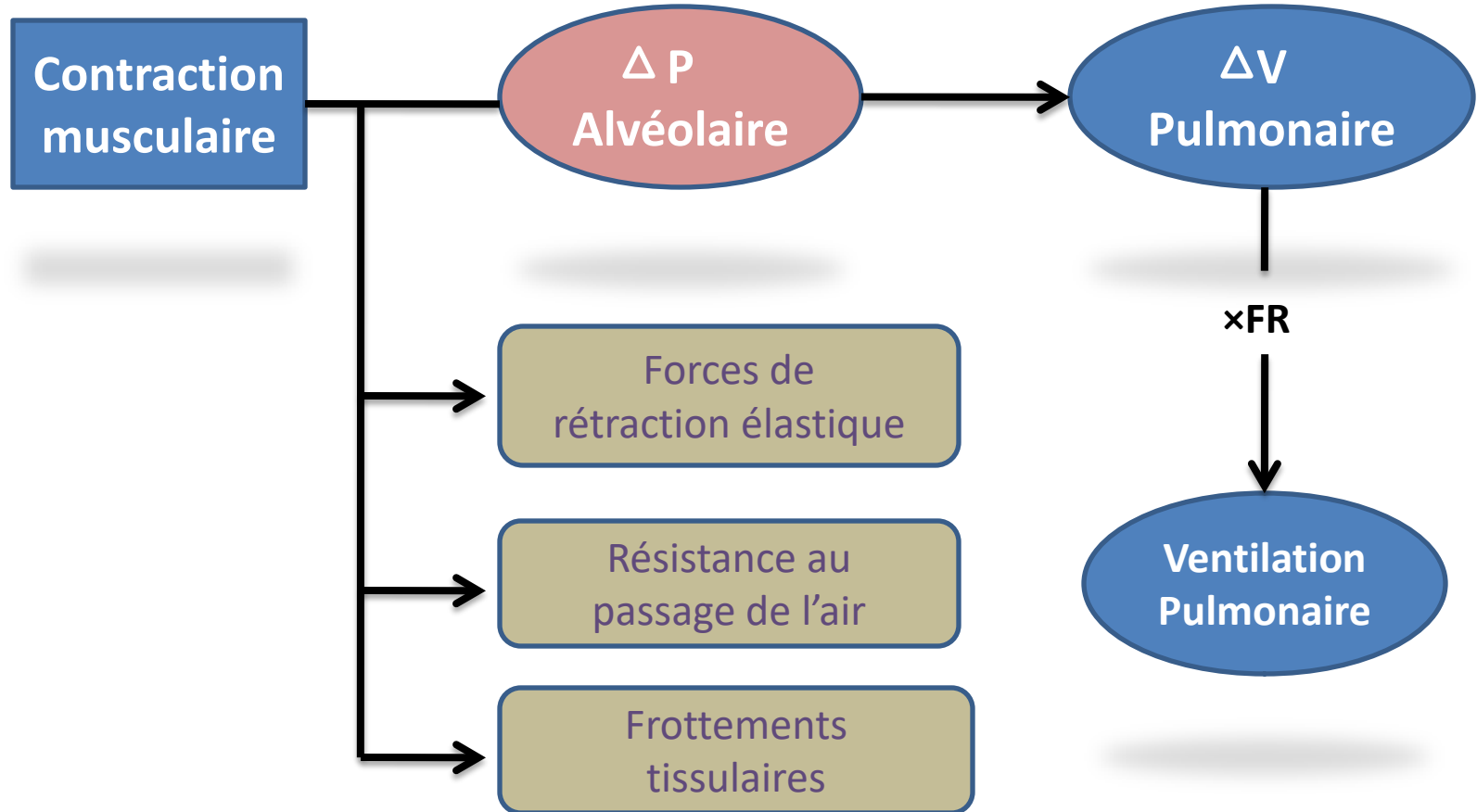


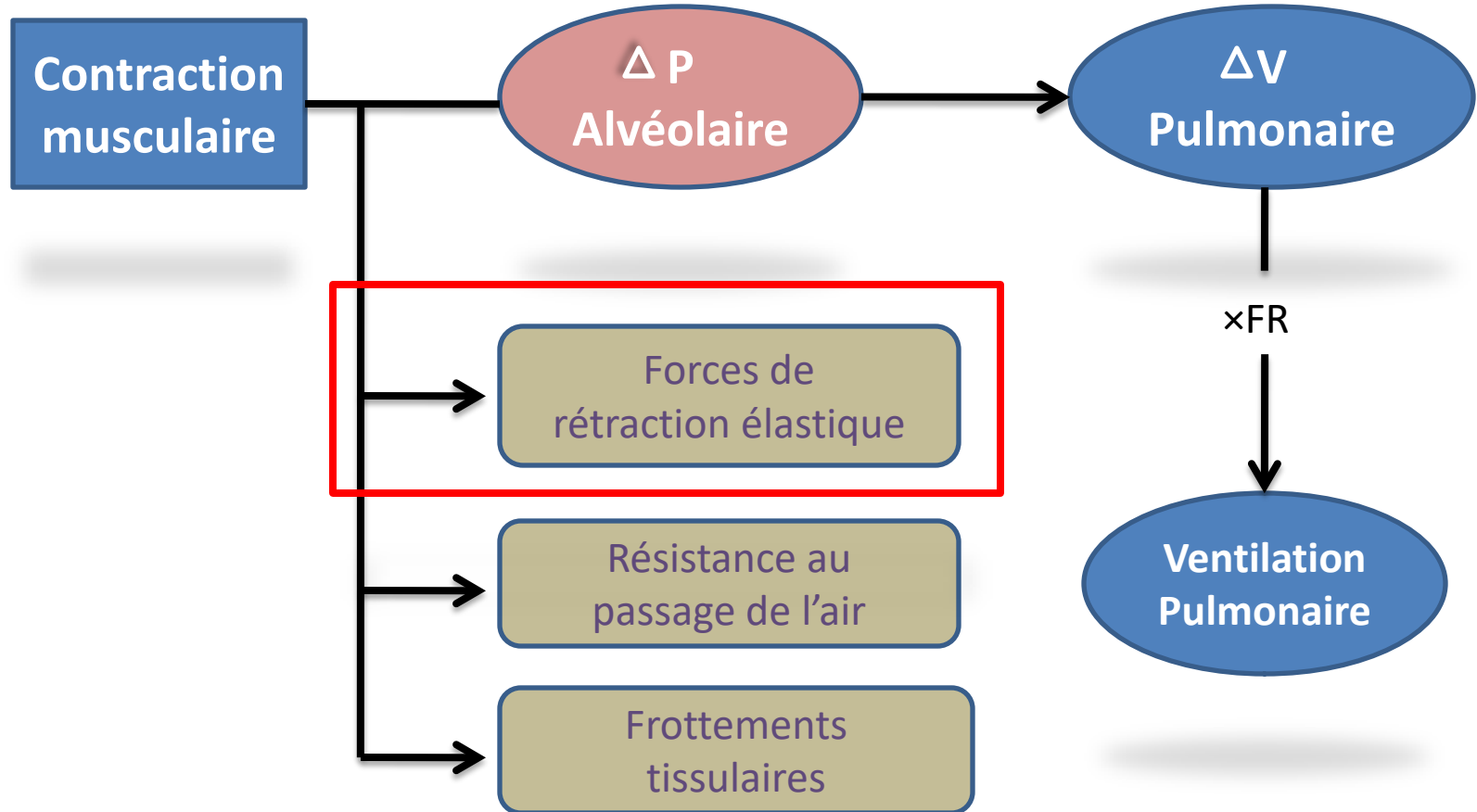
Mécanique Ventilatoire

Propriétés élastiques de l'appareil respiratoire

Ventilation pulmonaire : propriétés mécaniques



Ventilation pulmonaire : propriétés mécaniques



Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires

- **Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires**
 - Généralités
 - Elasticité thoracique
 - Elasticité pulmonaire
- **Compliance thoraco-pulmonaire**
 - Mesure
 - Analyse

Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires

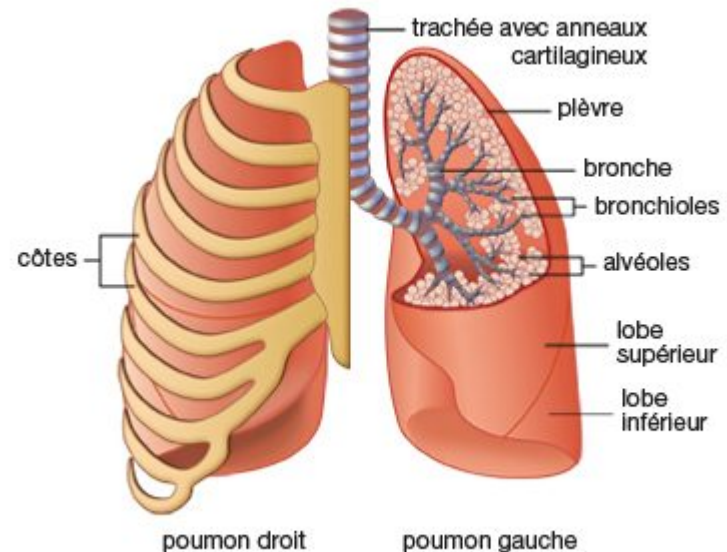
- **Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires**
 - Généralités
 - Elasticité thoracique
 - Elasticité pulmonaire
- Compliance thoraco-pulmonaire
 - Mesure
 - Analyse

Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires

- Le système poumon-cage thoracique est une structure *élastique*
- Lors de l'inspiration calme
 - les muscles inspiratoires doivent vaincre cette élasticité pour faire pénétrer l'air dans les poumons
- Lors d'une expiration calme
 - arrêt de la contraction des muscles inspiratoires
 - la force de rétraction élastique du poumon ramène le système à sa position de repos, *sans contraction musculaire expiratoire*

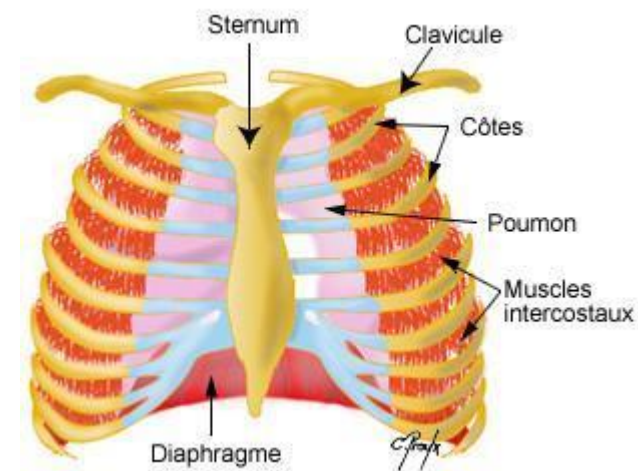
Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires

- Poumon et cage thoracique = 2 structures **élastiques** solidaires l'une de l'autre
- Contraction des muscles
étirement de la cage thoracique
poumon
- Étirement ou compression
élastique → pression qui ramène la
structure à son état initial
(ou de repos)



Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires

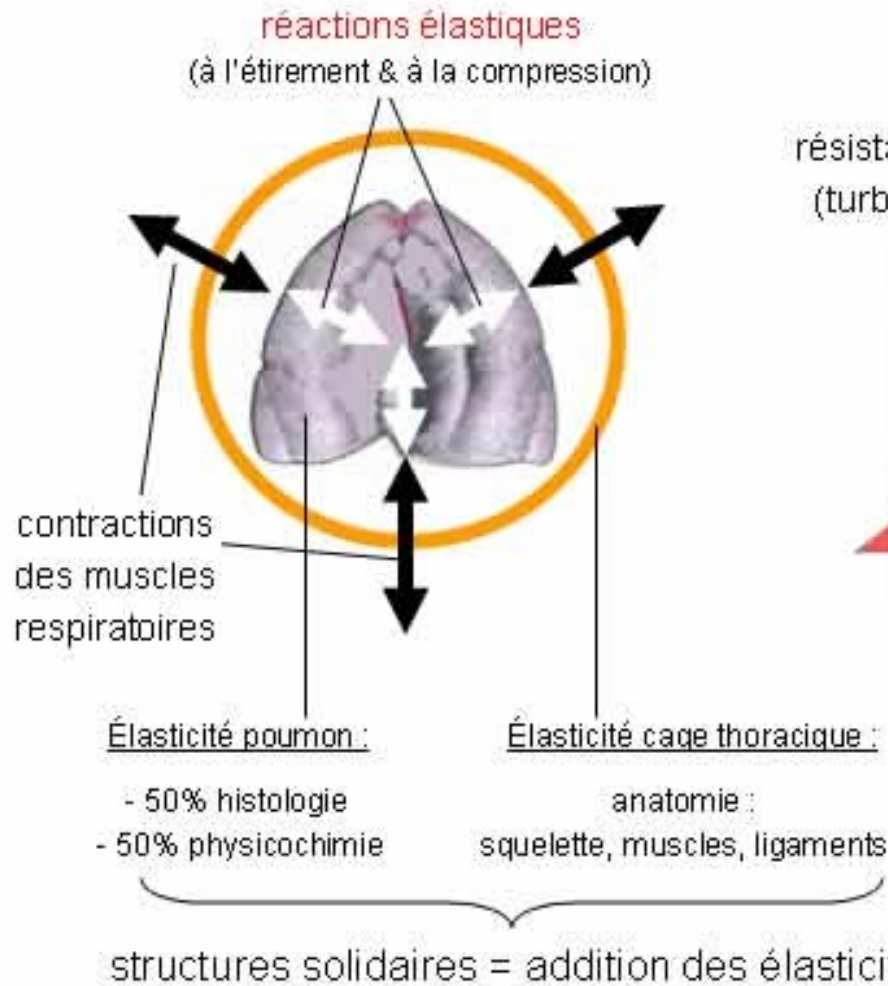
- Poumon et cage thoracique = 2 structures **élastiques** solidaires l'une de l'autre
- Contraction des muscles inspiratoires → étirement de la cage thoracique → étirement du poumon
- Étirement ou compression d'une structure élastique → pression qui tend à ramener la structure à son état initial (volume de relaxation ou de repos)



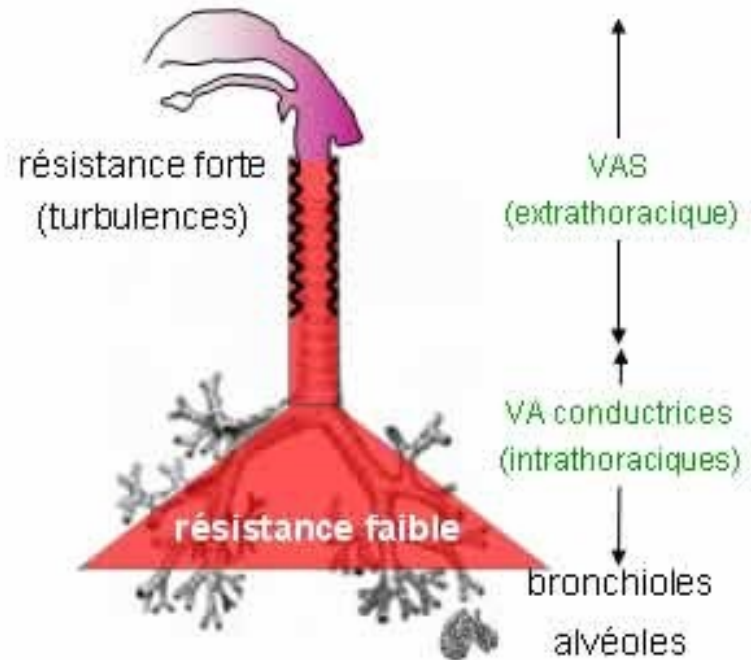
Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires

- Poumon et cage thoracique = 2 structures **élastiques** solidaires l'une de l'autre
- Contraction des muscles inspiratoires → étirement de la cage thoracique → étirement du poumon
- Étirement ou compression d'une structure élastique → pression qui tend à ramener la structure à son état initial (volume de relaxation ou de repos)

élasticité cage thoracique & poumon



écoulement de l'air



Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires

- A l'intérieur d'une structure élastique :
 - Le volume est directement proportionnel à la différence de pression de part et d'autre de la paroi
 - $\Delta P = \text{pression transmurale (P}_{\text{TM}})$ = pression de distension pariétale

La PTM : plus elle augmente, plus elle va distendre la structure

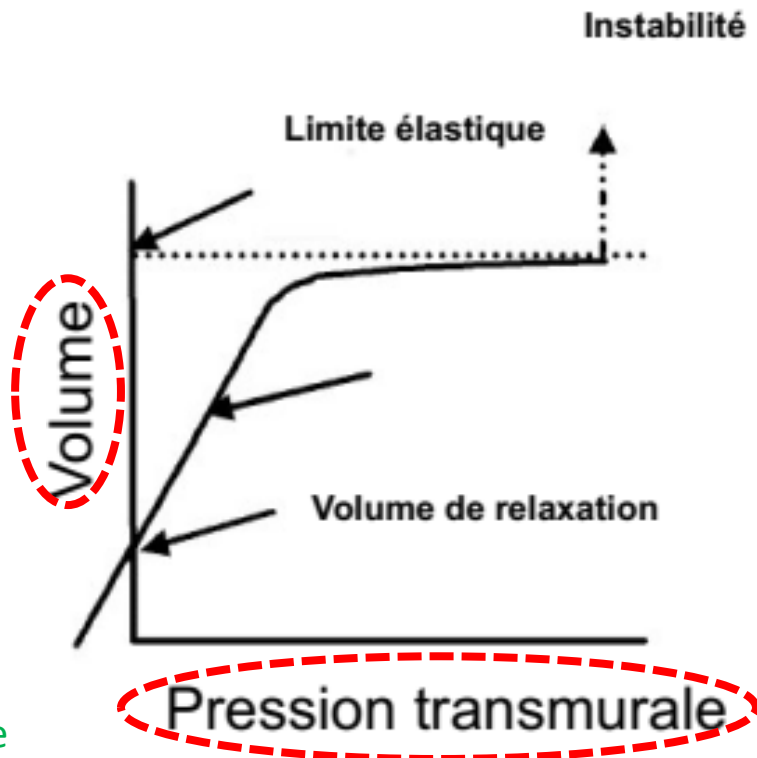
Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires

- Une structure élastique est caractérisée par la

**courbe pression
transmurale – volume**

- Structures biologiques :
volume de relaxation $\neq 0$

- ✓ Plus on augmente la P_{tm}, plus le V augmente jusqu'à atteindre une limite (limite élastique)
- ✓ Quand la structure a atteint cette limite élastique elle devient instable et peut se rompre),
- ✓ Et puis on arrive aussi lorsqu'il n'y a pas du tout de P_{tm} qui s'exerce sur la structure élastique au V de relaxation



Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires

- Plus on augmente la P_{tm}, plus le V augmente jusqu'à atteindre une limite (limite élastique)
- Quand la structure a atteint cette limite élastique ➡ (instable et peut se rompre) ,
- On arrive aussi lorsqu'il n'y a pas du tout de P_{tm} qui s'exerce sur la structure élastique au V de relaxation
- Dans les structures biologique ce V de relaxation n'est pas nul, « **quand le poumon est au repos son V n'est pas nul** »

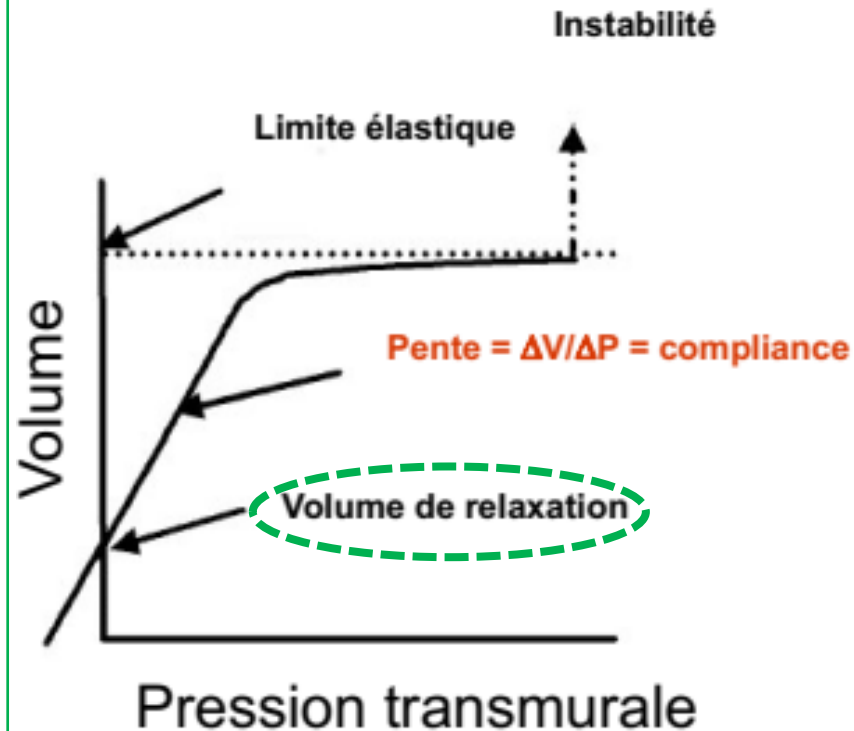
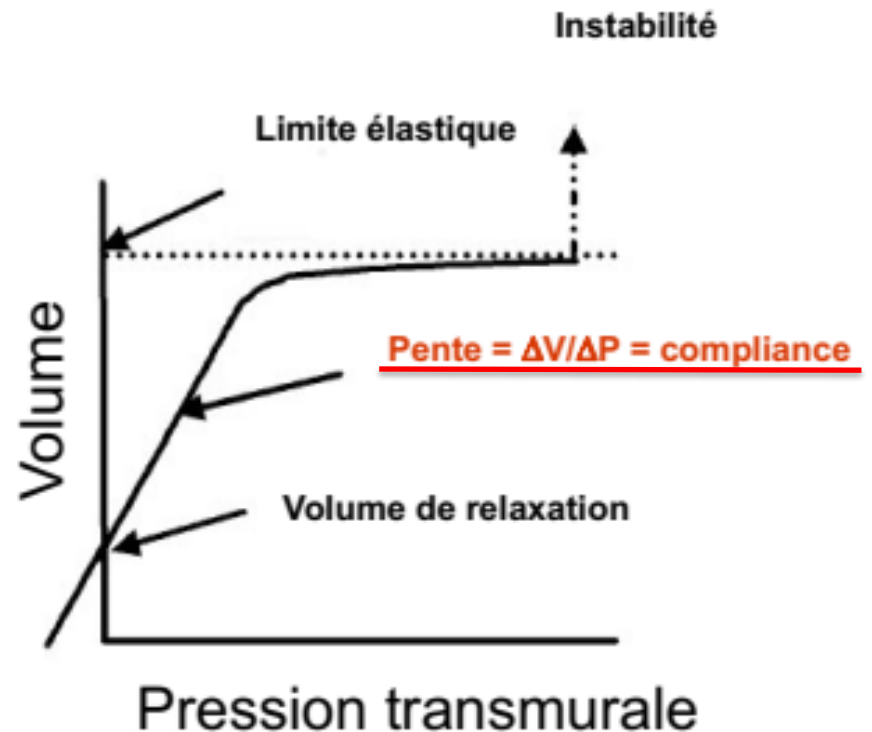


Schéma : variation de V en fonction des variation de P_{tm},

Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires

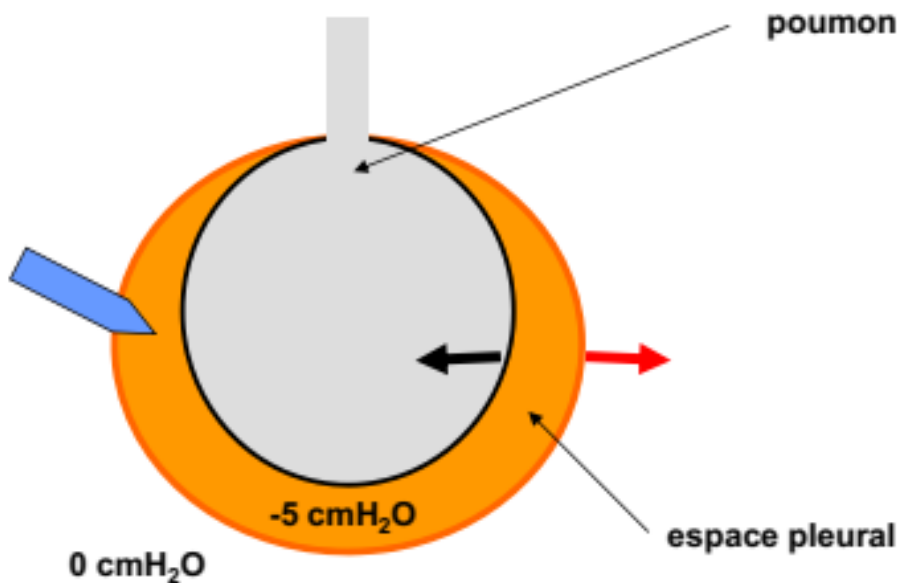
- Une structure élastique est caractérisée par la **courbe pression transmurale – volume**
- Structures biologiques: volume de relaxation $\neq 0$
- Pente de la courbe = **compliance**
→ **distensibilité de la structure**



Cela veut dire que pour une petite variation de P_{tm} on aura une augmentation de V conséquente

Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires

- Mise en évidence de l'élasticité thoraco-pulmonaire

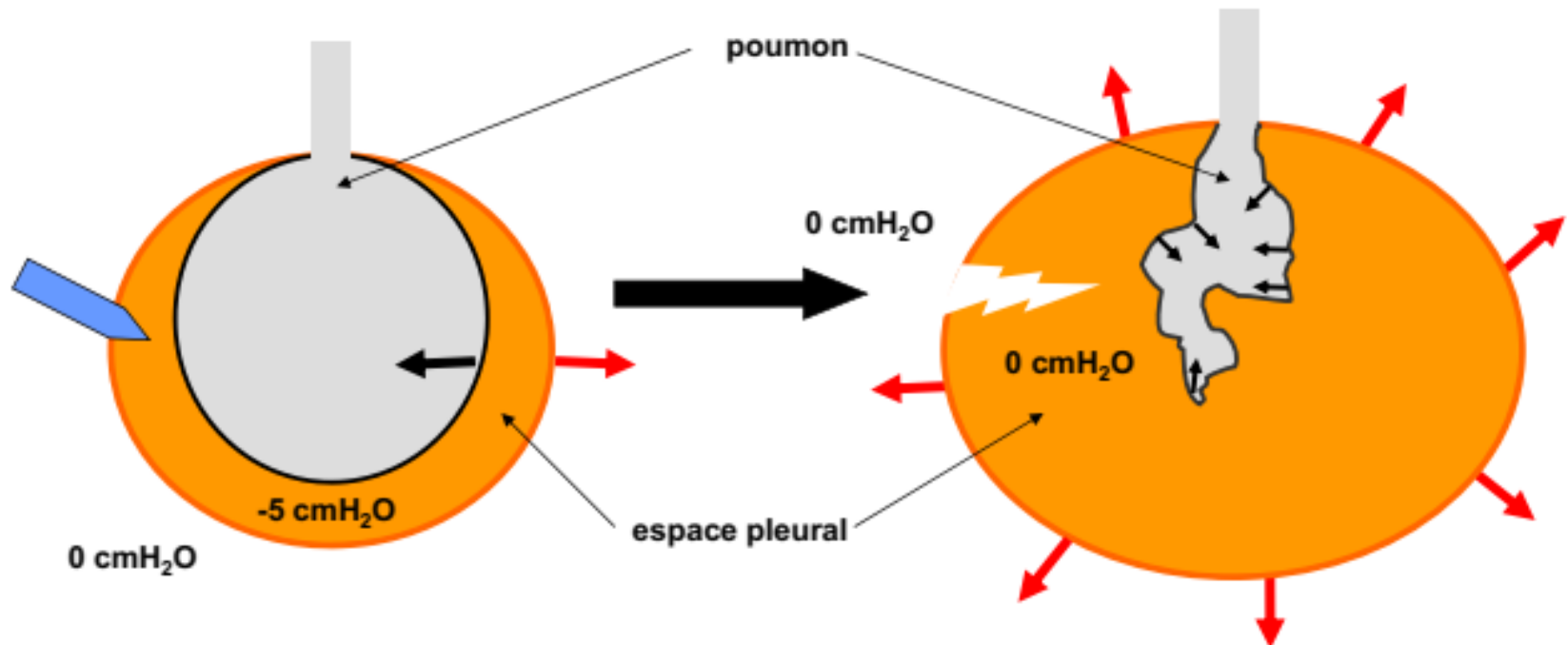


- En gris le poumon, en orange la cage thoracique avec entre les deux l'espace pleurale

- Au repos : a la CRF on a dans l'espace pleural une pression légèrement négative (-5cmH₂O)
- **D'un côté** le poumon va avoir tendance a se rétracter et va attirer la plèvre viscérale et donc la plèvre pariétale vers l'intérieur
- **A l'opposé** de manière équilibré la cage thoracique va avoir tendance a s'expandre et attiré le feuillet pariétale de la plèvre
- Mais l'ensemble est au repos car les deux pressions s'annulent.

Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires

- Mise en évidence de l'élasticité thoraco-pulmonaire



Chacune des 2 structures élastique va reprendre sa position de repos :

- **Le poumon** va avoir tendance à se ratatiner sur lui-même (il n'est plus maintenu par la force d'expansion de la cage thoracique); et
- **La cage thoracique** va avoir tendance à s'expandre (n'est plus retenue par l'attraction du poumon)

Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires



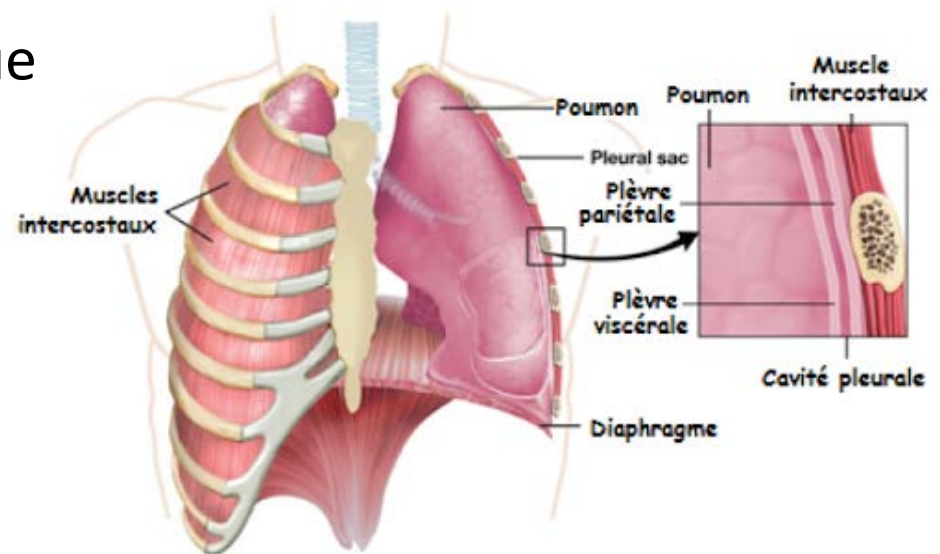
Pneumothorax droit



Après pose d'un drain

Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires

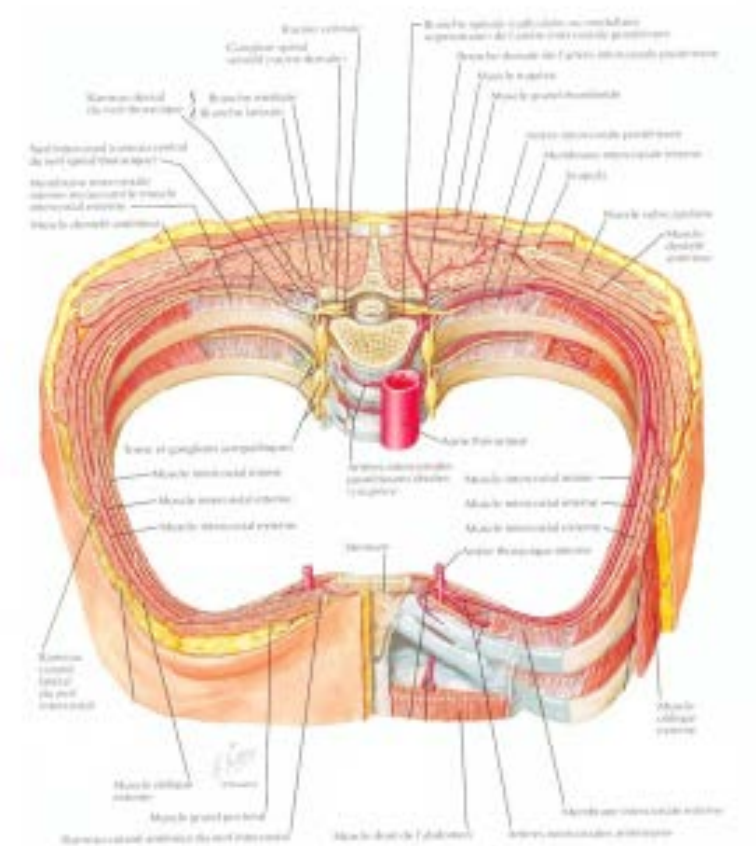
- Poumon et cage thoracique = 2 structures élastiques solidaires l'une de l'autre
- Elasticité de la cage thoracique
 - facteurs **anatomiques**
- Elasticité du poumon
 - facteurs **histologiques**
 - facteur **physicochimique**



Propriétés élastiques thoracique

- Propriétés élastiques de la cage thoracique liées à des facteurs **anatomiques**

- squelette ostéo-cartilagineux
- muscles
- ligaments

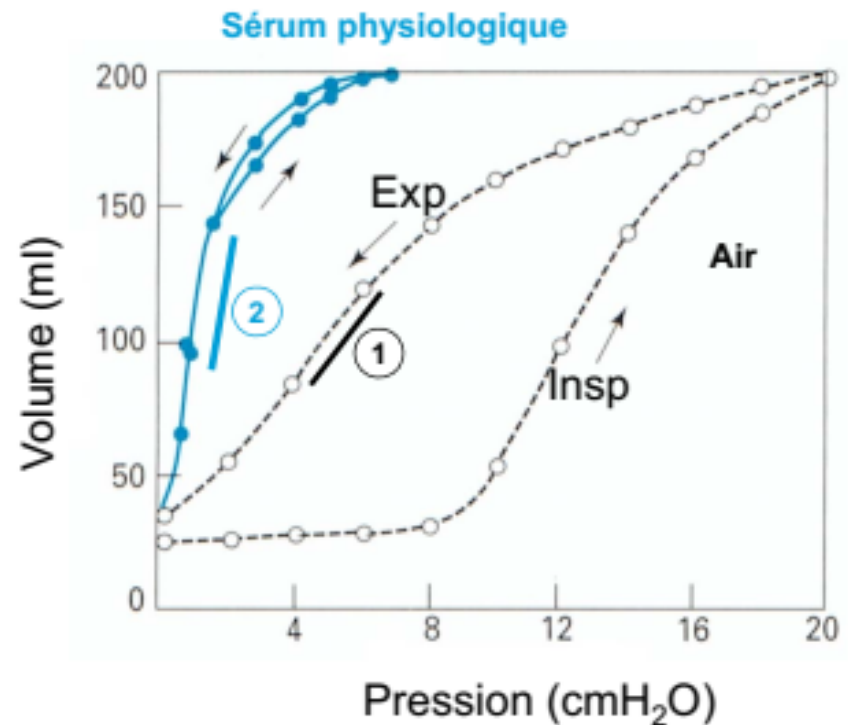


Propriétés élastiques pulmonaire

- Propriétés élastiques du poumon
 - **Facteurs histologiques**
 - Fibres élastiques et collagène de l'interstitium et de l'arbre bronchique
 - Structure alvéolaire/contenu liquidien
 - forces élastiques du **tissu pulmonaire** ($\approx 50\%$)
 - **Facteur physicochimique**
 - forces élastiques dues à la **tension superficielle** ($\approx 50\%$)

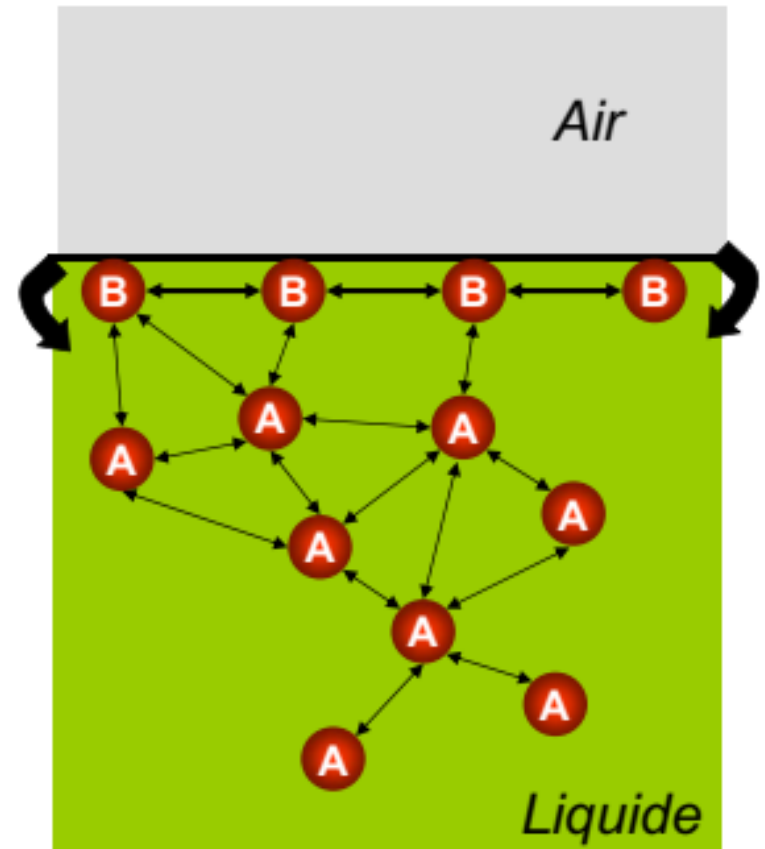
Propriétés élastiques pulmonaire

- Mise en évidence du rôle de la tension superficielle
 - Poumon isolé de chat
 - Distension du poumon avec air ou liquide
 - Compliance avec air (1) \ll Compliance avec liquide (2)



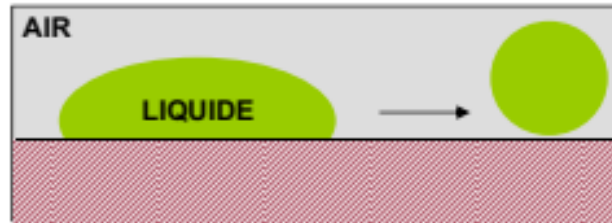
Propriétés élastiques pulmonaire

- Dans un liquide
 - les molécules (A) sont soumises à des forces d'attraction qui s'annulent
- A l'interface air/liquide
 - les molécules (B) sont attirées préférentiellement
 - les unes vers les autres
 - vers l'intérieur



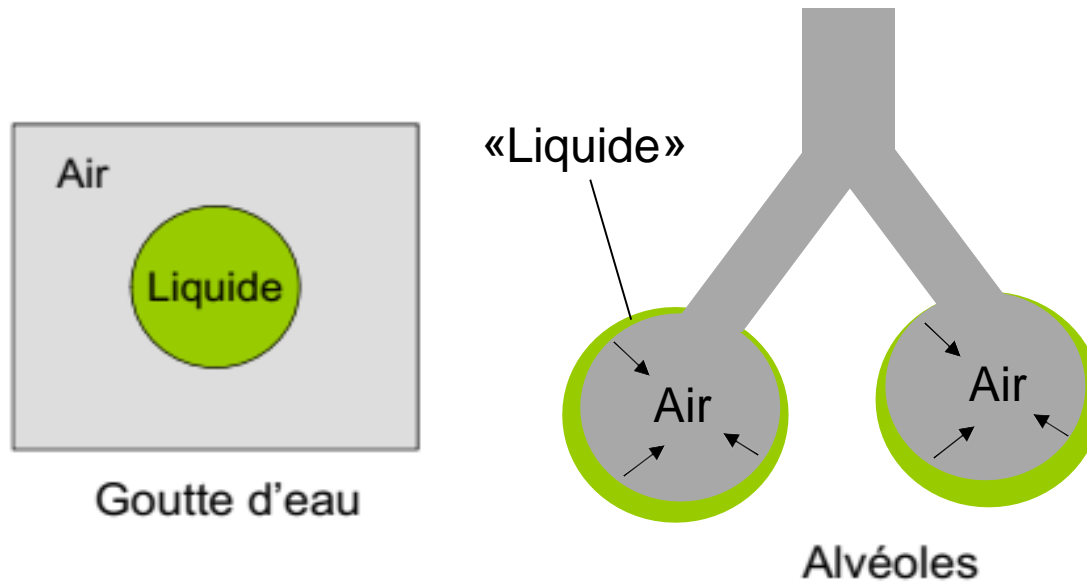
Propriétés élastiques pulmonaire

- Interface air/liquide → se rétracte pour atteindre une surface minimum



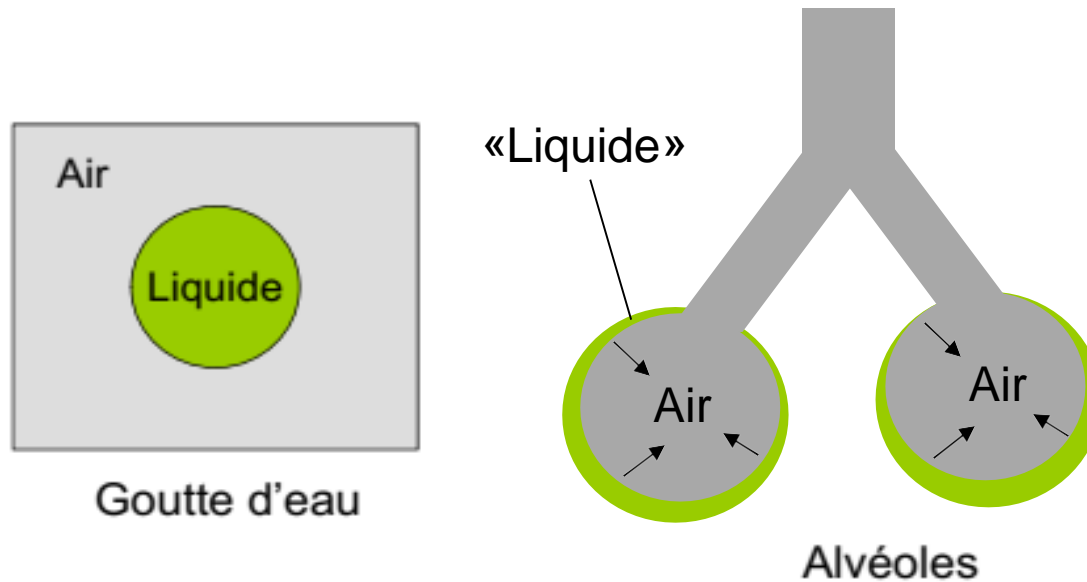
- **Tension superficielle** (T , dyn/cm) = **force superficielle de contraction d'un liquide grâce à laquelle la surface air/liquide tend à être la plus réduite possible**

Propriétés élastiques pulmonaire



La tension superficielle qui règne dans les alvéoles est élevée, avec une tendance très forte de ces alvéoles à essayer d'avoir la **surface d'interaction** avec le liquide la plus petite possible

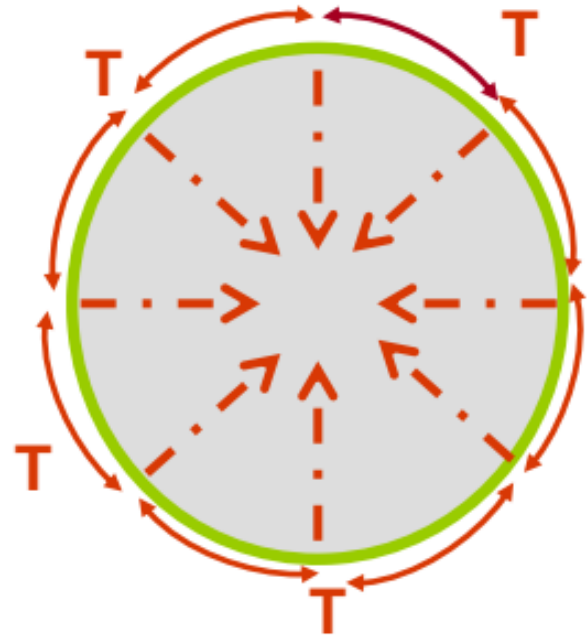
Propriétés élastiques pulmonaire



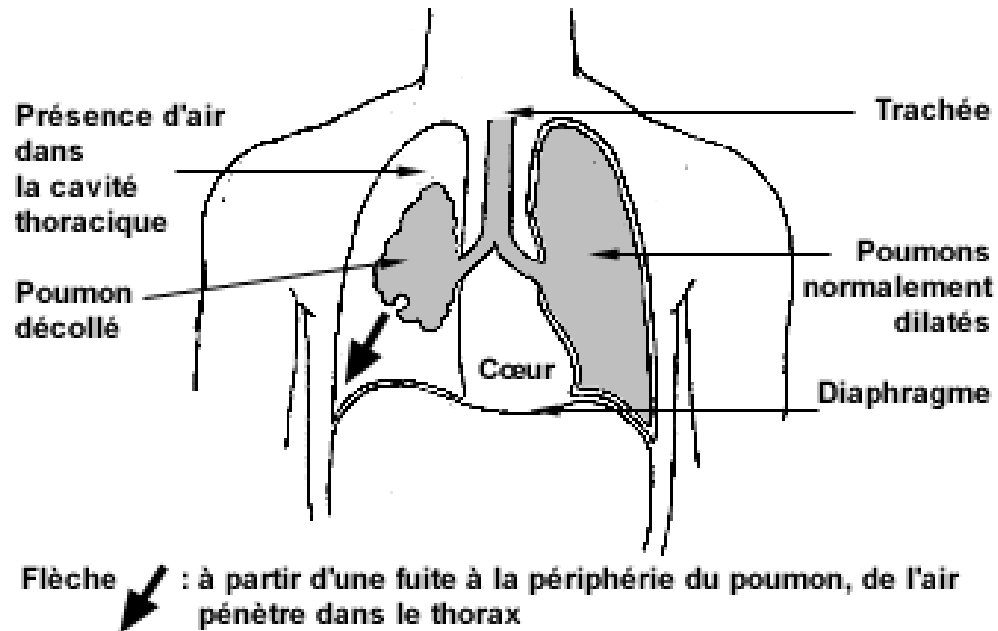
- Surface alvéolaire des pneumocytes recouverte d'un mince film aqueux en contact avec le gaz alvéolaire → interface air/liquide
- Tension superficielle élevée

Propriétés élastiques pulmonaire

- Tension superficielle d'une sphère
 - effet net de la tension superficielle sur la paroi \rightarrow collapsus de la sphère



Pneumothorax

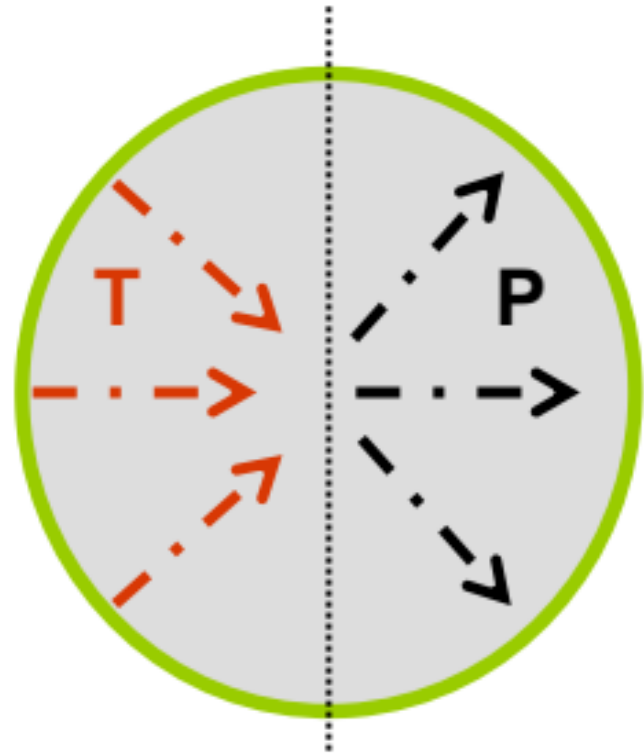


Propriétés élastiques pulmonaire

- Tension superficielle d'une sphère distensible.
 - Rayon r , Pression de distension P
 - Equilibre atteint lorsque:

$$P = 2 T / r$$

- Loi de Laplace



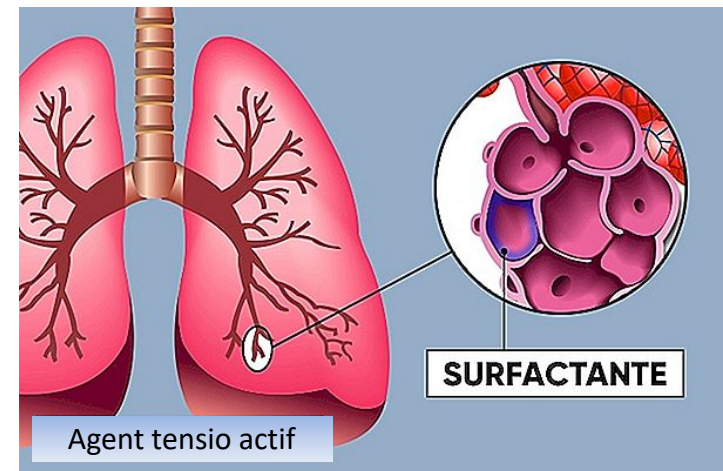
Si on se trouve dans une sphère élastique distensible on atteint l'équilibre si la pression qui règne dans la sphère $P = 2T/r$

En d'autres termes si la tension superficielle est équilibré par la pression de distension (le rayon entre en ligne de compte) on aura un équilibre et la structure gardera son intégrité (loi de la place)

Propriétés élastiques pulmonaire

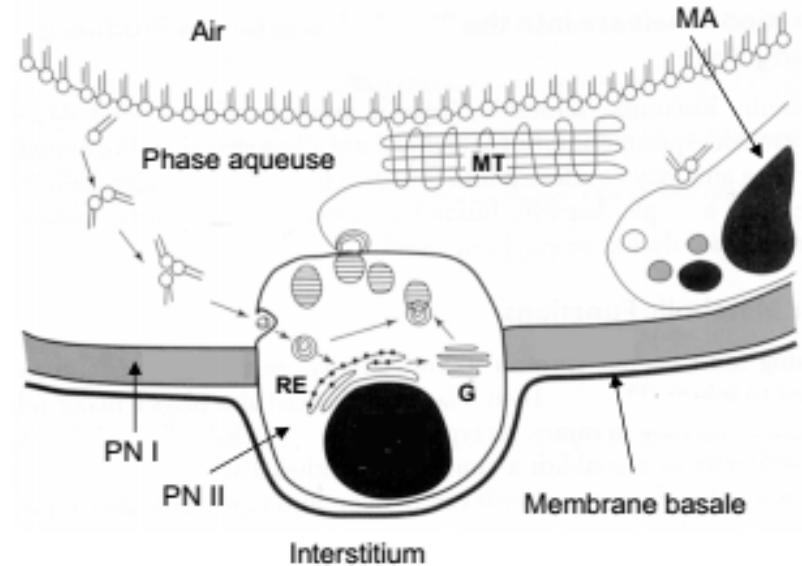
- Ajout d'un **agent tensio-actif** à l'interface air/liquide
 - ↓ tension superficielle
 - ↓ force de rétraction de la paroi
- Dans les alvéoles, agent tensio-actif = **surfactant**
= Lipoprotéine complexe
 - Phospholipides (DiPalmitoyl PhosphatidylCholine, DPPC)
 - Apoprotéines
 - Ions calcium

Lorsque les alvéoles sont tapissées de cet agent, la force de rétraction de la paroi va être très nettement diminué et va permettre d'équilibrer la sphère en question et d'empêcher son collapsus



Propriétés élastiques pulmonaire

- **Sécrétion**
 - par les PN II
 - à partir d'acides gras extraits du sang capillaire
 - en fin de grossesse
- **Demi-vie courte :**
 - phagocytose par macrophages alvéolaires et PN de type II
 - passage vers capillaires
- **Rôle physiologique principal :**
 - ↓ tension superficielle alvéolaire
donc ↑ la compliance pulmonaire
(Δ volume/ Δ pression)

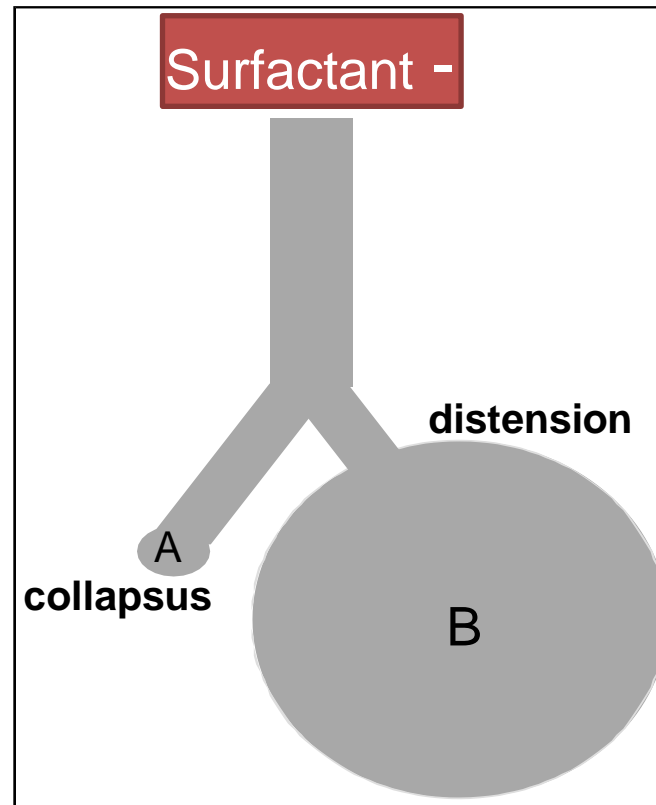
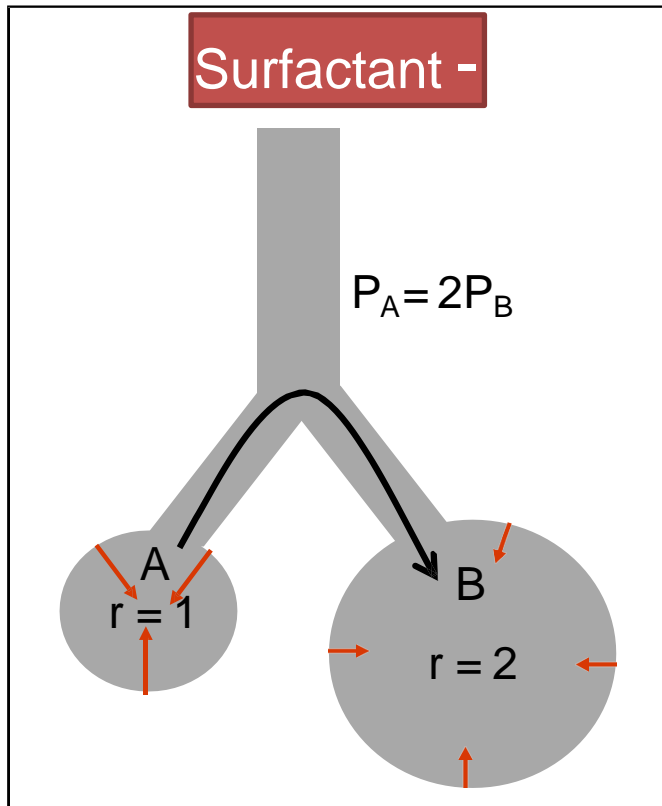


Propriétés élastiques pulmonaire

- **Propriétés tensio-actives du surfactant**
 - varient en fonction du rayon alvéolaire
(de l'épaisseur de la couche de surfactant)
 - de façon à ce que le rapport $2T/r$ (càd P) soit constant

Propriétés élastiques pulmonaire

Loi de Laplace: $P = 2T/r$

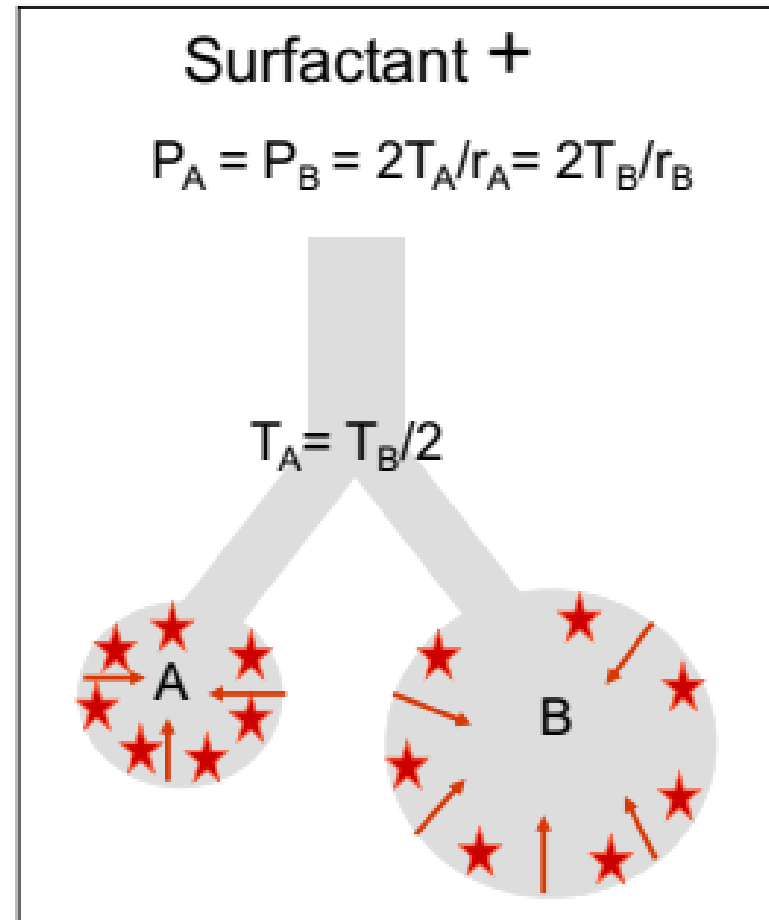
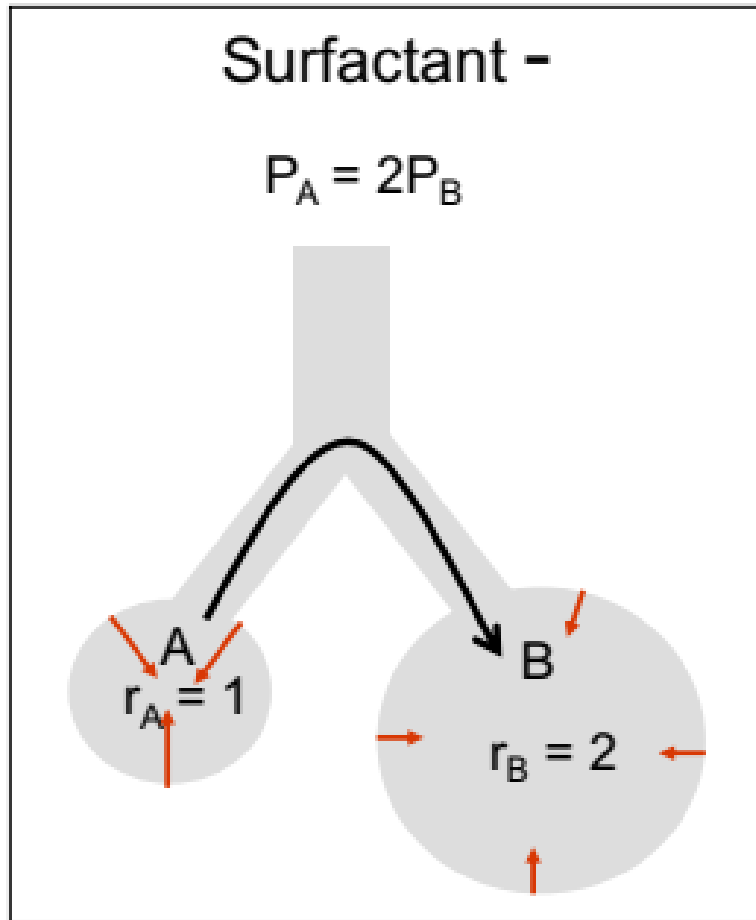


Si on a pas de surfactant la tension superficielle dans les alvéoles de petit rayon est très importante et la sphère alvéolaire va avoir tendance à se collaber, la P qui règne dans les alvéoles de type A va être sup à la P qui règne dans les alvéoles de type B ou la tension superficielle est moindre et les alvéoles vont se vider dans les alvéoles de type B

Sans surfactant, T est constante

Propriétés élastiques pulmonaire

Loi de Laplace: $P=2T/r$, mais **T varie en fonction de r**



Le surfactant abaisse plus la TS dans les petits alvéoles que dans les gros

Le surfactant va abaisser la tension superficielle de manière plus marquée dans les petits alvéoles que dans les gros de manière à équilibrer les P dans les deux types d'alvéoles de manière à les stabiliser

Propriétés élastiques pulmonaire

- En présence de surfactant, la tension superficielle est
 - élevée à hauts volumes pulmonaires
 - augmente la pression de rétraction élastique du poumon
 - basse à bas volumes pulmonaires
 - stabilise les alvéoles, empêche leur collapsus

Propriétés élastiques pulmonaire

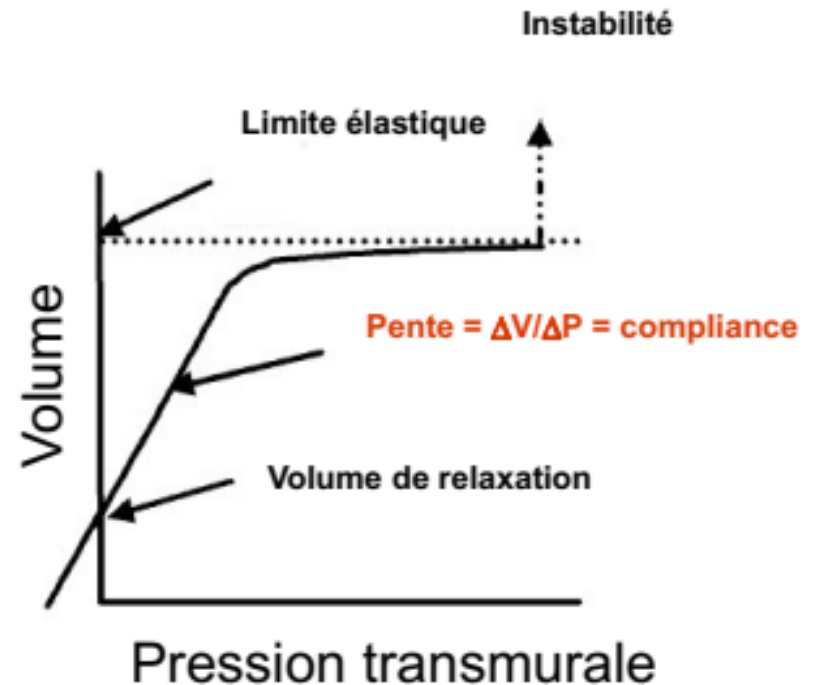
- Déficit en surfactant : détresse respiratoire du prématuré
 - PN II vers 22 SA, surfactant adéquat vers 36 SA
 - Déficit en surfactant responsable de
 - collapsus/distension alvéolaires → mauvaise ventilation pulmonaire
 - diminution de la compliance pulmonaire → travail respiratoire ↑

Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires

- **Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires**
 - Généralités
 - Elasticité thoracique
 - Elasticité pulmonaire
- **Compliance thoraco-pulmonaire**
 - Mesure
 - Analyse

Mesure de la compliance thoracopulmonaire

- Système respiratoire
 - Volume impliqué
 - volume pulmonaire
 - Pressions impliquées
 - P atmosphérique (Patm)
 - P alvéolaire (Palv)
 - P pleurale (Ppl)
- Volume directement proportionnel à la différence de pression de part et d'autre de la paroi = pression transmurale (PTM)



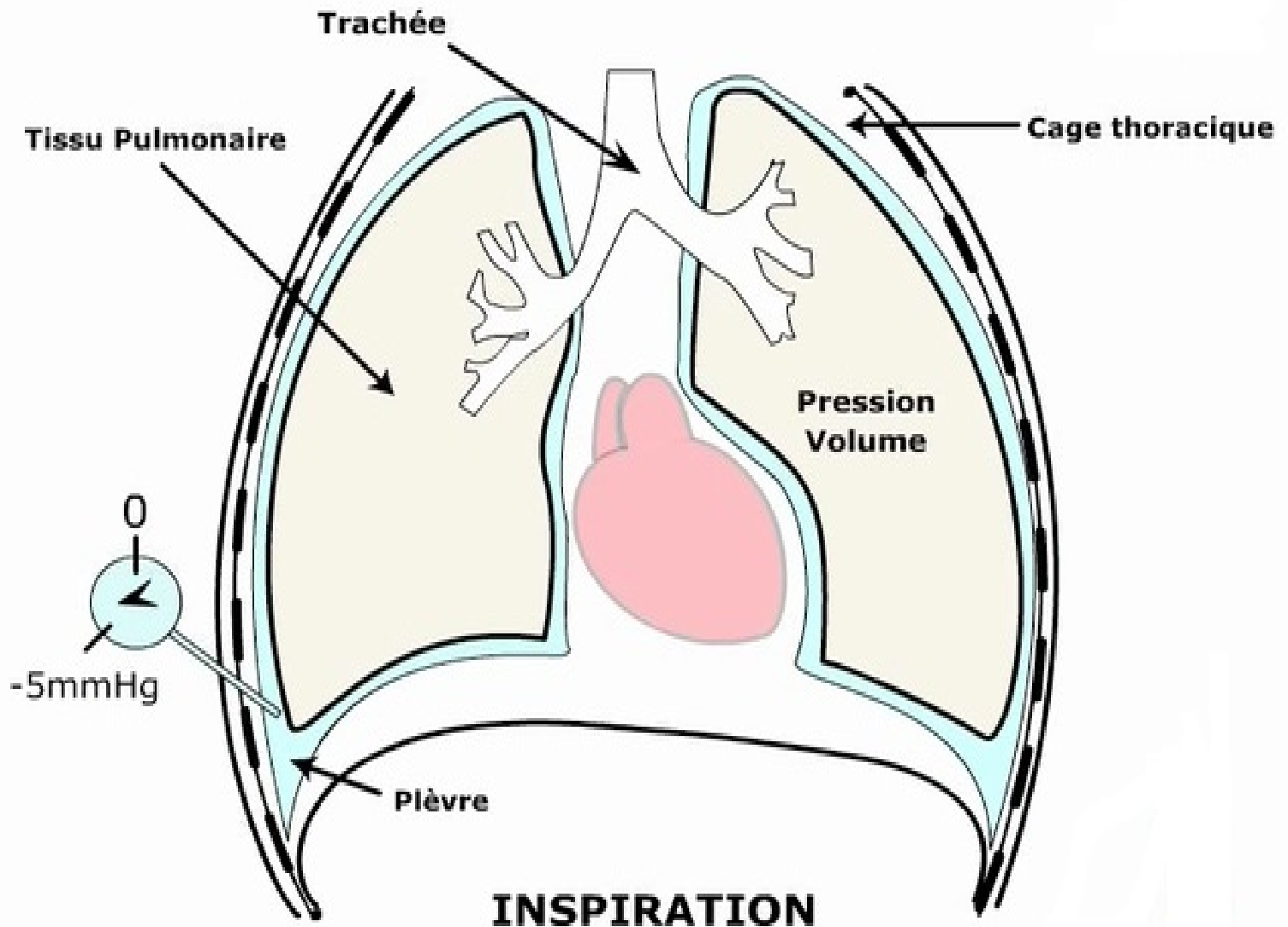
Mesure de la compliance thoracopulmonaire

- **La compliance pulmonaire** : capacité du poumon à modifier son volume en réponse à une variation de pression.
- **Elle peut s'exprimer en L/Pa, ml/mmHg, ml/cmH₂O.**
- **C'est l'inverse de l'élastance.**
- **Elle caractérise la distensibilité** : la compliance est d'autant plus haute que la pression nécessaire pour amener le poumon à un volume donné est modérée, selon la formule :

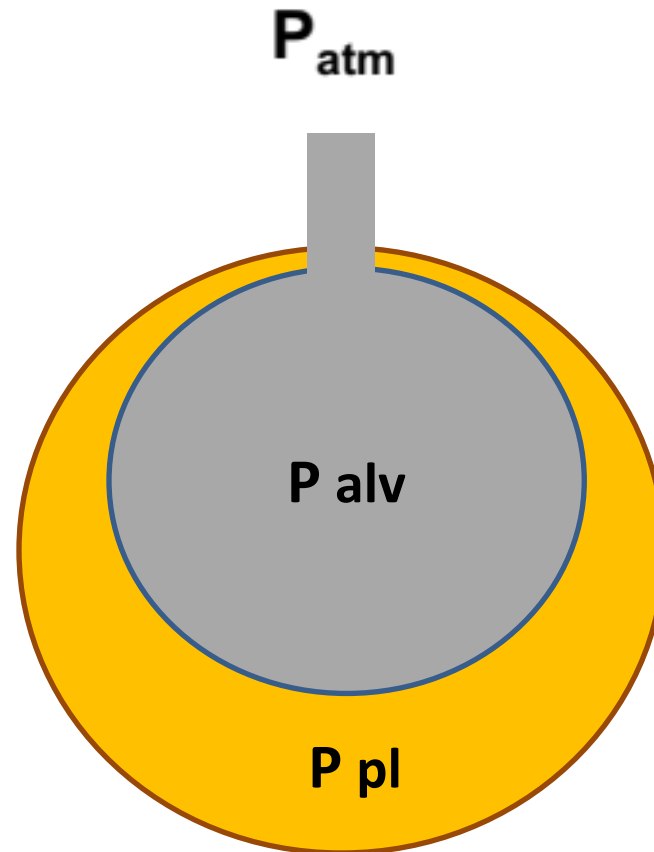
$$C = \Delta V / \Delta P$$

- La compliance pulmonaire **n'est pas constante** mais varie selon une courbe à double point d'inflexion.
- Elle est faible lorsque le poumon est peu « gonflé » (atélectasie), grande lorsque le poumon est « normalement » gonflé, et de nouveau faible lorsque le poumon est surdistendu.
- La diminution de la compliance pulmonaire signifie qu'il faudra exercer une différence de pression plus élevée pour développer le même volume courant qu'en cas de compliance normale.
- La diminution de la compliance provoque une augmentation du travail ventilatoire que le patient va essayer de compenser en diminuant son volume courant et en augmentant sa fréquence respiratoire

Le système thoraco-pulmonaire

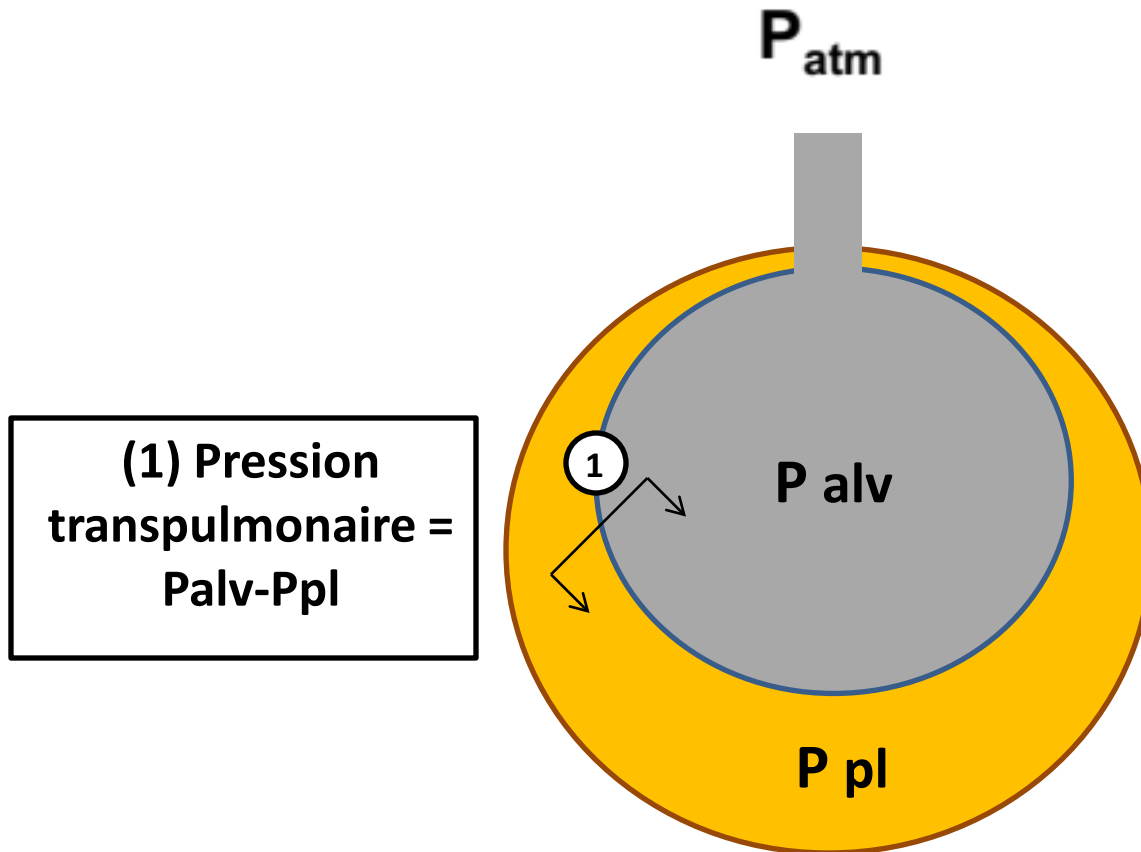


Mesure de la compliance thoraco-pulmonaire

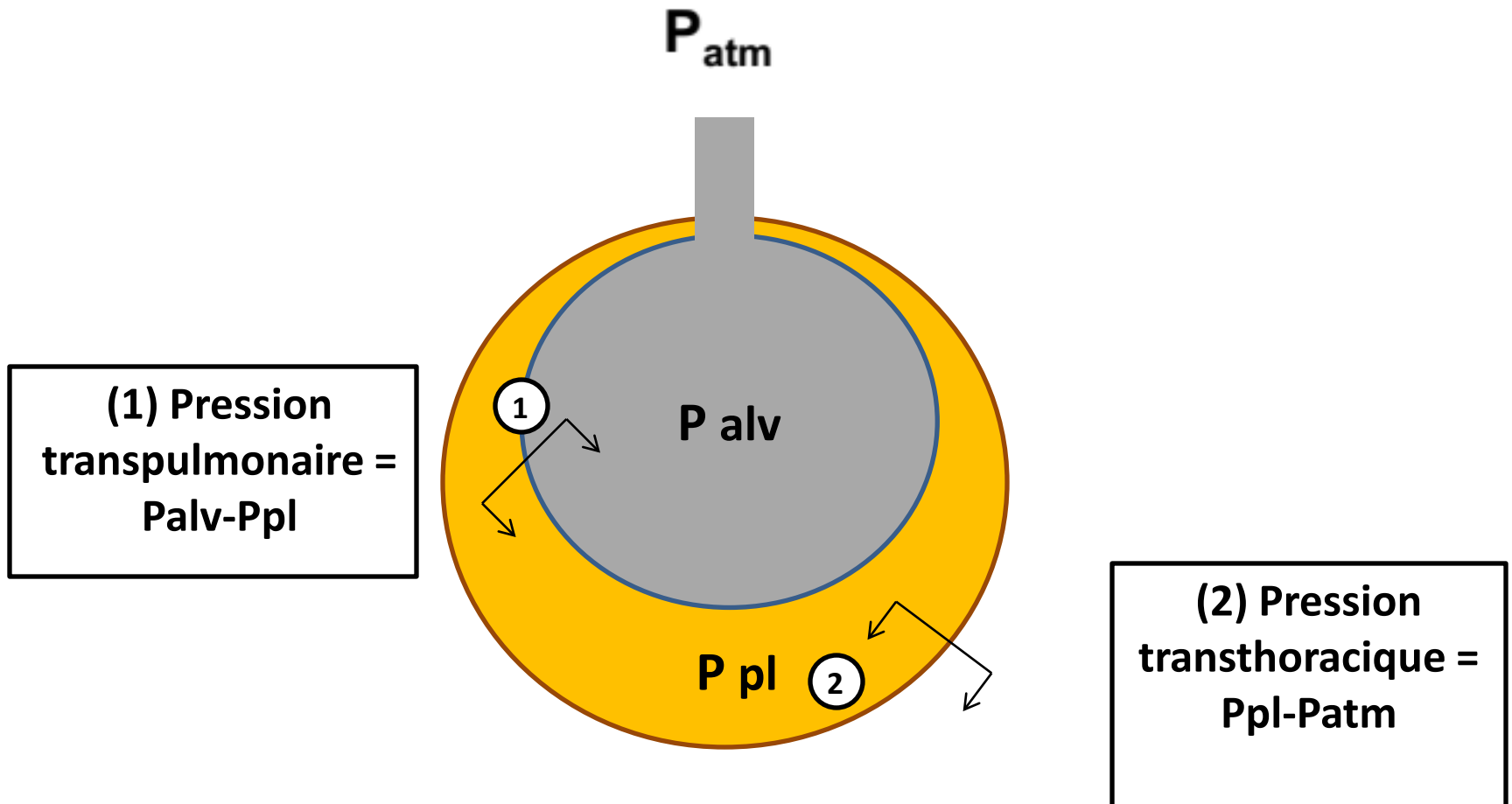


P transmuraux dans le
système thoraco-pul, on a :
La P_{atm} , la P_{alv} , et la P_{pl}

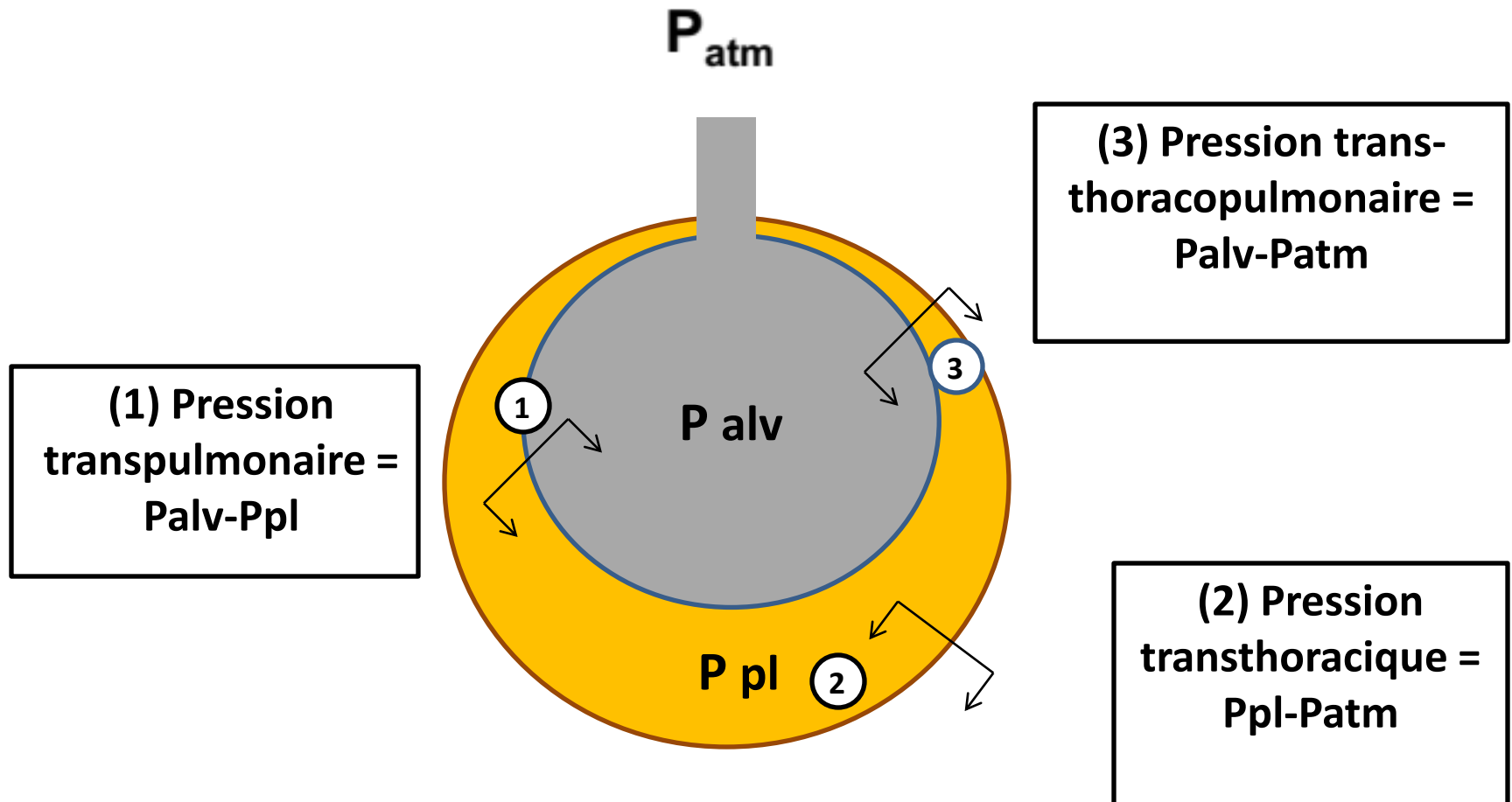
Mesure de la compliance thoraco-pulmonaire



Mesure de la compliance thoraco-pulmonaire

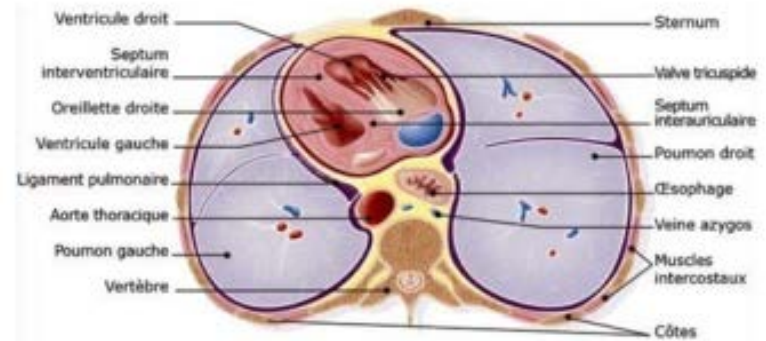


Mesure de la compliance thoraco-pulmonaire



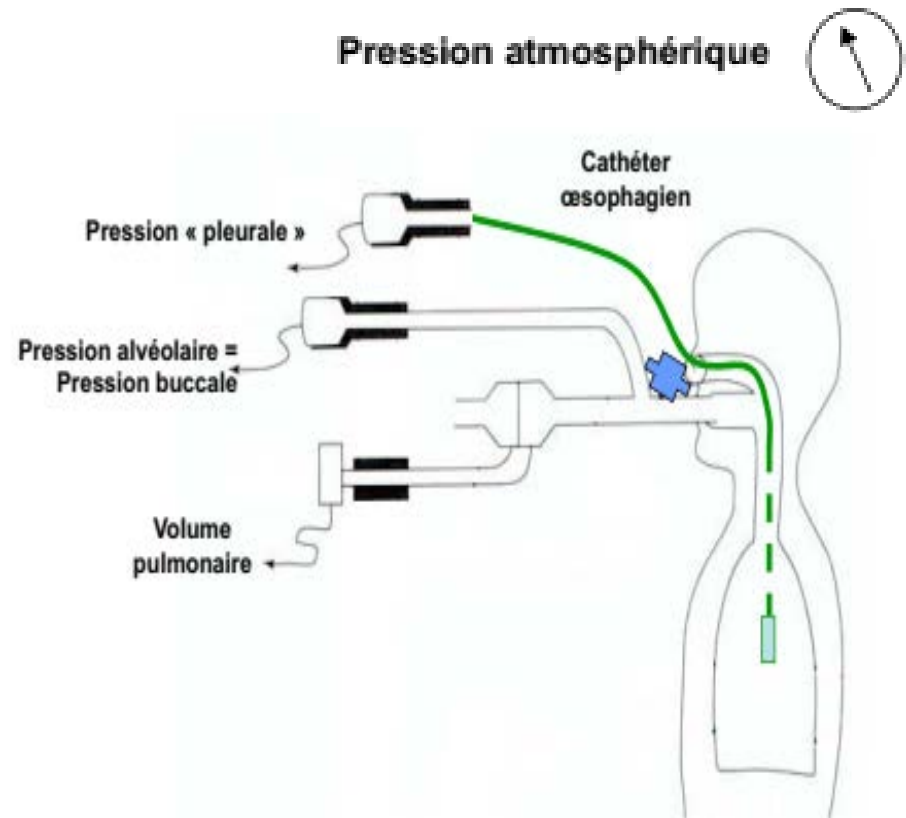
Mesure de la compliance thoracopulmonaire

- Variations de pression pleurale
→ variations de pression intra- œsophagienne
- $P_{ES} \sim P_{PL}$



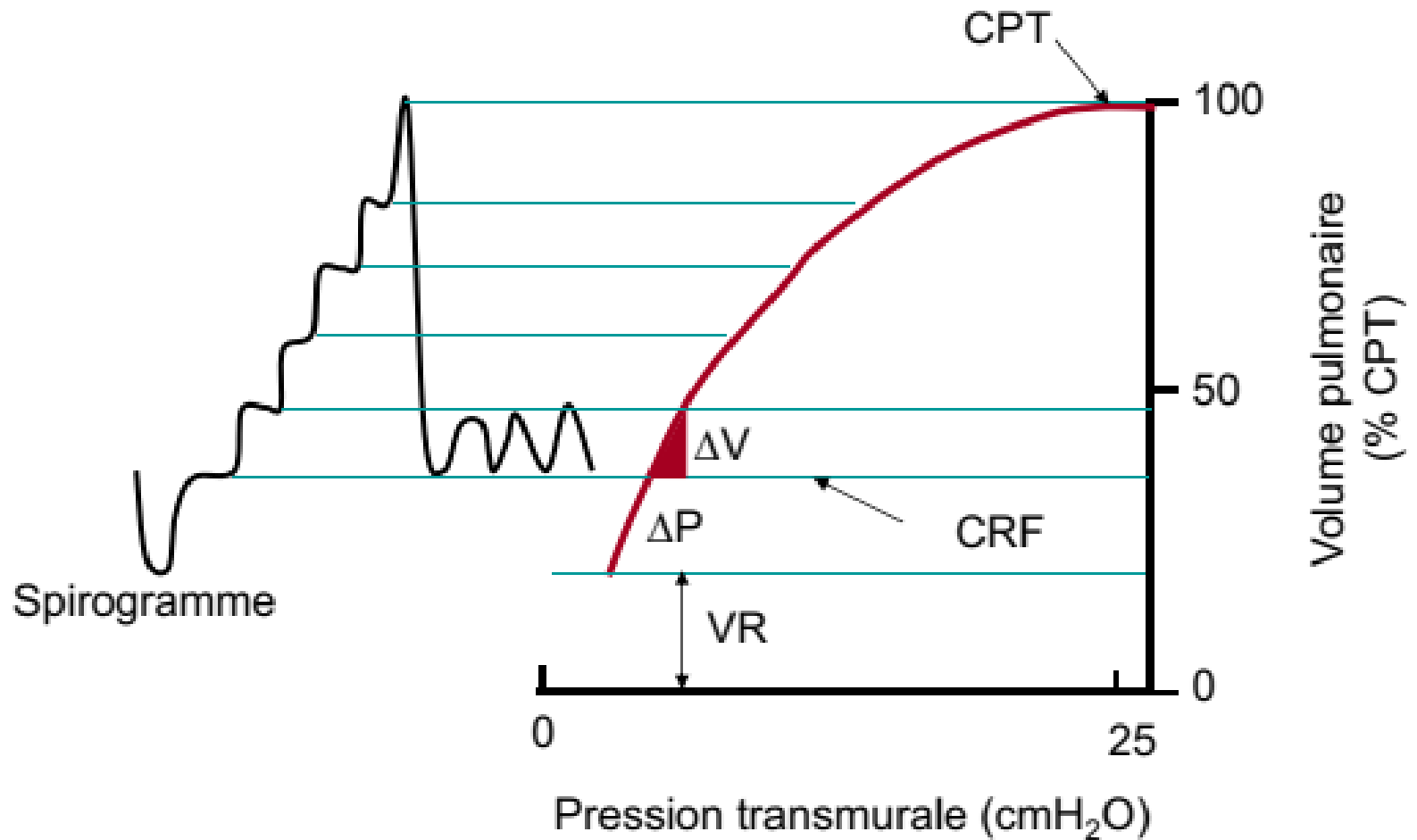
Mesure de la compliance thoraco-pulmonaire

- On fait avaler au sujet un cathéter de P pl
- On mesure la P a la bouche, lorsque le sujet ne respire pas les P s'égalisent tout au long de l'arbre bronchique et la P alv est identique a la P buccale
- On mesure par ailleurs le volume pulmonaire et on demande au sujet de vider complètement ses poumons, de se mettre au VR et d'augmenter progressivement son volume pulmonaire a chaque fois en faisant un petit palier d'apnée donc on lui demande d'augmenter le volume du VR jusqu'à la CPT
- A chaque palier on mesure la P buccale qui puisque le sujet arrête de respirer est égale a la P alv



- **Variations du volume pulmonaire par paliers, du VR à la CPT**
- **A chaque palier, courte apnée (→ PBO = Palv)**

Mesure de la compliance thoraco-pulmonaire

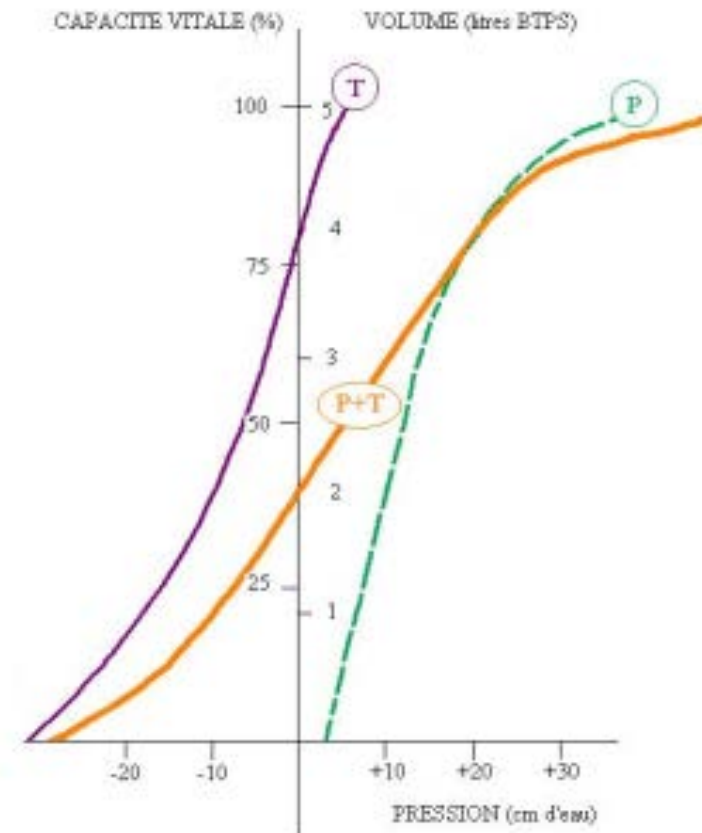


Mesure de la compliance thoraco-pulmonaire

- A chaque palier de volume, on mesure : V , P_{pl} , P_{alv}

↳ on calcule la courbe pression-volume

- du poumon (P)
- du thorax (T)
- du système (P+T)



P transthoracique
($P_{pl} - P_{atm}$)

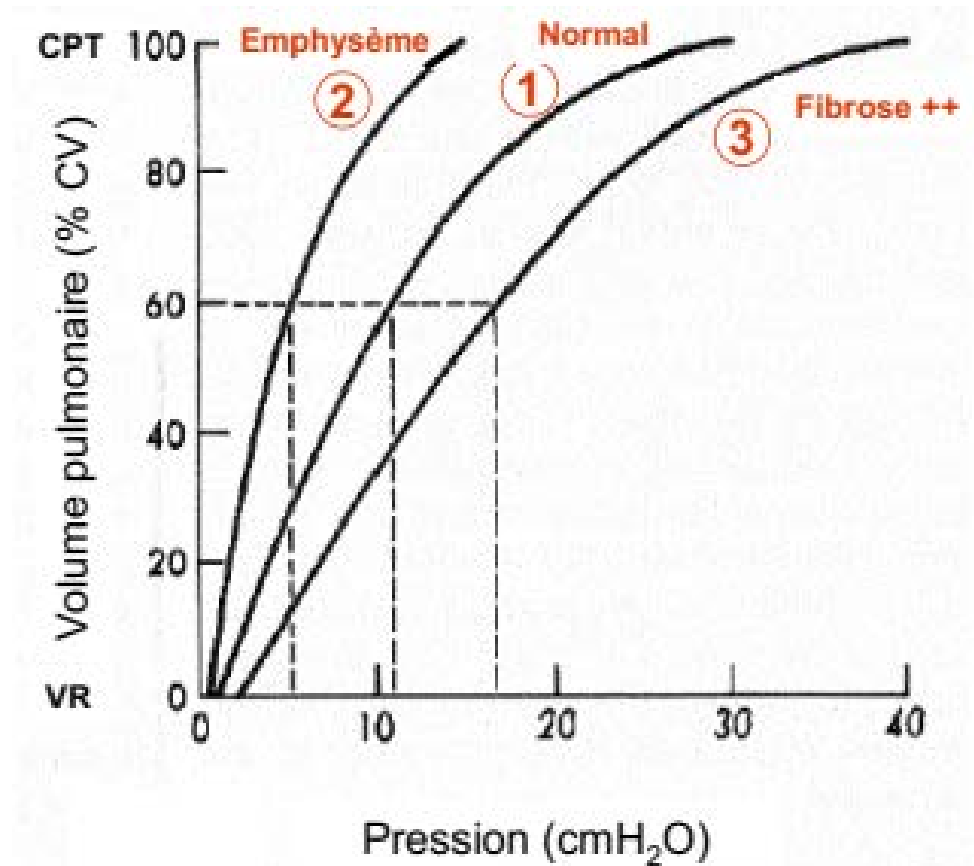
P transpulmonaire
($P_{alv} - P_{pl}$)

P transthoracopulmonaire
($P_{alv} - P_{atm}$)

Analyse de la compliance thoraco-pulmonaire

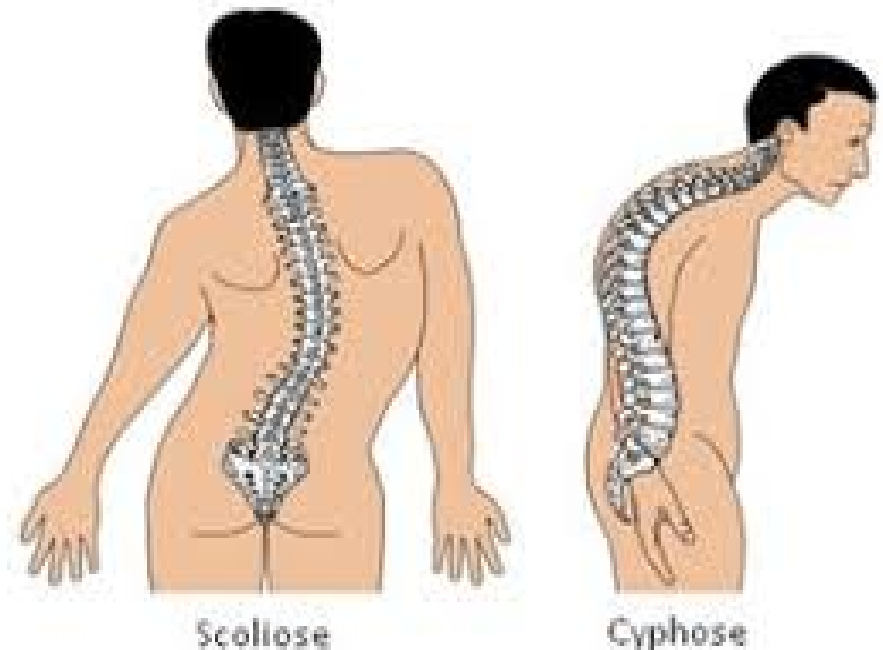
- **Compliance pulmonaire :**

- ✓ 1. Sujet **normal**:
200 ml/cmH₂O
(2,5 cmH₂O pour mobiliser
un VT de 500 ml)
- ✓ 2. Sujet atteint d'un
emphysème: 300 ml/cmH₂O
(1,7 cmH₂O pour mobiliser
un VT de 500 ml)
- ✓ 3. Sujet atteint d'une **fibrose**
pulmonaire sévère:
10ml/cmH₂O (50 cmH₂O pour
mobiliser un VT de 500 ml)

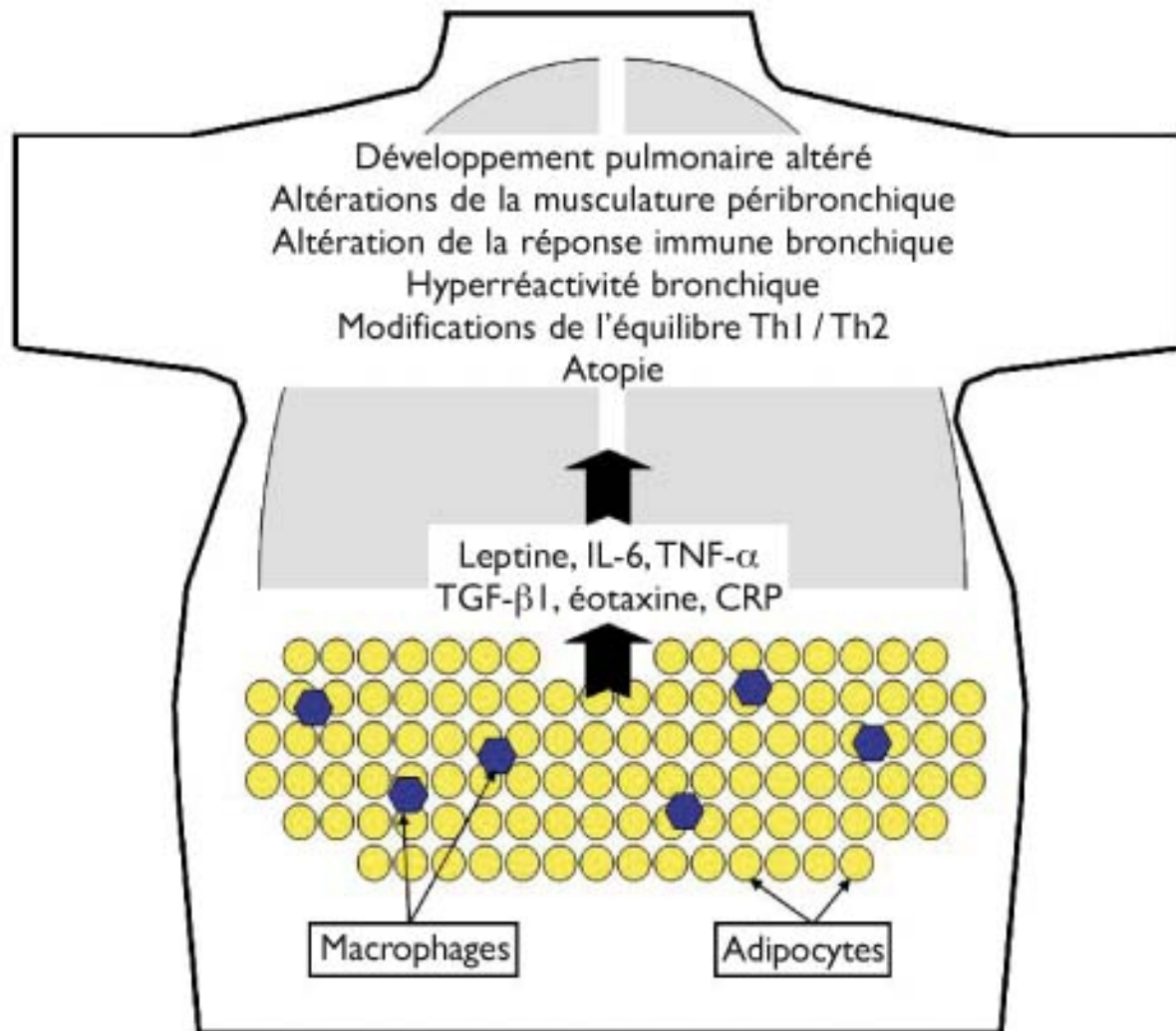
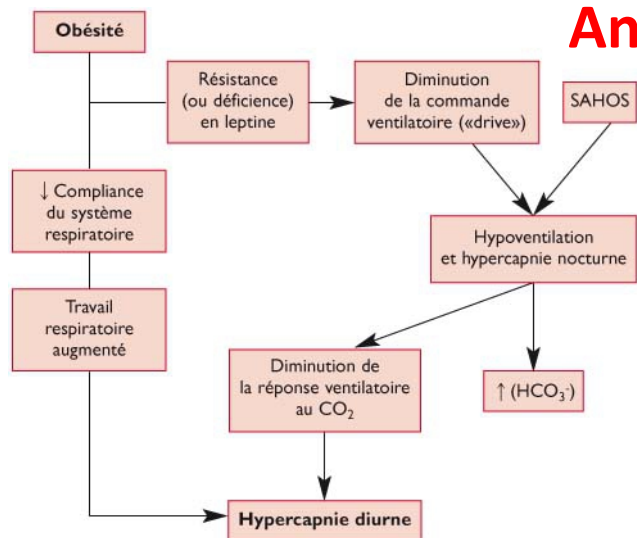


Analyse de la compliance thoraco-pulmonaire

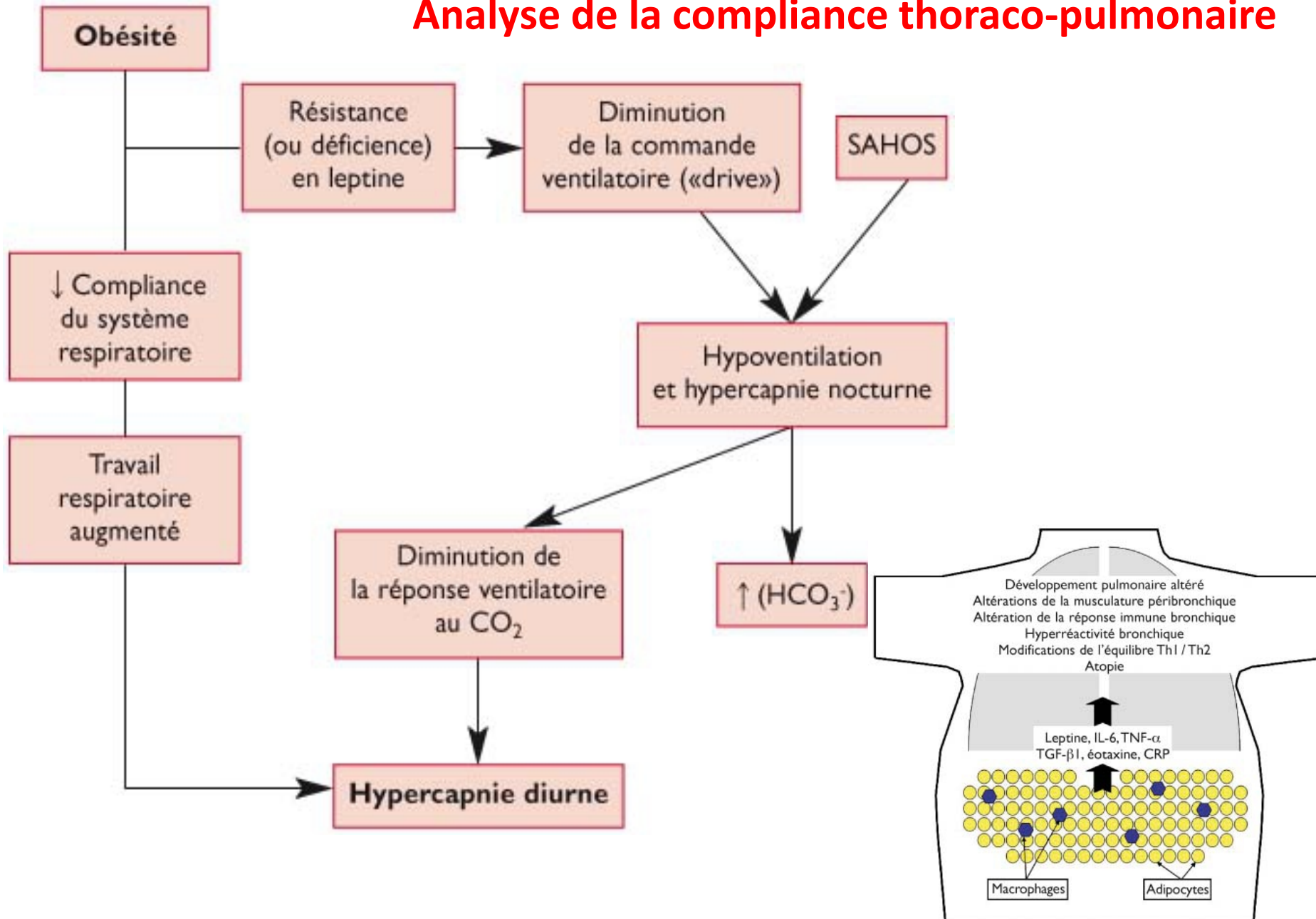
- Compliance thoracique :
 - Volume de relaxation du thorax = 60% de la CV
 - Diminuée dans plusieurs pathologies (cypho-scoliose, atteinte des muscles respiratoires, obésité, etc...)



Analyse de la compliance thoraco-pulmonaire



Analyse de la compliance thoraco-pulmonaire



Analyse de la compliance thoraco-pulmonaire

- Compliance thoraco-pulmonaire
 - volume de relaxation du système thoraco-pulmonaire
= CRF
 - affectée par modification de chacune des courbes

Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires

- L'élasticité pulmonaire permet l'expiration calme en ramenant passivement le système thoraco-pulmonaire à sa position de repos (CRF)
- Une partie de l'activité musculaire respiratoire est utilisée pour vaincre l'élasticité thoraco-pulmonaire à l'inspiration
 - Pour une activité musculaire (ΔP) donnée
 - ΔV obtenu (= VT) sera d'autant plus grande que la compliance thoracopulmonaire sera élevée
 - Pour un VT (ΔV) donné
 - l'activité musculaire sera d'autant plus importante que la compliance thoracopulmonaire sera basse

Propriétés élastiques thoraco-pulmonaires

- Les propriétés élastiques s'étudient généralement en état statique (absence de débit aérien)
- La ventilation étant un phénomène dynamique, il faut aussi étudier les phénomènes de résistance au passage de l'air : **propriétés résistives de l'appareil respiratoire**