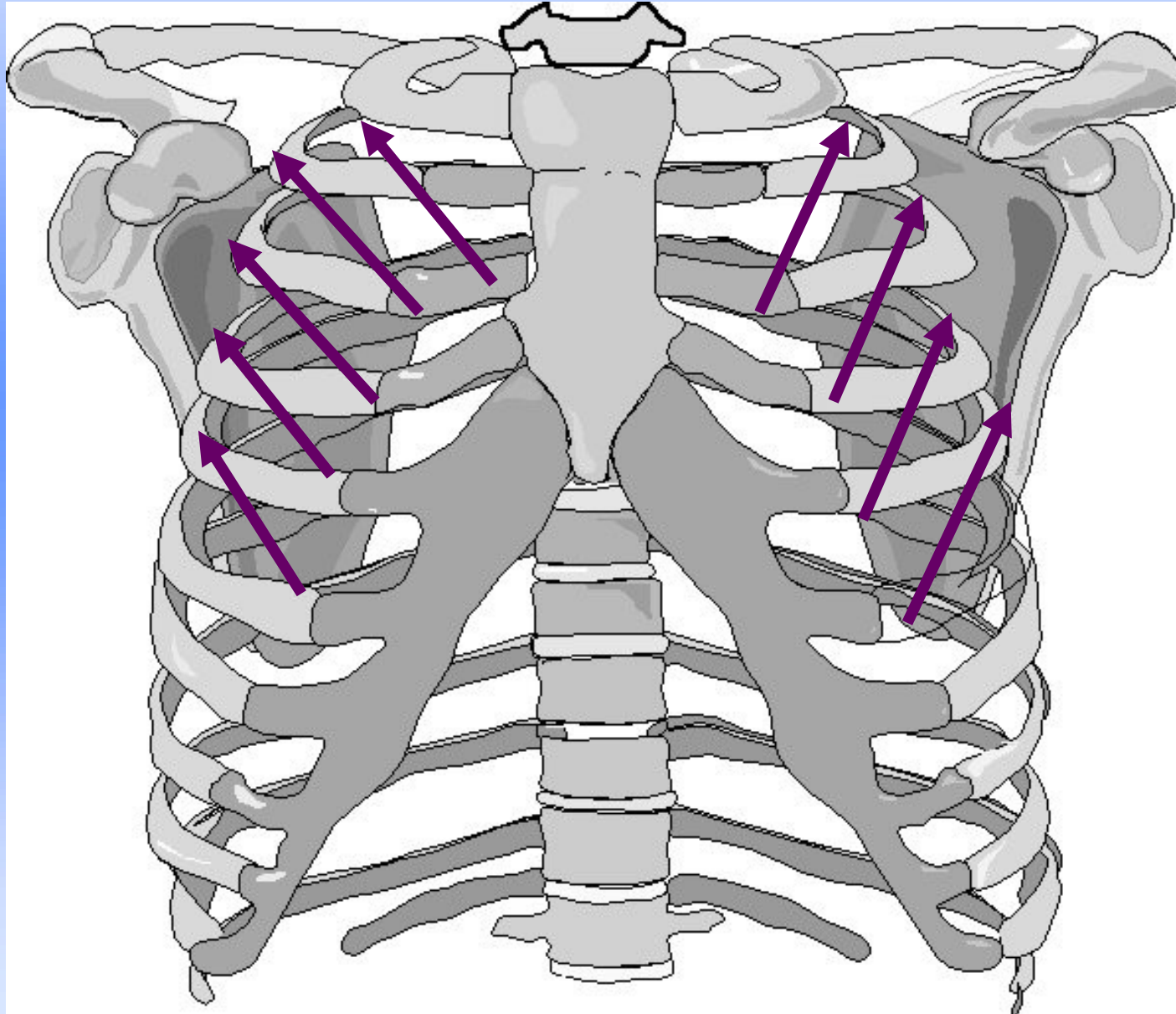
Anatomophysiologie respiratoire

Dominique DELPLANQUE

Physio respi 002

Mécanique ventilatoire

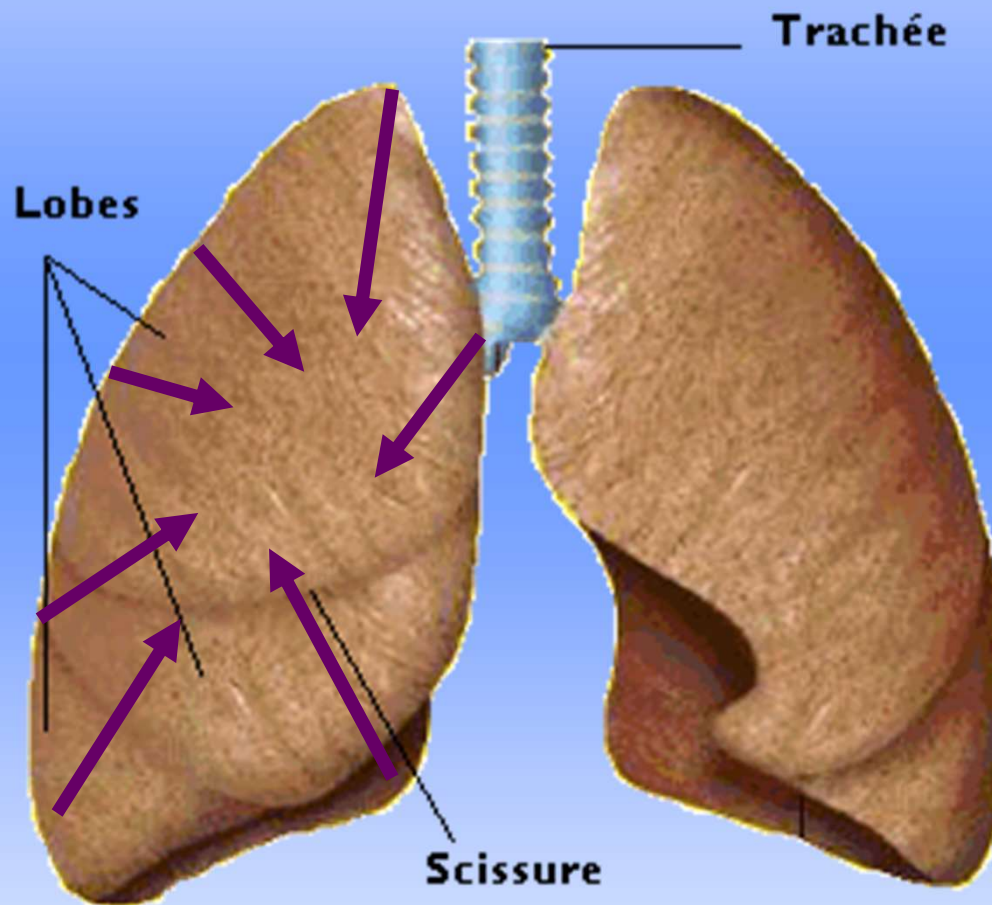
Le thorax



Tendance naturelle à la distension

- Disposition géométrique
- Cartilage

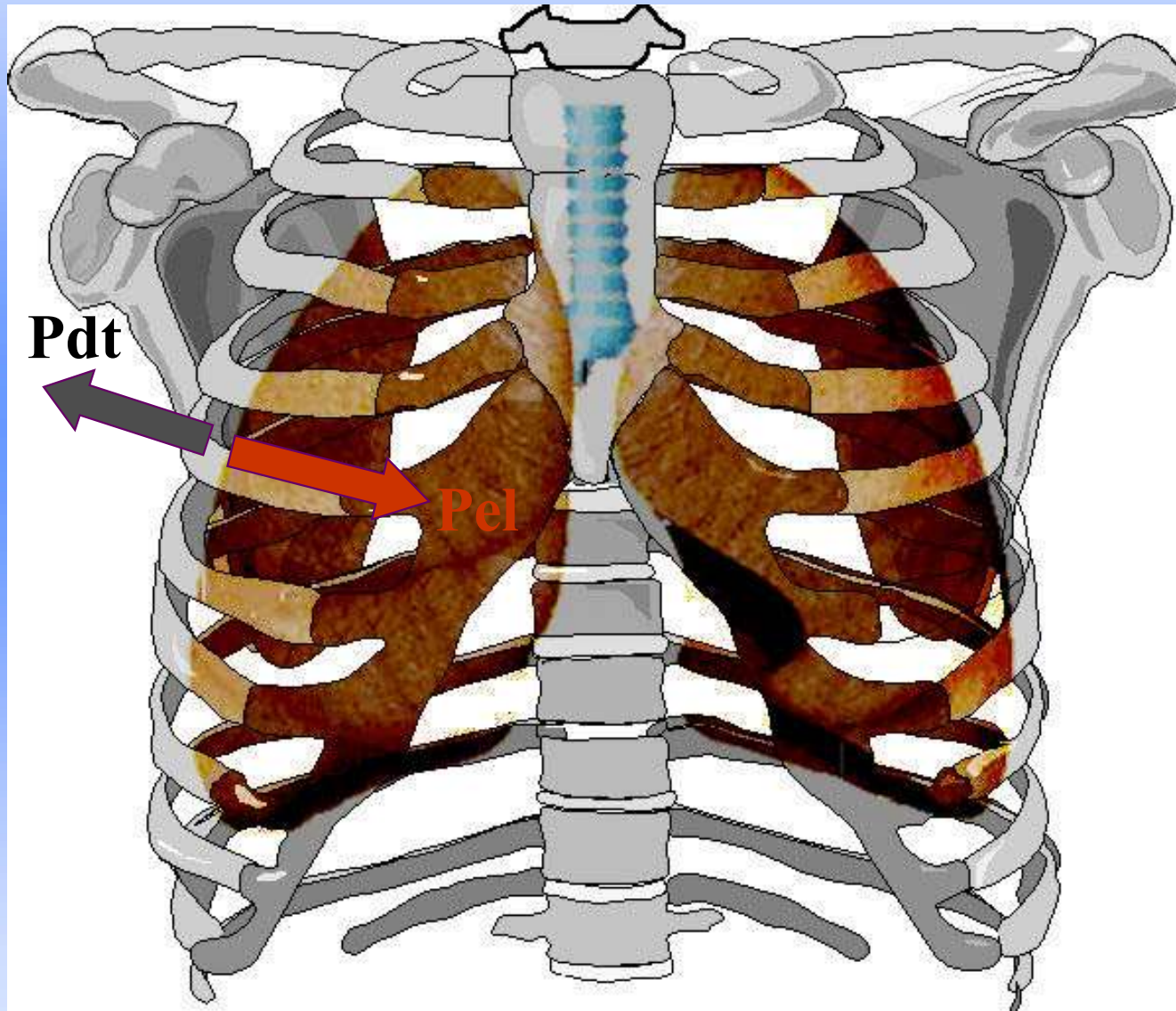
Le poumon



Tendance naturelle à la rétraction.

- Fibres élastiques
- Fibres collagènes
- Tension de surface
- Tonus des muscles bronchiques

Thorax et Poumon

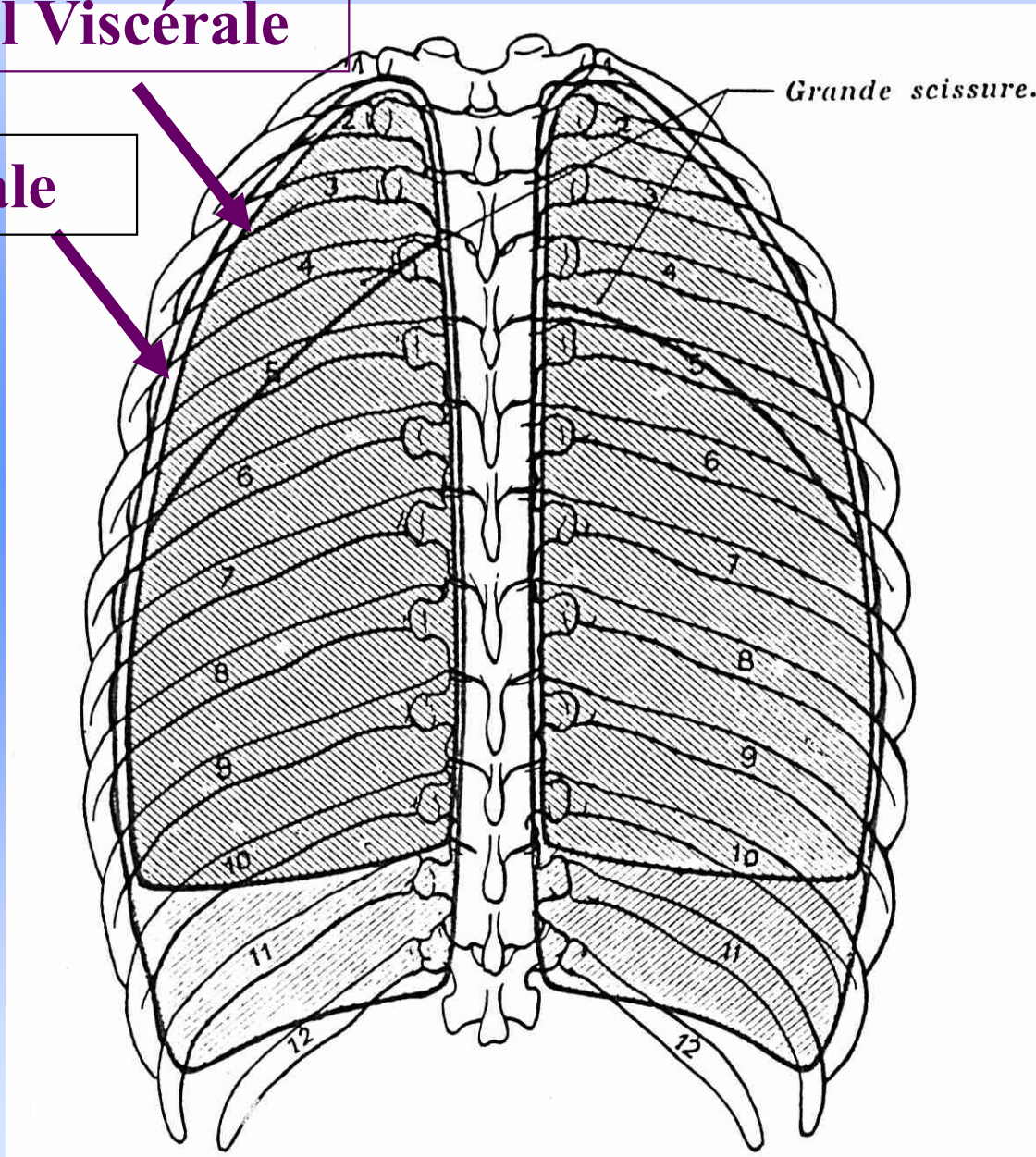


**Thorax
et
Poumon
exercent
des forces
de sens
opposées**

L'espace pleural

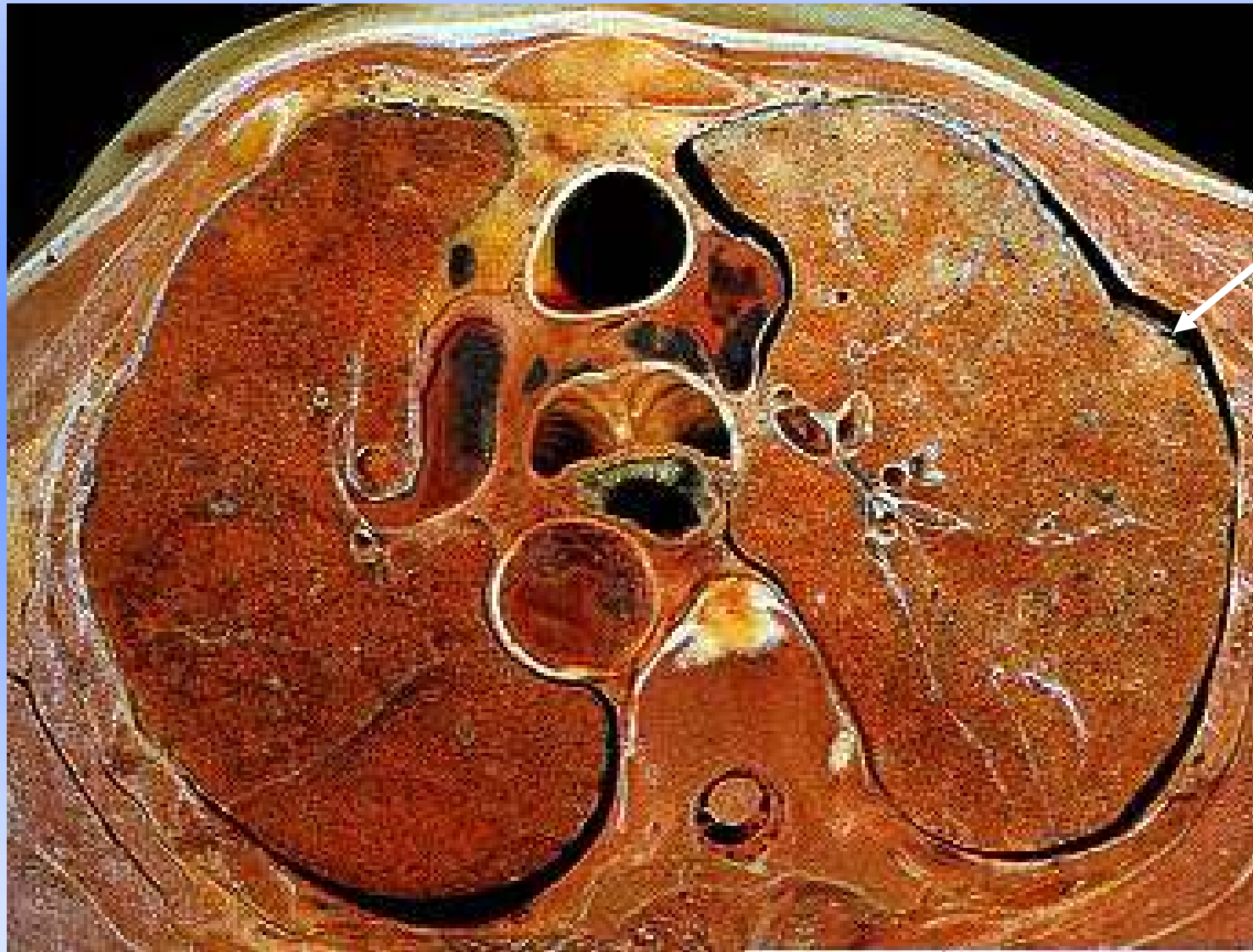
Pl Viscérale

Pl Pariétale



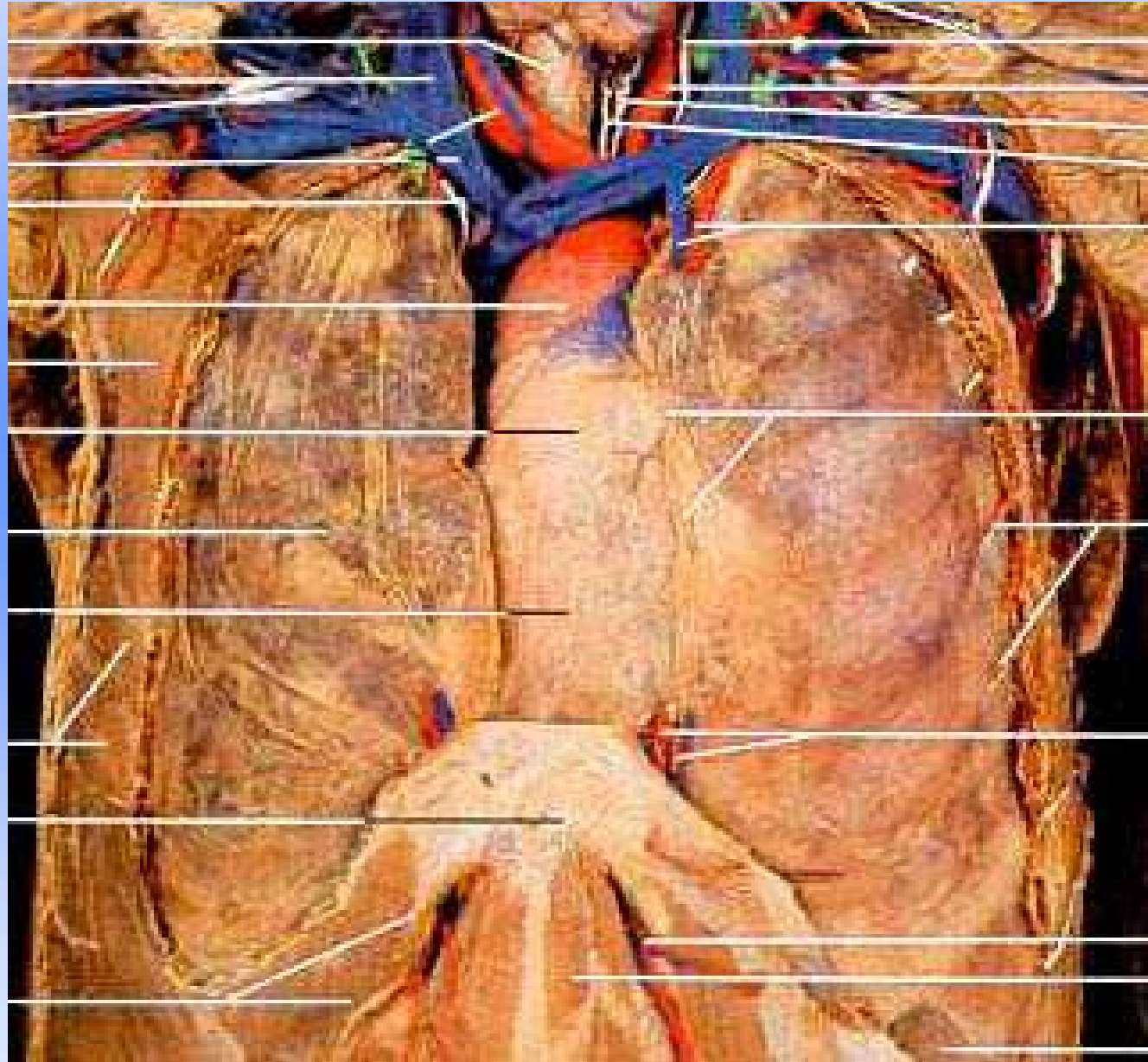
**Poumon et
thorax sont
solidarisés par
la plèvre**

L'espace pleural



Espace
pleural

L'espace pleural



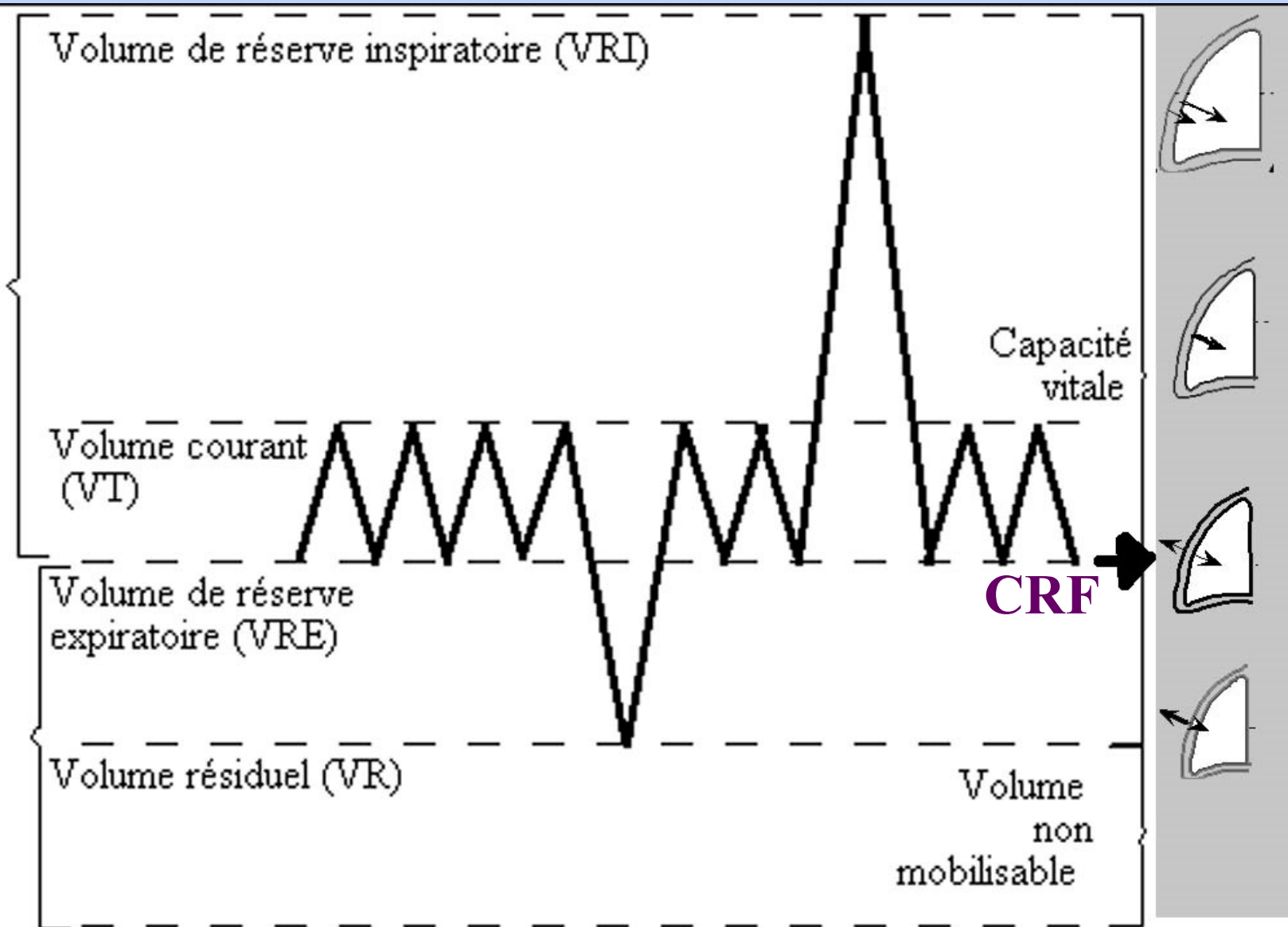
L'espace pleural

Espace clos subissant les forces thoracique et pulmonaire et dans lequel règne une pression infra-atmosphérique

**En pneumologie, la pression atmosphérique est
la
référence: $P_{atm} = 0$**

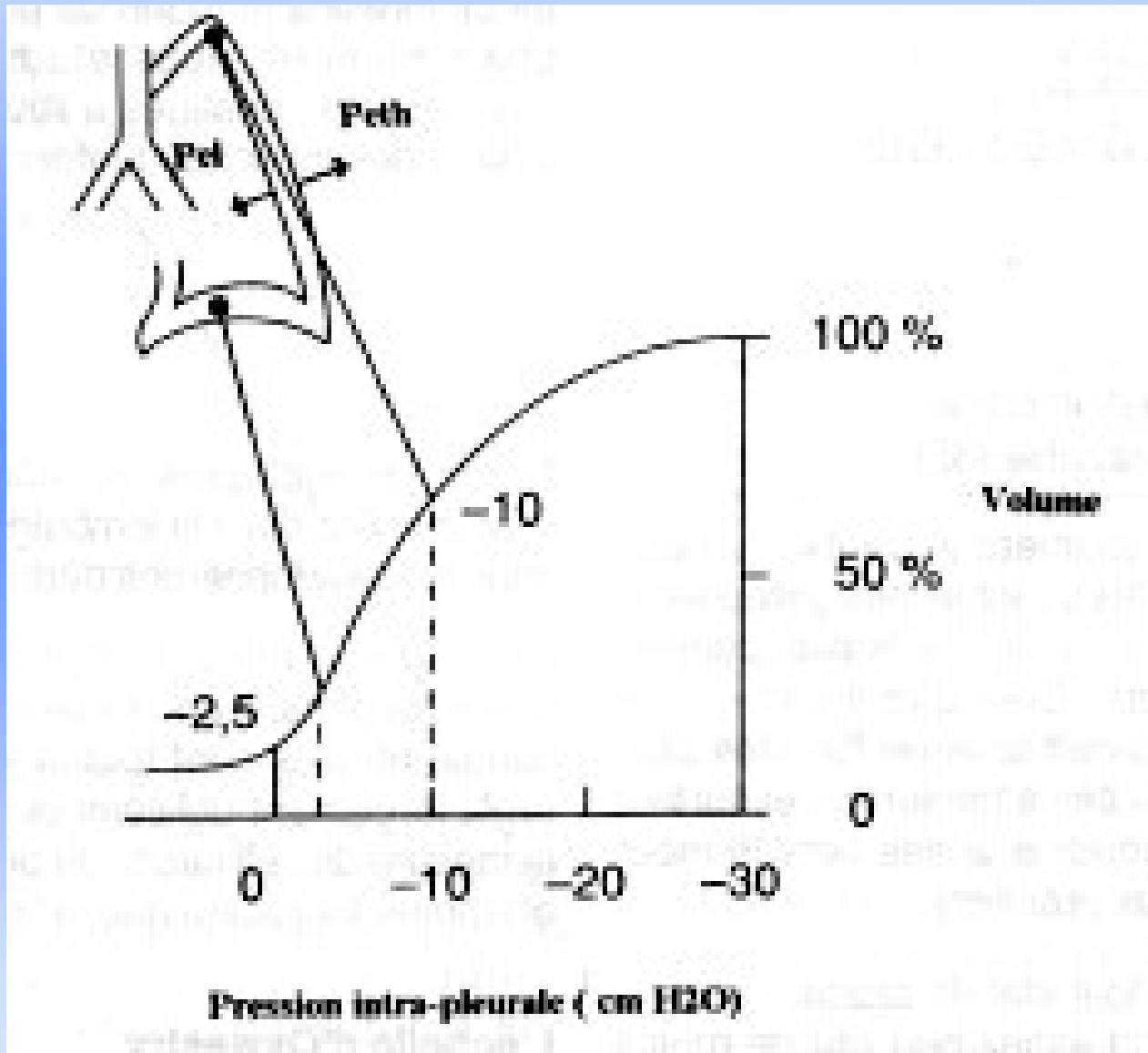
Dans l'espace pleural, la pression est dite négative

L'espace pleural



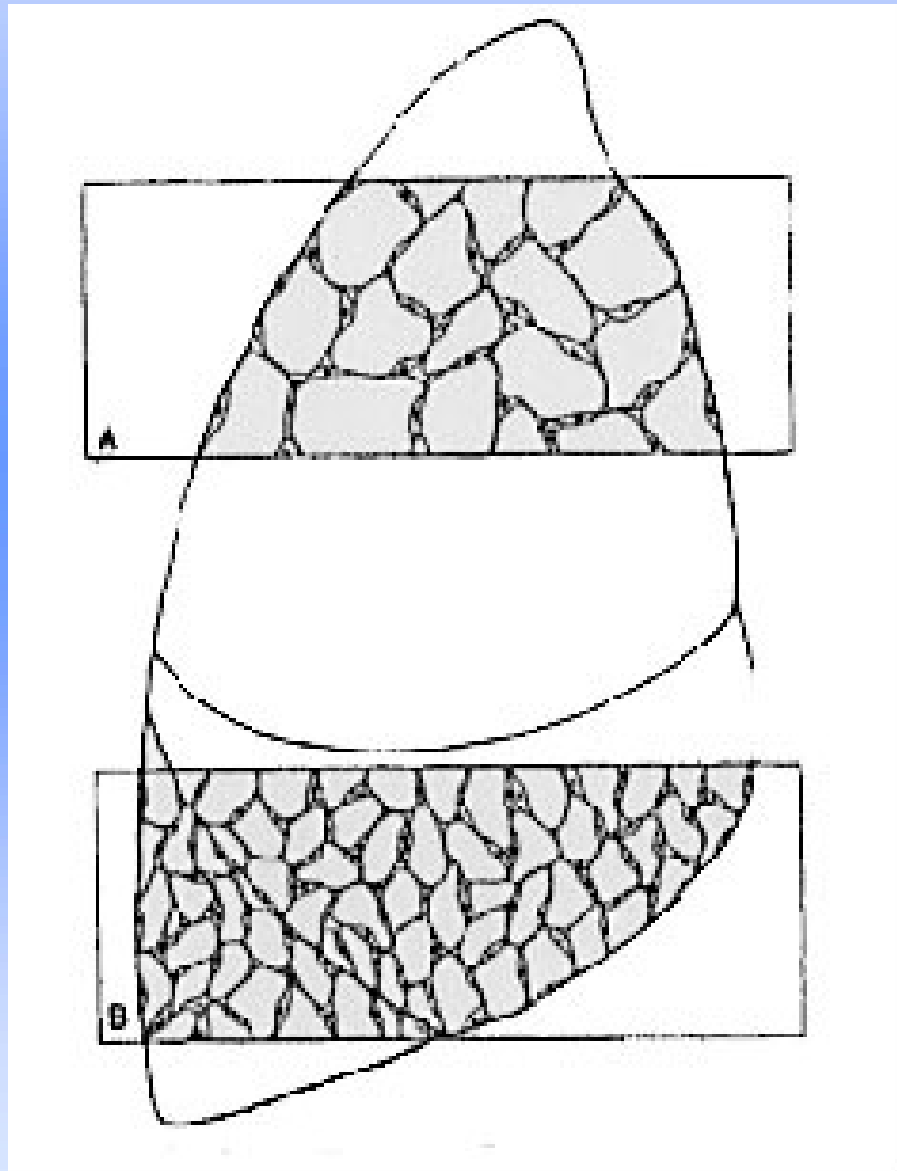
L'espace pleural permet de solidariser thorax et poumon et détermine la CRF

La pression intrapleurale



En position debout, sous l'action de la pesanteur, le poids du poumon majore la pression pleurale aux bases pulmonaires

Pression pleurale et expansion pulmonaire

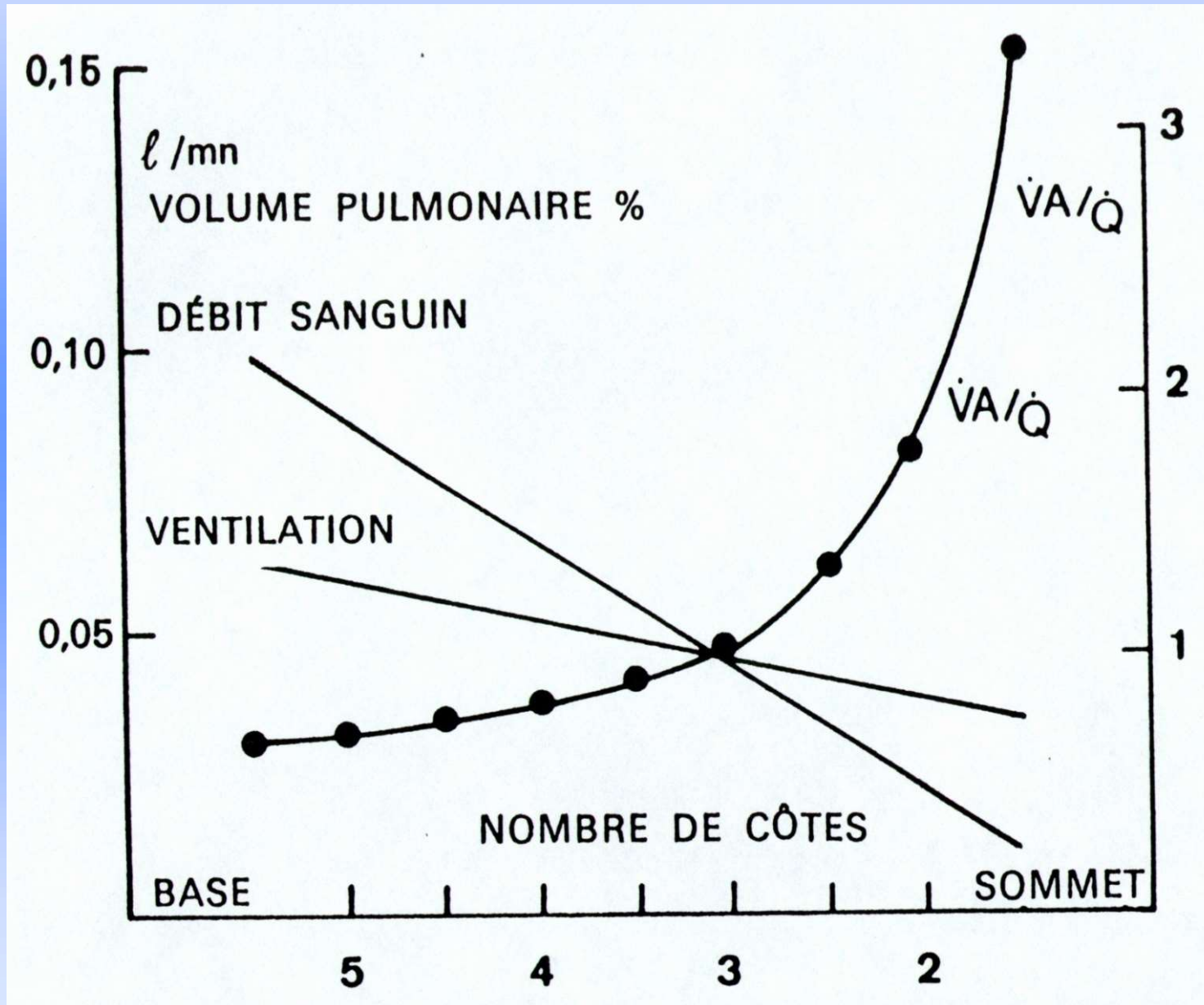


Au sommet, le volume de repos est plus élevé car la pression intrapleurale est plus négative (pression d'expansion plus élevée).

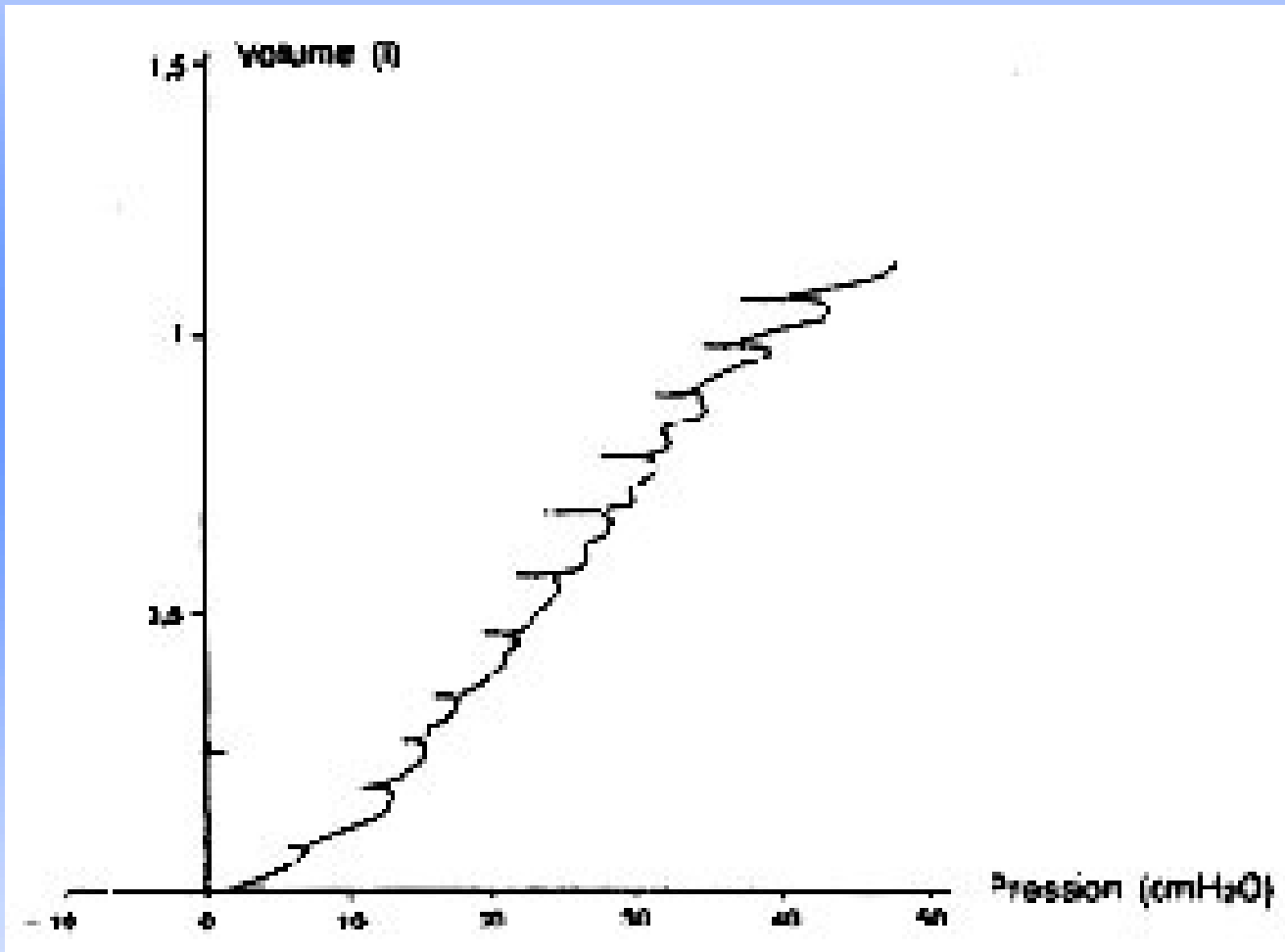
Position debout

La pression d'expansion est plus faible à la base du poumon (pression pleurale majorée): faible volume de repos

Distribution de la ventilation



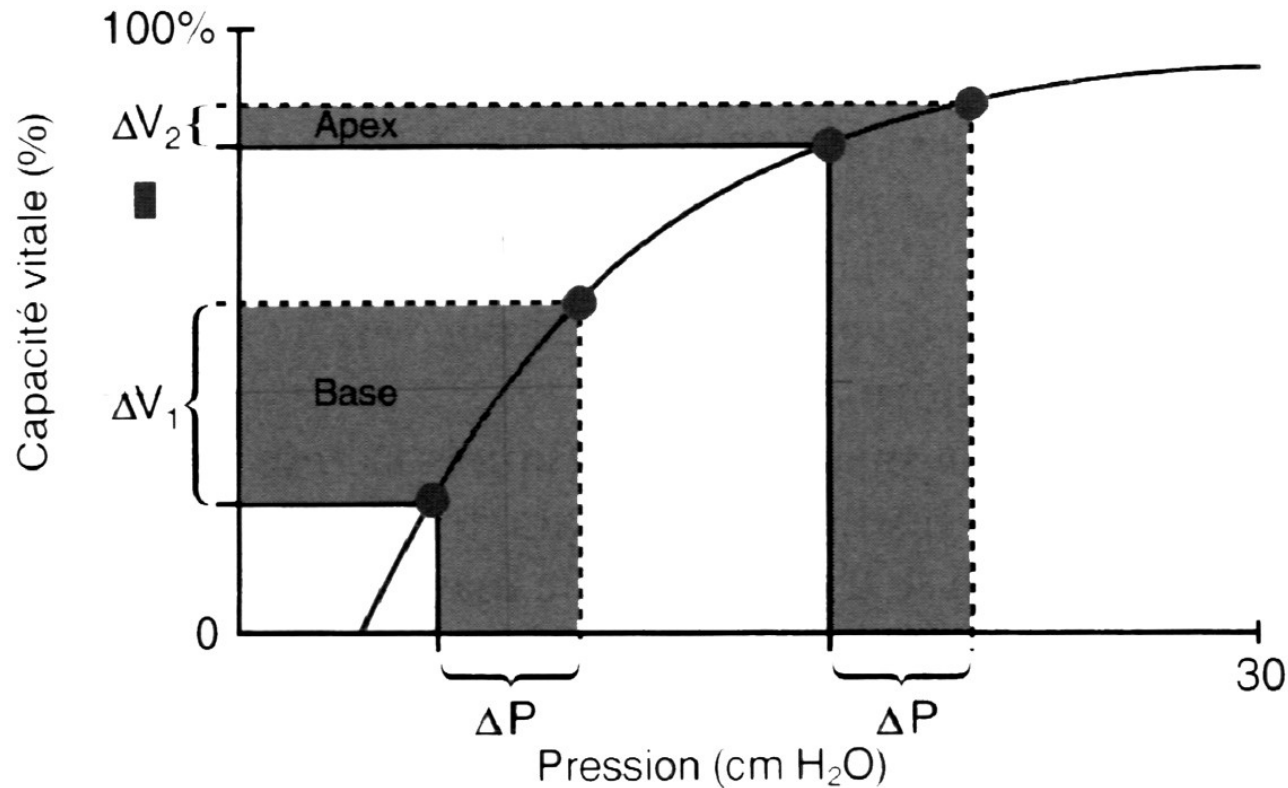
Compliance



- Capacité à se laisser déformer
- Rapport de la variation de volume obtenue sur la variation de pression développée

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

Compliances régionales



Variation de volume plus importante au niveau des bases qu'au niveau des sommets pour une même différence de pression

La compliance pulmonaire est plus importante aux bases qu'aux sommets en position debout

Elastance

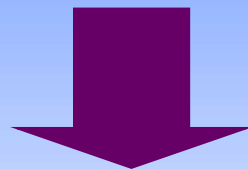
- **L'élastance, inverse de la compliance, $E = 1/C$, correspond à la capacité du système thoracopulmonaire (poumon et thorax) de revenir à l'état initial après avoir subi une déformation.**
- **C'est une constante qui mesure le retour élastique.**

Compliance thoracique du nourrisson

- Compliance plus élevée (3 à 5 fois plus que chez l'adulte) → Passage dans la filière génitale à la naissance.



Déséquilibre entre cage thoracique et poumon
↩ CRF faible (défaut d'oxygénation)



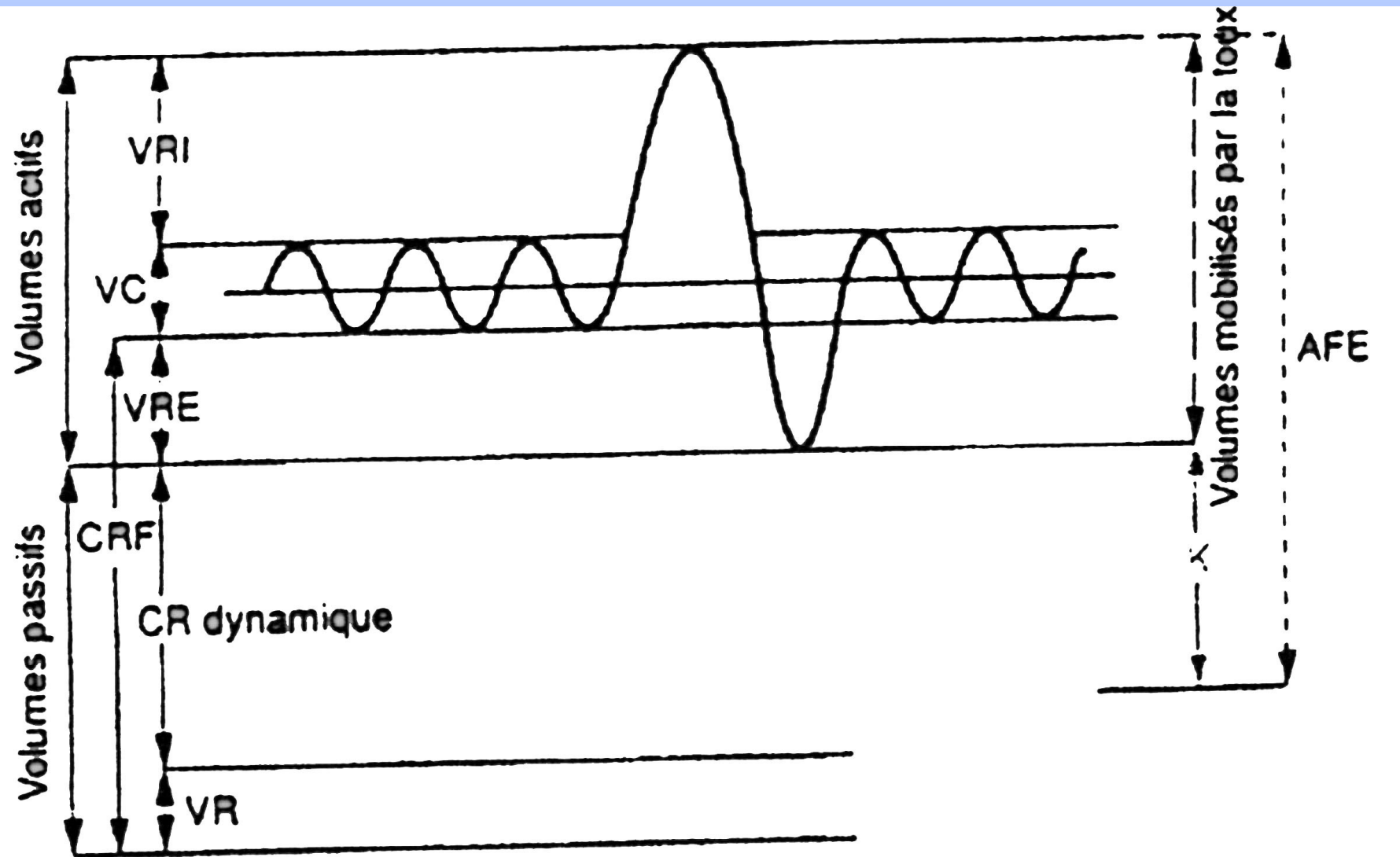
COMPENSATION
CRF dynamique

La CRF dynamique du nourrisson

- **Le nourrisson va maintenir dynamiquement une CRF plus élevée pour assurer une oxygénation satisfaisante.**
- **Mécanismes:**
 - **Activité post-inspiratoire du diaphragme**
 - **rétrécissement laryngé lors de l'expiration par contraction active des adducteurs du larynx**

Première année de vie

Spirométrie - Nourrisson



Autres conséquences d'une compliance élevée chez le nourrisson

- **Mobilisation de petits volumes**

Fréquence respiratoire élevée

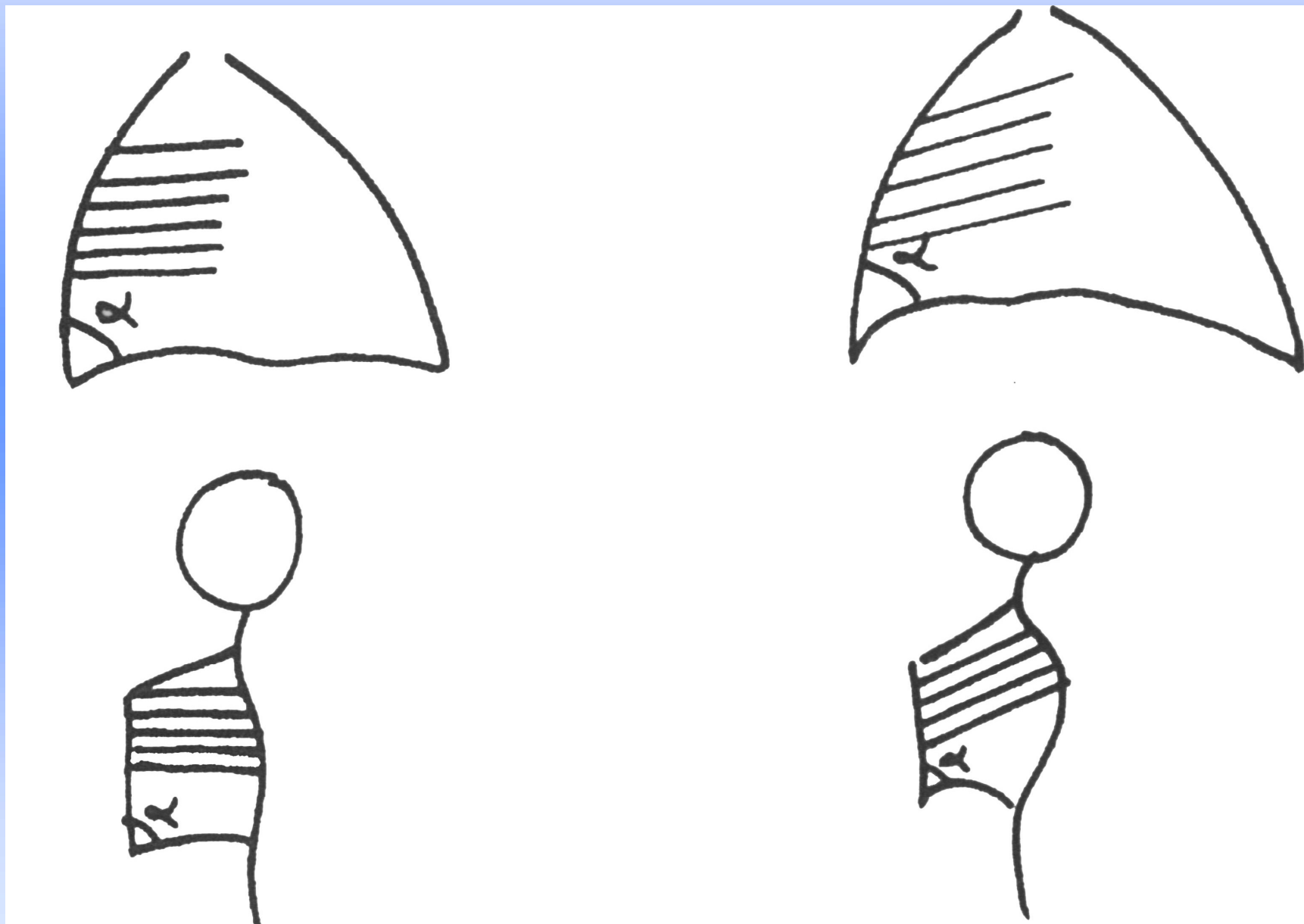
- **Distorsion thoracique facilitée**

- **Rigidification de la cage thoracique par
contraction des muscles intercostaux.**

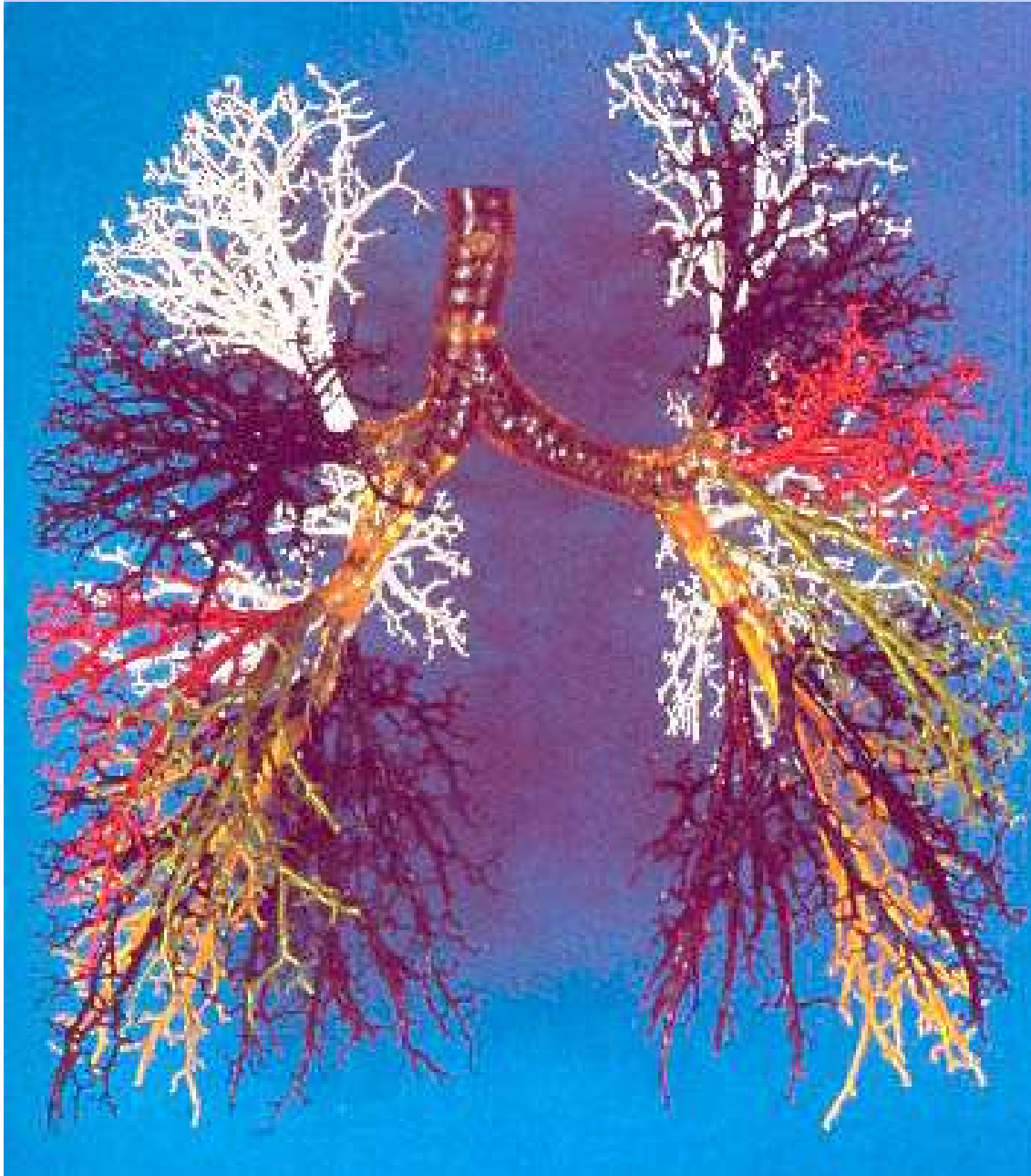


Coût énergétique de la ventilation augmenté

Géométrie thoracique du nourrisson



Les voies aériennes

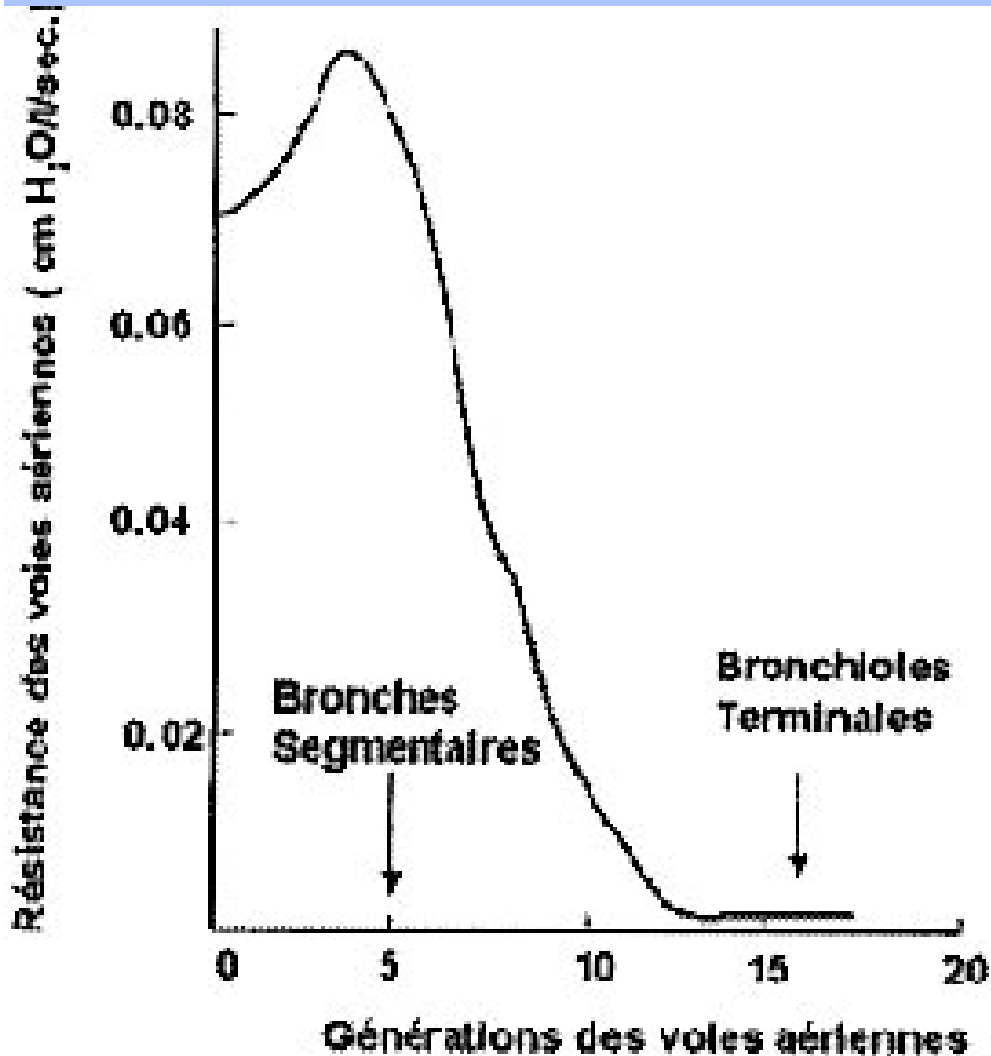


RESISTANCE A L'ECOULEMENT

Rapport de la variation
de pression exercée sur
la variation de débit
obtenue:

$$R_{aw} = \Delta P / \Delta \dot{V}$$

Variation de la résistance en fonction des générations bronchiques



**Composante majeur:
résistance de frottement.**

Répartition:

- **Nez: 50%**
- **Trachée, bronches lobaires et segmentaires: 80%**
- **voies aériennes de petit calibre: 20%**

L'écoulement de l'air

- Le débit d'un gaz dans un tube est fonction de la pression motrice et de la résistance:

$$\dot{V} = P/R \quad (R = 8nl / \pi r^4)$$

La pression motrice $P = P_A - P_{atm}$. Or, la P_{atm} étant égale à 0: $P = P_A$

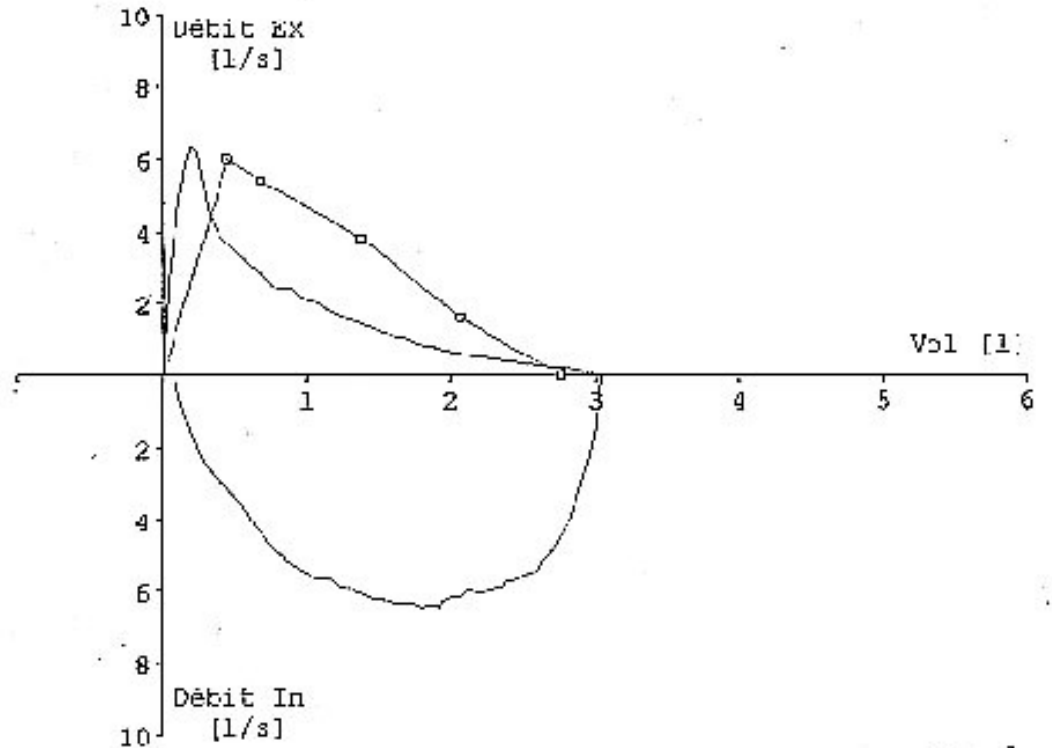
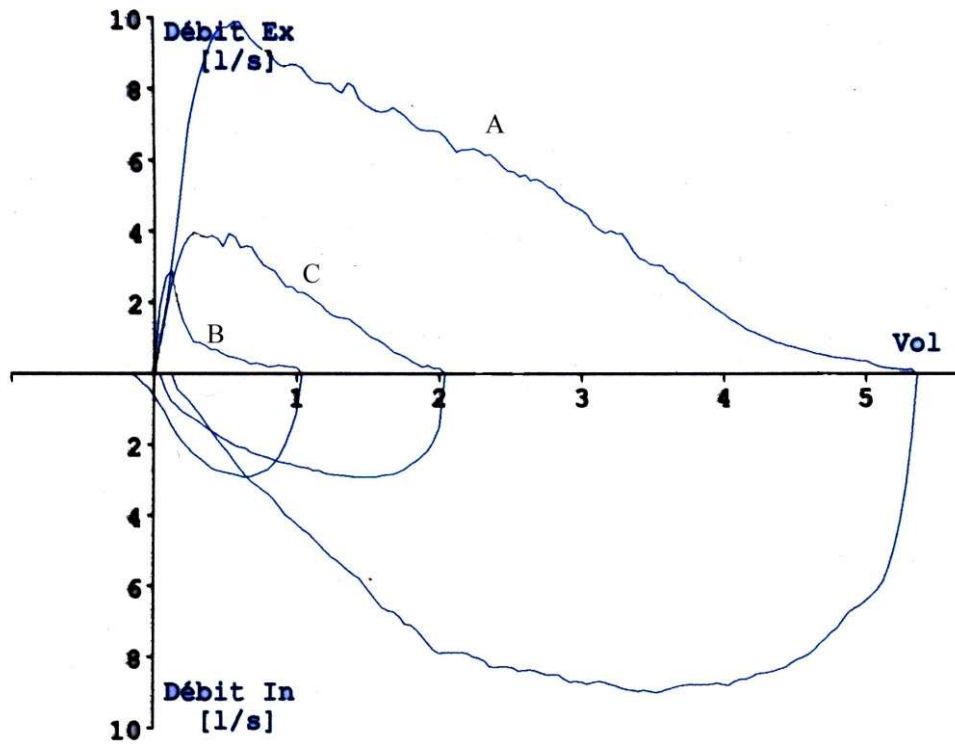
- et du type d'écoulement:

- Laminaire $P = R \cdot \dot{V}$

- Turbulent

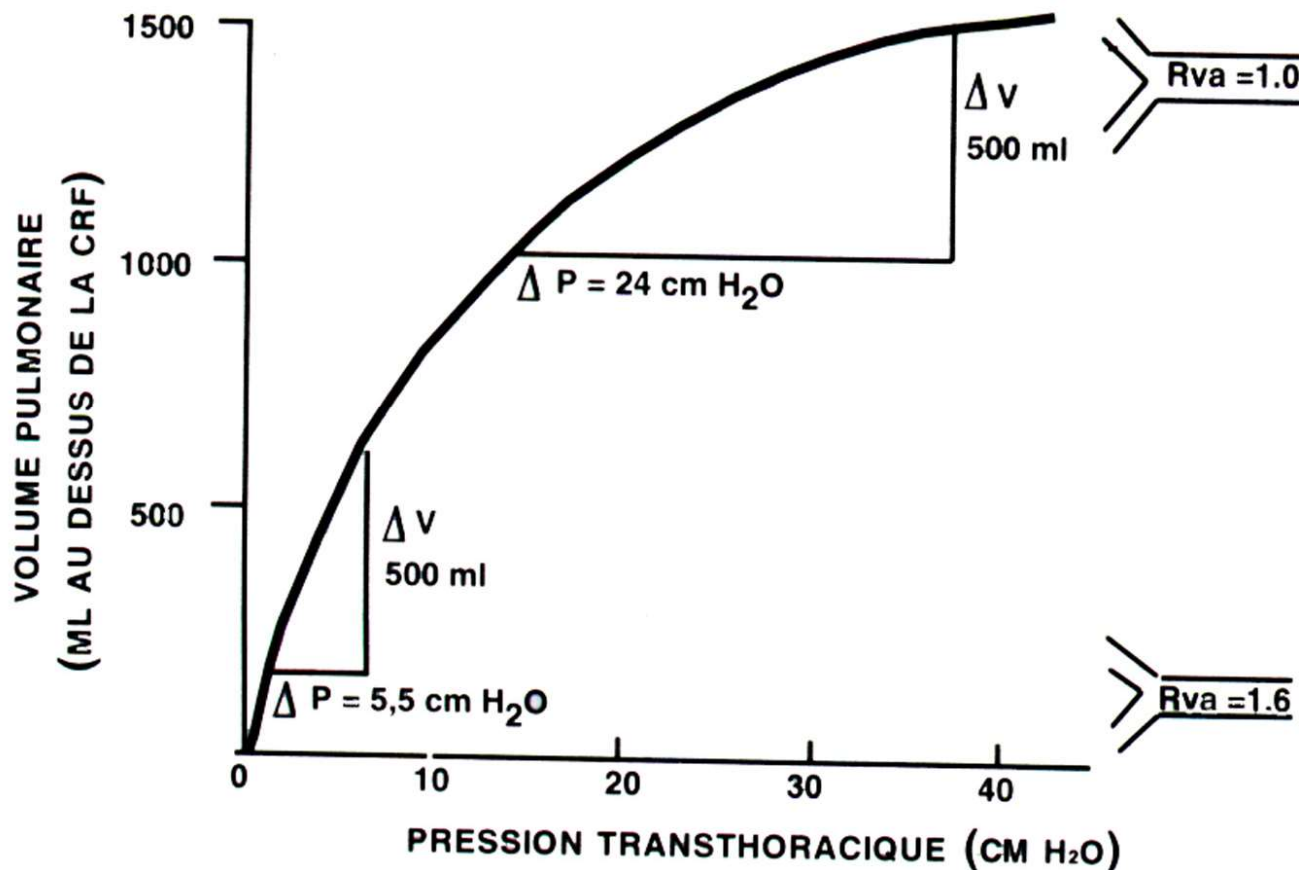
- Intermédiaire $P = R \cdot \dot{V}^2$

Courbes Débit / Volume



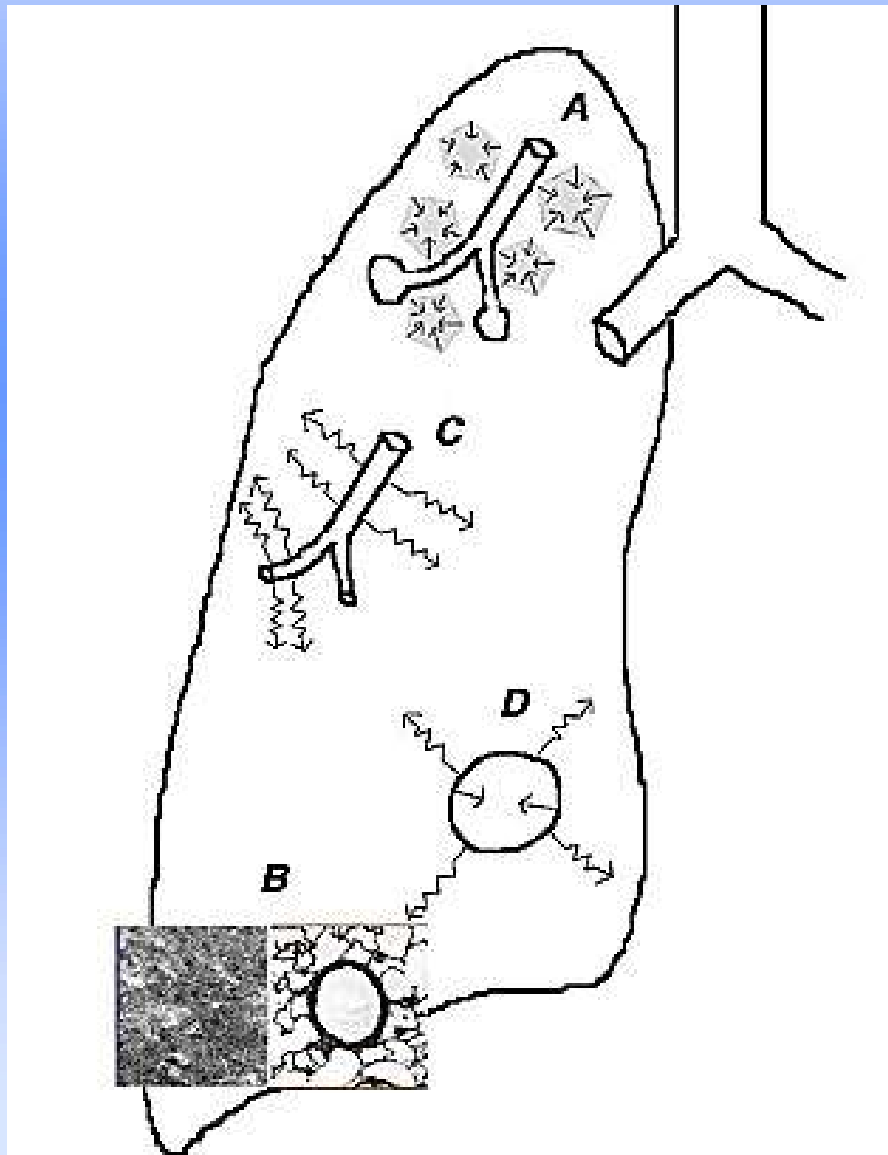
Résistances et volume pulmonaire

Courbe pression / volume du système respiratoire et résistances bronchiques en fonction du volume pulmonaire



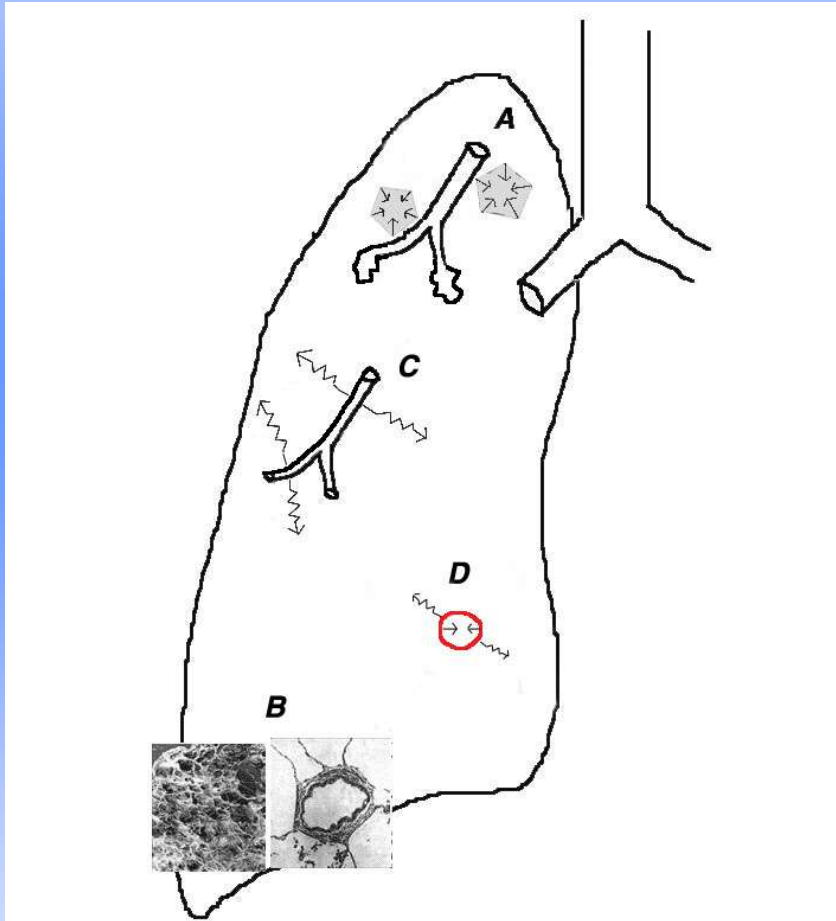
Pour un volume pulmonaire élevé, l'effet d'ancrage du parenchyme aux voies aériennes se traduit par une augmentation de la section bronchique donc une résistance moindre

Interactions entre pression de rétraction élastique pulmonaire et calibre des bronches



Les fibres élastiques pulmonaires agissent sur les bronches par un effet d'ancrage qui tend à dilater la lumière bronchique

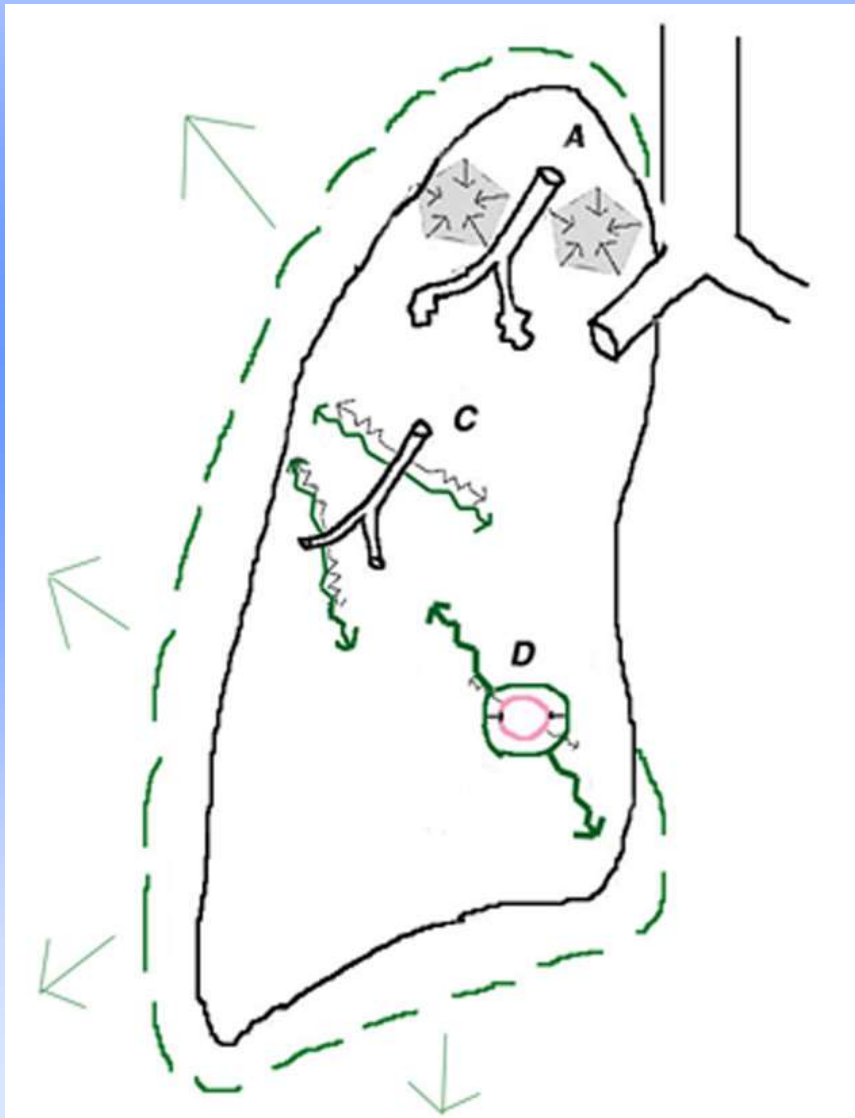
Interactions entre pression de rétraction élastique pulmonaire et calibre des bronches



**Elastance
diminuée**

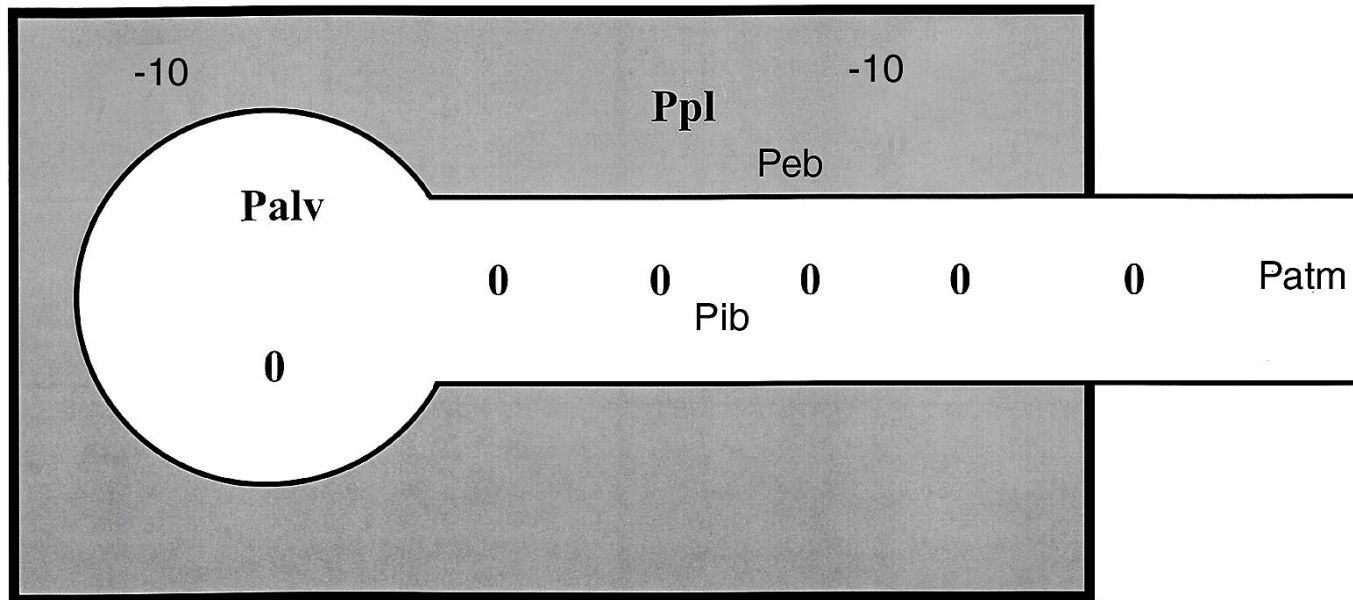
Dans l'emphysème, la diminution de fibres élastiques entraîne une diminution de l'effet d'ancrage avec un calibre bronchique qui tend à se réduire pour un volume donné.

Interactions entre pression de rétraction élastique pulmonaire et calibre des bronches



Le déplacement de la ventilation dans le VRI permet de remettre en tension les fibres élastiques restantes pour recréer une pression de rétraction favorisant l'ouverture bronchique

Mécanique bronchique en l'absence de débit ventilatoire



P_{ib}

$$P_A = P_{ib} = P_{atm} = 0$$

P_{eb}

aux sommets:

$$P_{eb} = P_{pl} = -10 \text{ cm H}_2\text{O}$$

aux bases:

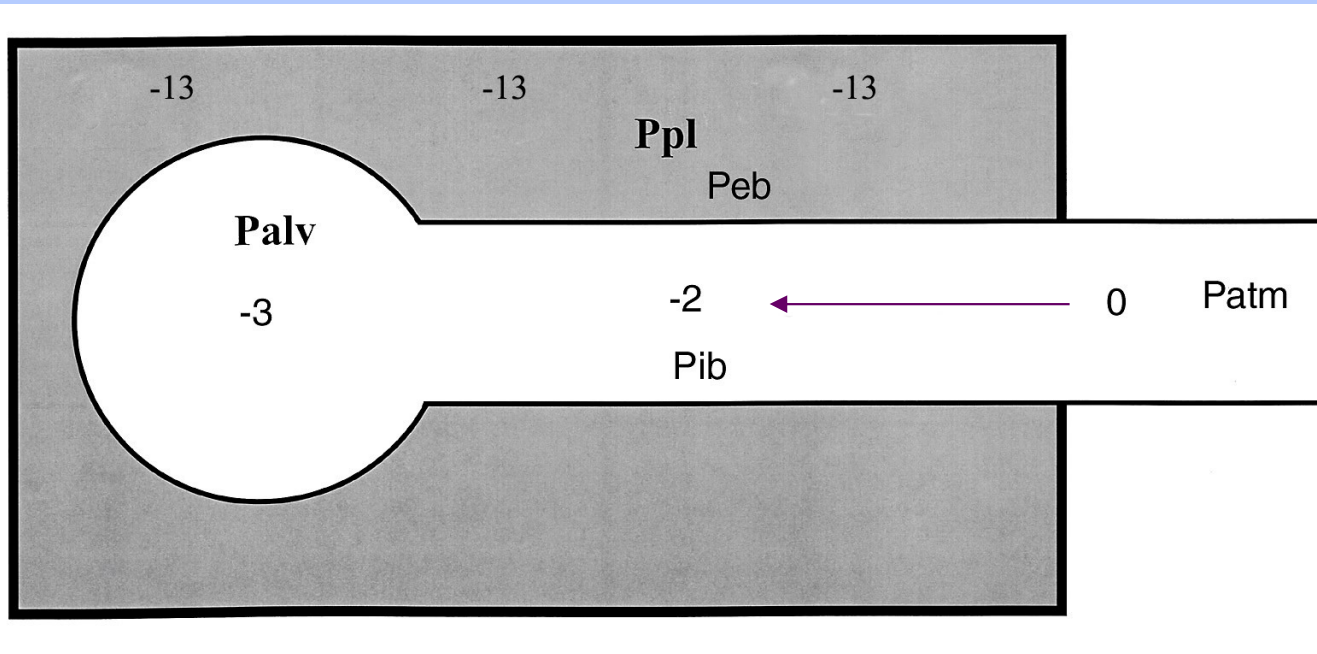
$$P_{eb} = P_{pl} = -2,5 \text{ cm H}_2\text{O}$$

$$P_{tb} = P_{ib} - P_{eb}$$

aux sommets: + 10cm H₂O

aux bases: +2,5 cm H₂O

Mécanique bronchique à l'inspiration



$$P_A = P_{el} + P_{pl}$$

$$P_{el} = P_A - P_{pl}$$

$$P_{tb} = +10$$

Contraction musculaire

Augmentation du volume

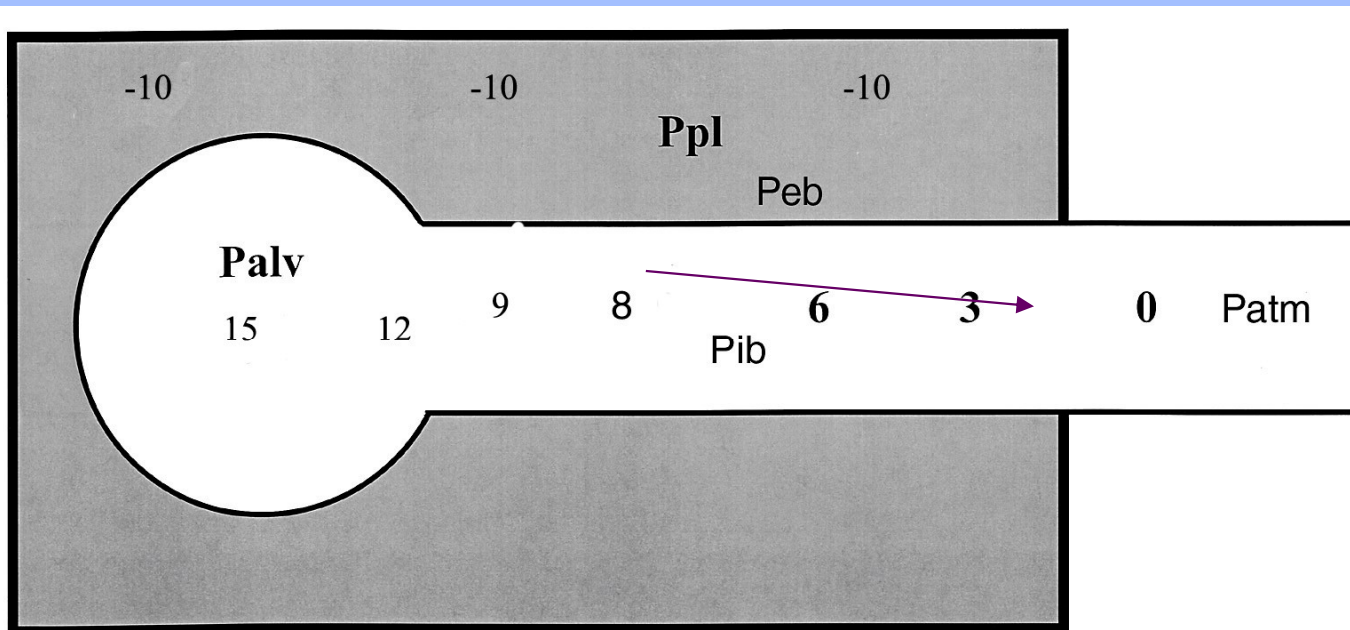
**Diminution P_{pl} (P_{el})
diminution P_A**

**Gradient de pression
 $P_A < P_{atm}$**

Débit inspiratoire

**Variations de volume
plus importantes aux
bases**

Mécanique bronchique à l'expiration de repos



Pression alvéolaire augmentée
↓
Inversion du gradient de pression $P_A > P_{atm}$
↓
Débit expiratoire

$$P_{tb} = + 25$$

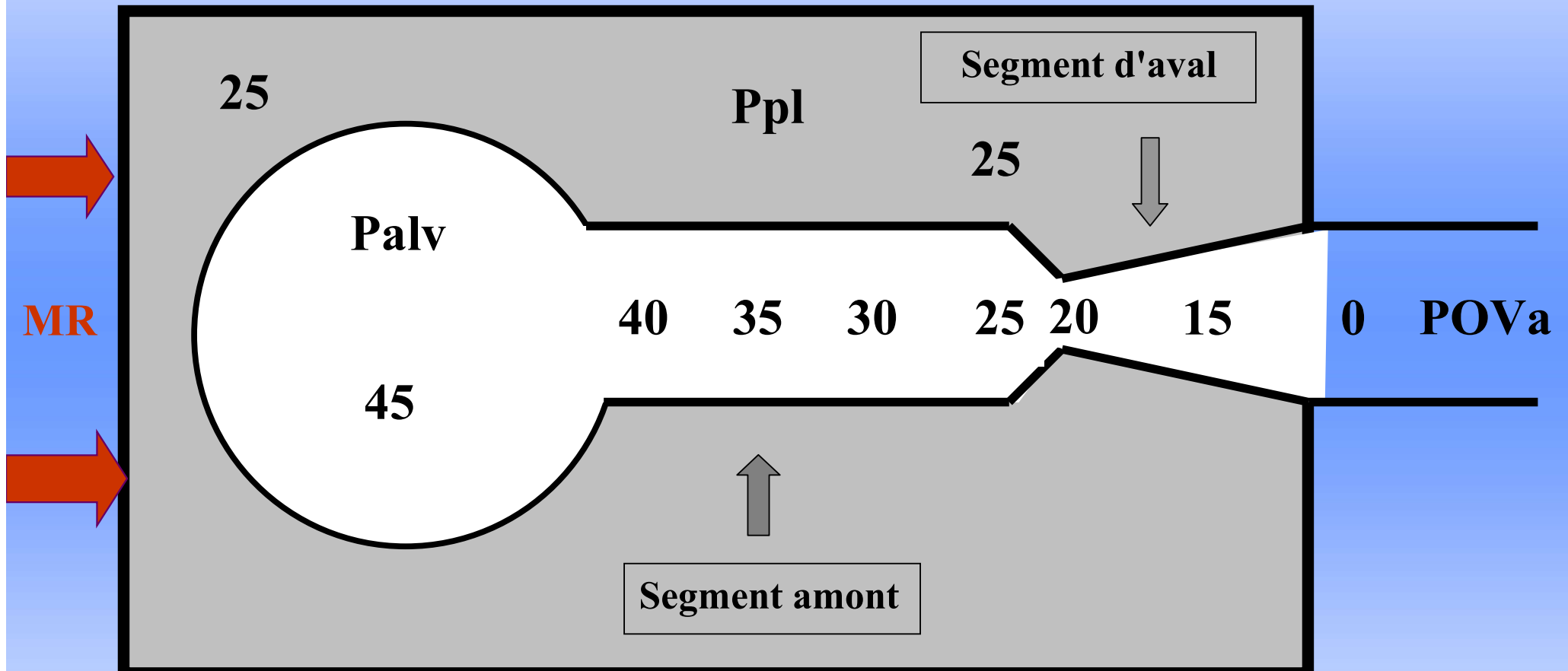
La P_{ib} , positive, décroît de l'alvéole vers la bouche en raison d'une perte de charge due aux résistances bronchiques. La P_{tb} reste positive, la bronche reste ouverte.

L'expiration

- Le débit expiratoire: $\dot{V} = P/R$ (cf supra)
- La notion de débit implique aussi la notion de vitesse de déplacement d'un front gazeux.
- $\dot{V} = V/t$
- $V = s.l$
- $\dot{V} = s.l/t$
- $l/t = v$
- $v = \dot{V}/s$

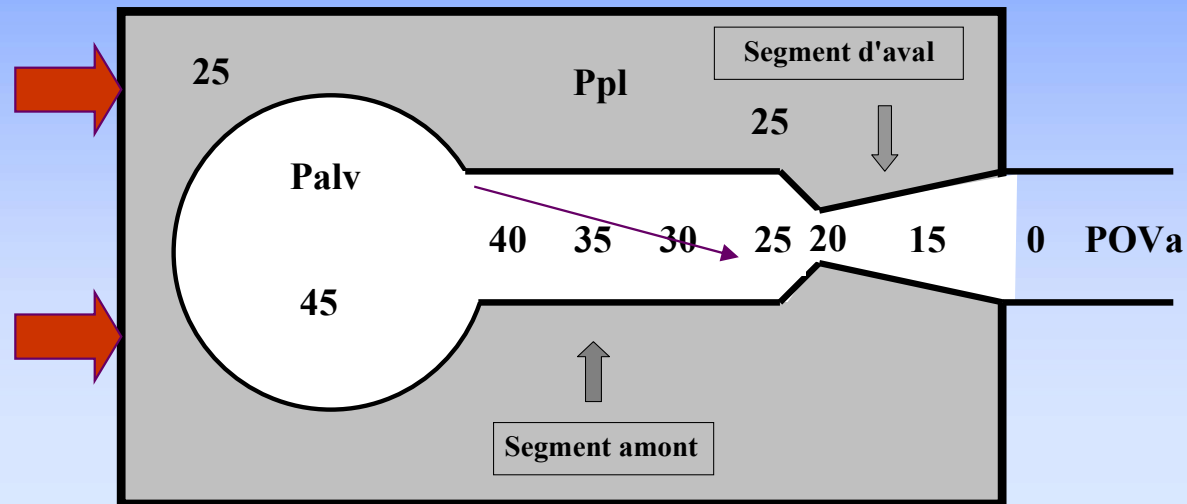
La vitesse est proportionnelle
au débit et inversement
proportionnelle au calibre
bronchique

Mécanique bronchique à l'expiration forcée



L'expiration forcée

- $P_{\text{musc}} + P_{\text{esr}} \longrightarrow$ augmentation de la PA et Ppl
- PA $\nearrow \longrightarrow$ augmentation du débit expiratoire
- Ppl $\nearrow \longrightarrow$ augmentation Peb et diminution Ptb
- Ptb $\searrow \longrightarrow$ compression dynamique: $\searrow \varnothing$ bronche
- $\searrow \varnothing$ bronche \longrightarrow augmentation des résistances
- $\nearrow R \longrightarrow$ diminution du \dot{V} et augmentation v



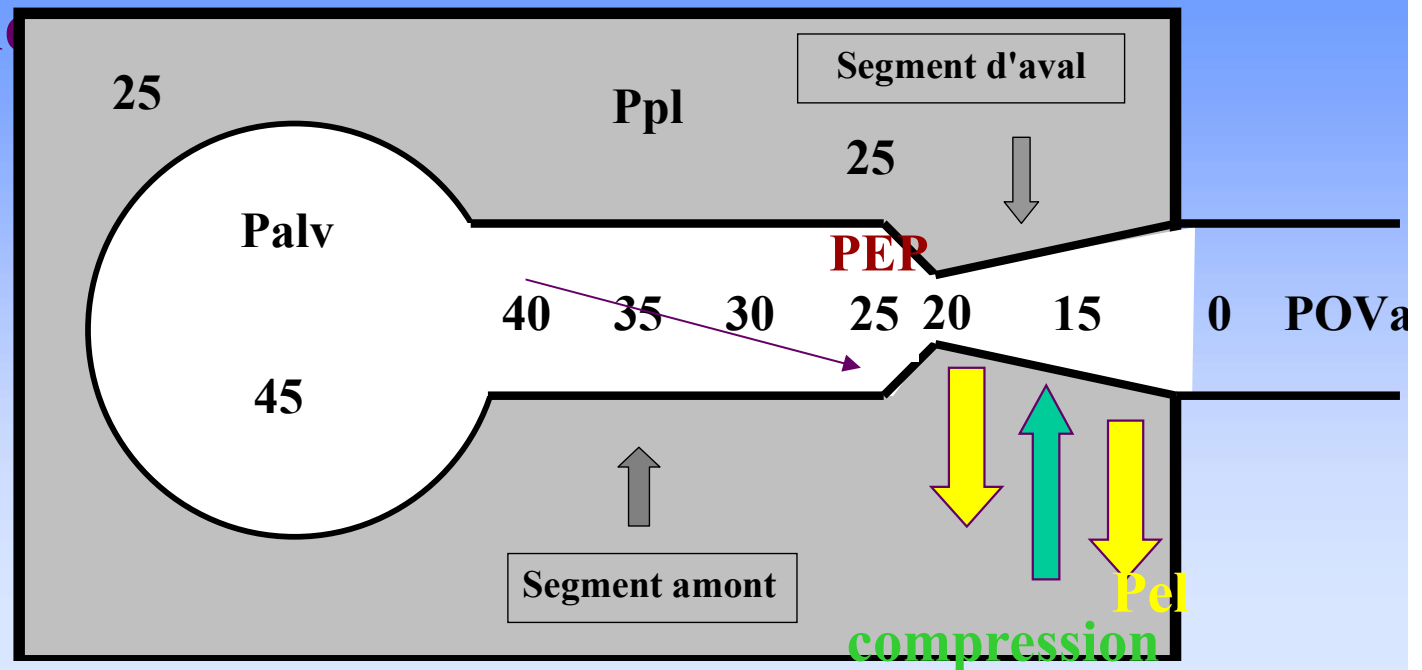
Le point d'égal pression

- La P_{ib} décroît davantage car résistances augmentées avec sur le trajet un point dit d 'égale pression: $P_{tb}=0 \rightarrow 2$ secteurs
- Secteur d 'amont \rightarrow secteur bronchique non comprimé
- Secteur d 'aval \rightarrow secteur bronchique comprimé avec diminution du calibre et débit limité quelle que soit la force musculaire.
- A l'état physiologique, la P_{ib} reste supérieure à la P_{eb} grâce à l 'apport de la pression élastique pulmonaire qui s 'exerce en tout point du parenchyme

$$P_{tb \text{ amont}} = +20$$

$$P_{tb \text{ aval}} = -10$$

$$P_{el} = P_A - P_{pl} = +20$$



Résistance de Starling

- Le résultat de l'interaction des forces agissant sur les parois bronchiques réalise une résistance de Starling (système dans le lequel un segment est susceptible de se collaber et est à l'origine d'un rétrécissement qui limite le débit).
- Dans ces circonstances, le gradient de pression qui détermine le débit est: $P_A - P_{pl}$ et non $P_A - P_{atm}$

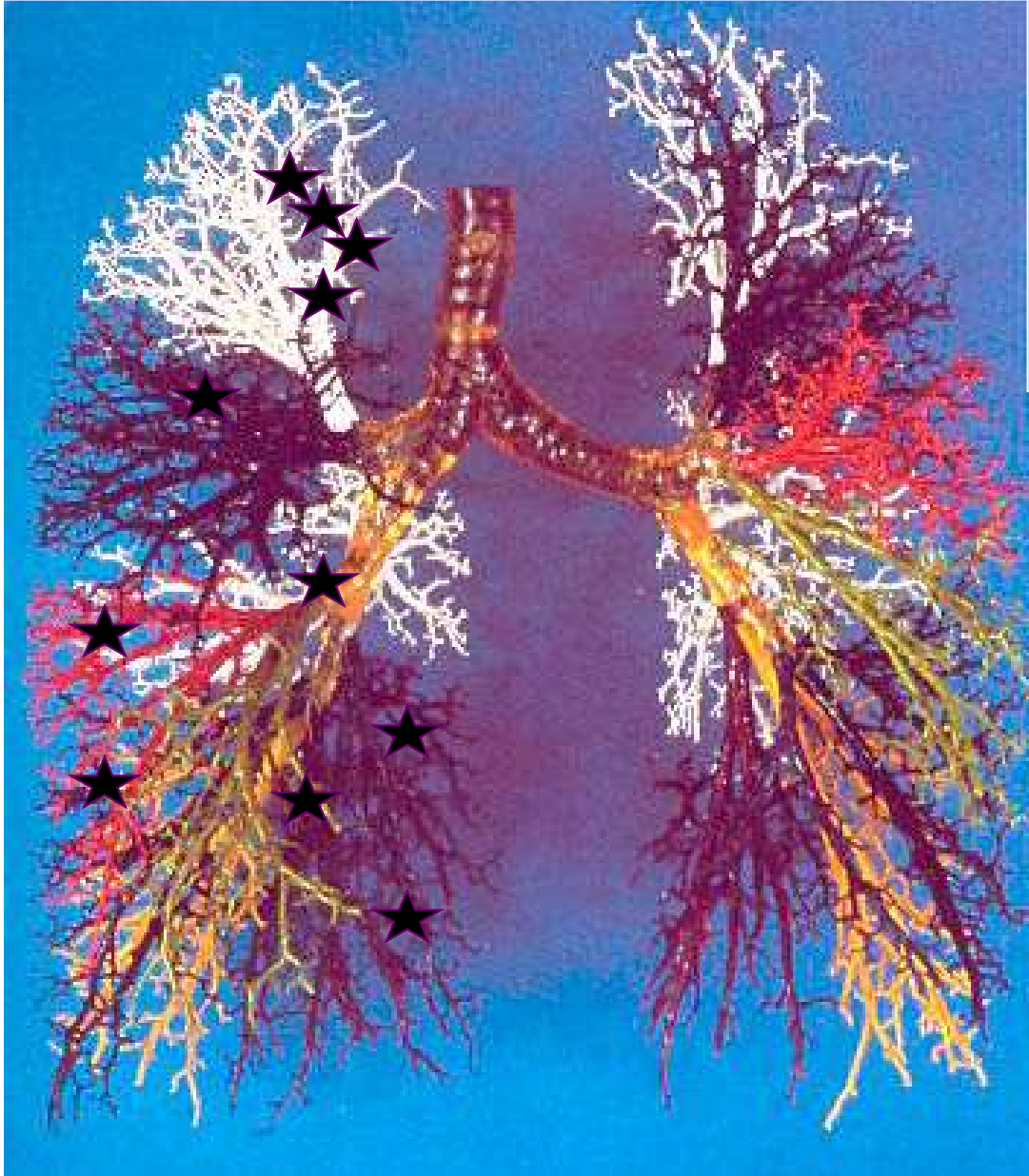
Déplacement du PEP

$P_{el} \searrow$ et $R \nearrow \implies$ déplacement du PEP vers l'alvéole
ex: emphysème, bronchospasme

La diminution du volume pulmonaire au cours du cycle ventilatoire, avec diminution concomitante de la P_{el} , entraîne un déplacement du PEP vers l'alvéole

Les bronches situées dans les zones dépendantes, à P_{el} moindre, tendent à se collaber plus précocement: volume de fermeture.

Le point d'égale pression, un point « virtuel »



« Virtuel » car en déplacement permanent sur toute la durée de l'expiration

Les variables:

- le niveau de volume pulmonaire
- la P_{el}
- la pression motrice (force musculaire, pression thoracique)
- les résistances des voies aériennes

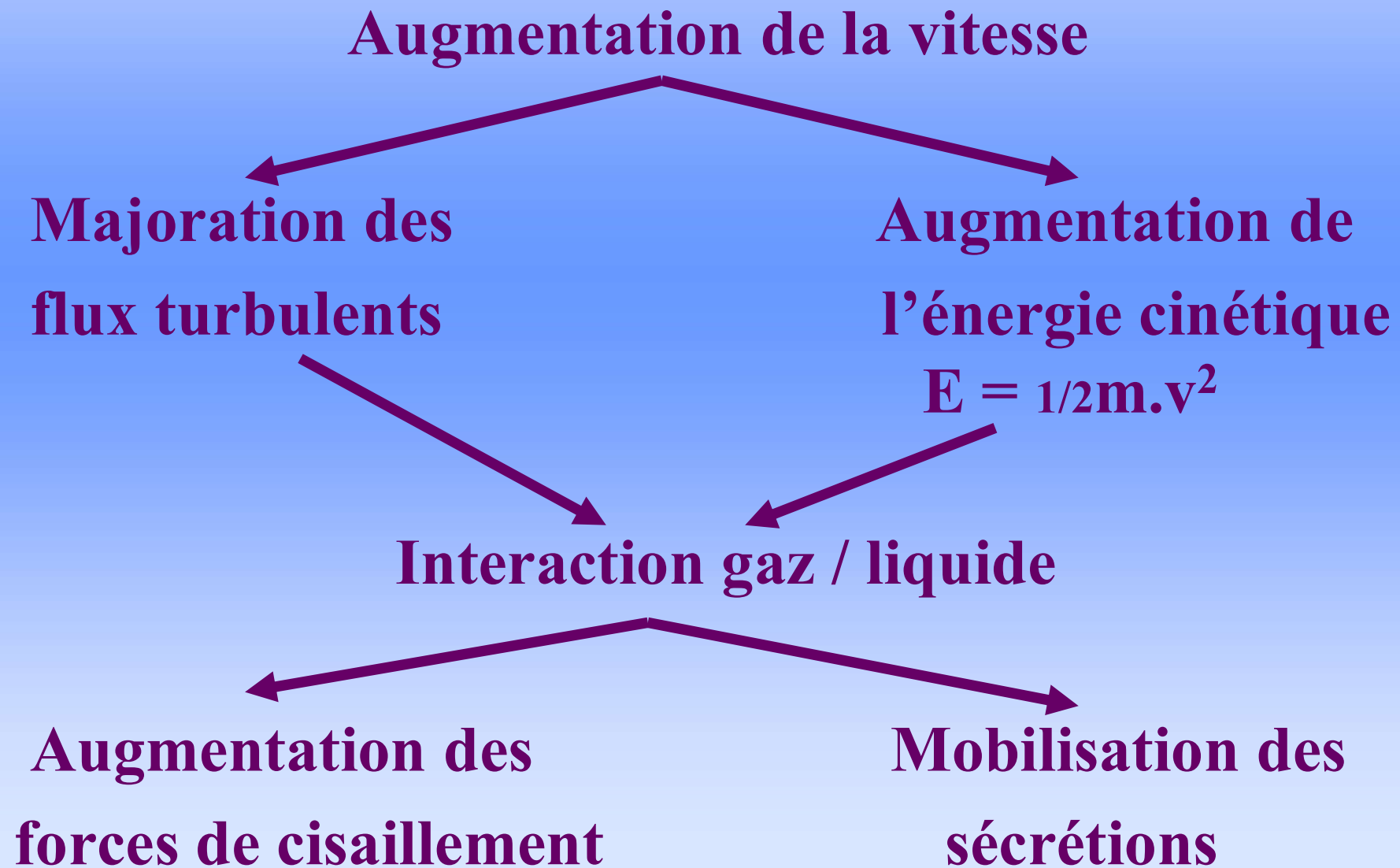
La compression dynamique

- S'installe après l'expiration des premiers 15 à 20% de la CV.
- Jusqu'au DEP, les débits sont efforts dépendants car le PEP apparaît au niveau des grosses bronches avec armatures cartilagineuses
- Ensuite, les débits sont indépendants de l'effort car le PEP se déplace sur des bronches susceptibles de se collaber (résistance de Starling).
- Au fur et à mesure de l'expiration, la Pib diminue avec le volume pulmonaire, majorant la compression.
- De même, avec la diminution du volume, la Pel diminue

Expiration forcée et vitesse du flux gazeux

- La vitesse est proportionnelle à la pression motrice et inversement proportionnelle au calibre bronchique $v = \dot{V}/s$
- C'est à dire que la vitesse augmente avec la pression motrice et la réduction du calibre bronchique, tout en sachant que la réduction de ce calibre augmente les résistances bronchiques et donc modère l'augmentation de la pression motrice et du débit expiratoire.

Interaction vitesse du flux expiratoire et sécrétions bronchiques



Le collapsus bronchique

- **Survient quand $P_{eb} > P_{ib}$ avec:**
 - **augmentation importantes des résistances bronchiques non équilibrée par la P_{el}**
 - **diminution notable de la P_{el} (emphysème ou bas volume pulmonaire).**
 - **Ajout d'une force extérieure sur la cage thoracique (pressions manuelles), majorant P_A mais aussi P_{pl} , chez des personnes dont les résistances sont augmentées et/ou une P_{el} diminuée.**

Conséquences du collapsus lors de l'expiration

- Interruption du débit expiratoire avec exclusion broncho-alvéolaire: volume de fermeture.
- Rééquilibration des pressions bronchiques en amont du collapsus avec la pression alvéolaire, entraînant une augmentation de la P_{ib} qui peut redevenir supérieure à la P_{eb} → réouverture bronchique. Phénomène possible avec une P_{el} efficace pouvant entraîner un effet de vibration susceptible de mobiliser les sécrétions bronchiques.

Le travail ventilatoire

- Il y a travail ventilatoire lorsque les muscles respiratoires génèrent une force qui mobilise la cage thoracique et le poumon.
- Le travail ventilatoire est donc le produit de la pression générée et du volume mobilisé.

Le travail ventilatoire

- A l'inspiration, temps musculaire actif, ce travail est constitué de deux éléments : l'un nécessaire pour vaincre les forces élastiques et l'autre pour vaincre les résistances des voies aériennes.
- A l'expiration, temps passif, le travail est accompli grâce à l'énergie stockée dans le parenchyme pulmonaire élastique dilaté au cours de l'inspiration.

Le travail ventilatoire

- **Le travail ventilatoire augmente lorsque la capacité de distension pulmonaire diminue (fibrose par exemple) ou lorsque la résistance des voies aériennes augmente (syndrome obstructif, asthme par exemple)**

Intérêts de la connaissance de la mécanique ventilatoire en kinésithérapie respiratoire

La connaissance de la mécanique ventilatoire, associée aux autres dimensions caractérisant l'appareil respiratoire (gazométrie, épuration mucociliaire, bronchomotricité.....) permet:

- **Avoir une représentation la plus juste possible de la physiologie ventilatoire d'un patient.**
- **Avoir une représentation la plus juste possible des problèmes médicaux d'un patient présentant une pathologie respiratoire.**

Intérêts de la connaissance de la mécanique ventilatoire en kinésithérapie respiratoire

- **Orienter l'évaluation kinésithérapique vers la recherche de dysfonctionnements que l'on sait potentiellement présents.**
- **Choisir et adapter les techniques de soins selon les caractéristiques physiopathologiques du patient.**

Intérêts de la connaissance de la mécanique ventilatoire en kinésithérapie respiratoire

- Choisir les critères d'évaluation du geste en fonction des réactions instantanées prévisibles et imprévisibles.**
- Evaluer le traitement en fonction du stade d'évolution de la pathologie du patient.**

Références

- **Grippi A. Physiopathologie pulmonaire. Du concept à la pratique clinique.**
- **West JB. Physiologie respiratoire: notions essentielles. Montréal. Ed. HRW Ltée, 1975**
- **Antonello M., Delplanque D. et col. Comprendre la kinésithérapie respiratoire, Paris, Masson, 2005 (2ème édition)**
- **Delplanque D. Bases théoriques de la modulation du flux expiratoire. Kinésith. Scient., 2002, 418, 55-56 et 419,45-48**
- **Delplanque D. Modulation du flux expiratoire et contextes physiologiques, physiopathologiques: interactions avec l'élastance et la compliance thoracopulmonaire. Kinésith. Scient., 2004, 442, 57-58**
- **VinçonC., Fausser C. Kinésithérapie respiratoire en pédiatrie, Paris, Masson, 1989**