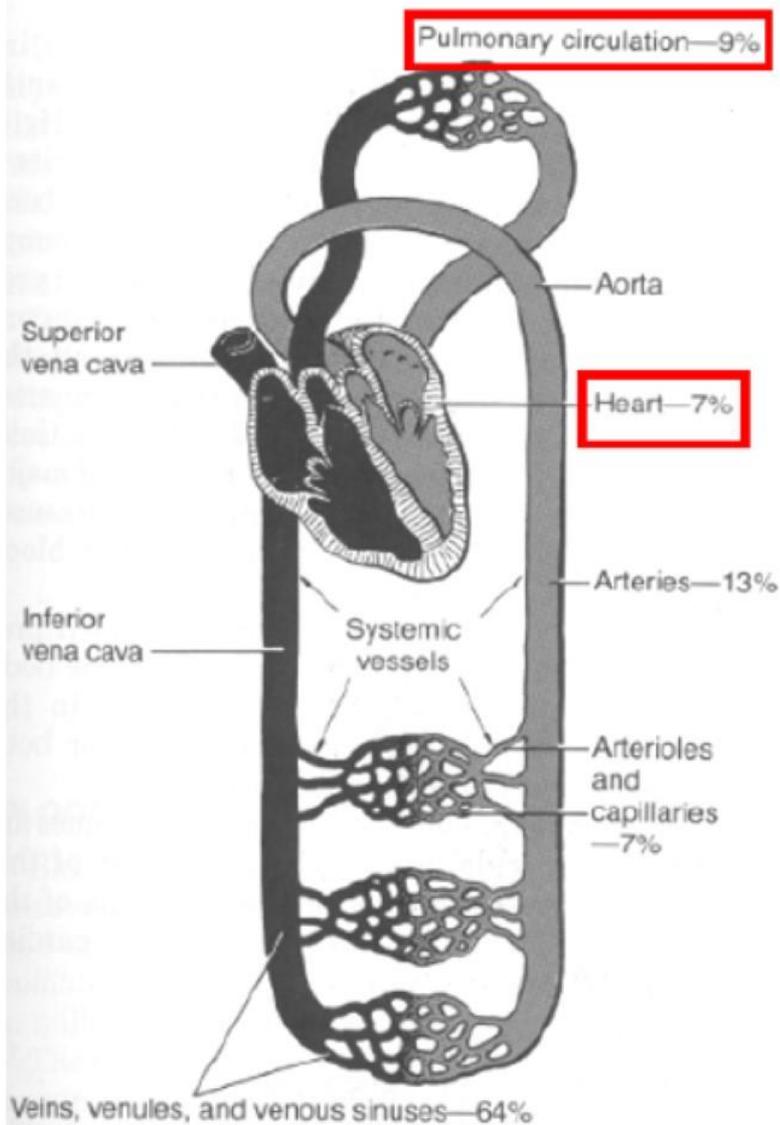


# Conséquences hémodynamiques de la ventilation mécanique

Dr Merhabene Takoua

H,R, Zaghouan

Journée de collège de réanimation le 09/03/2023



Circulation pulmonaire = réserve de remplissage du cœur gauche

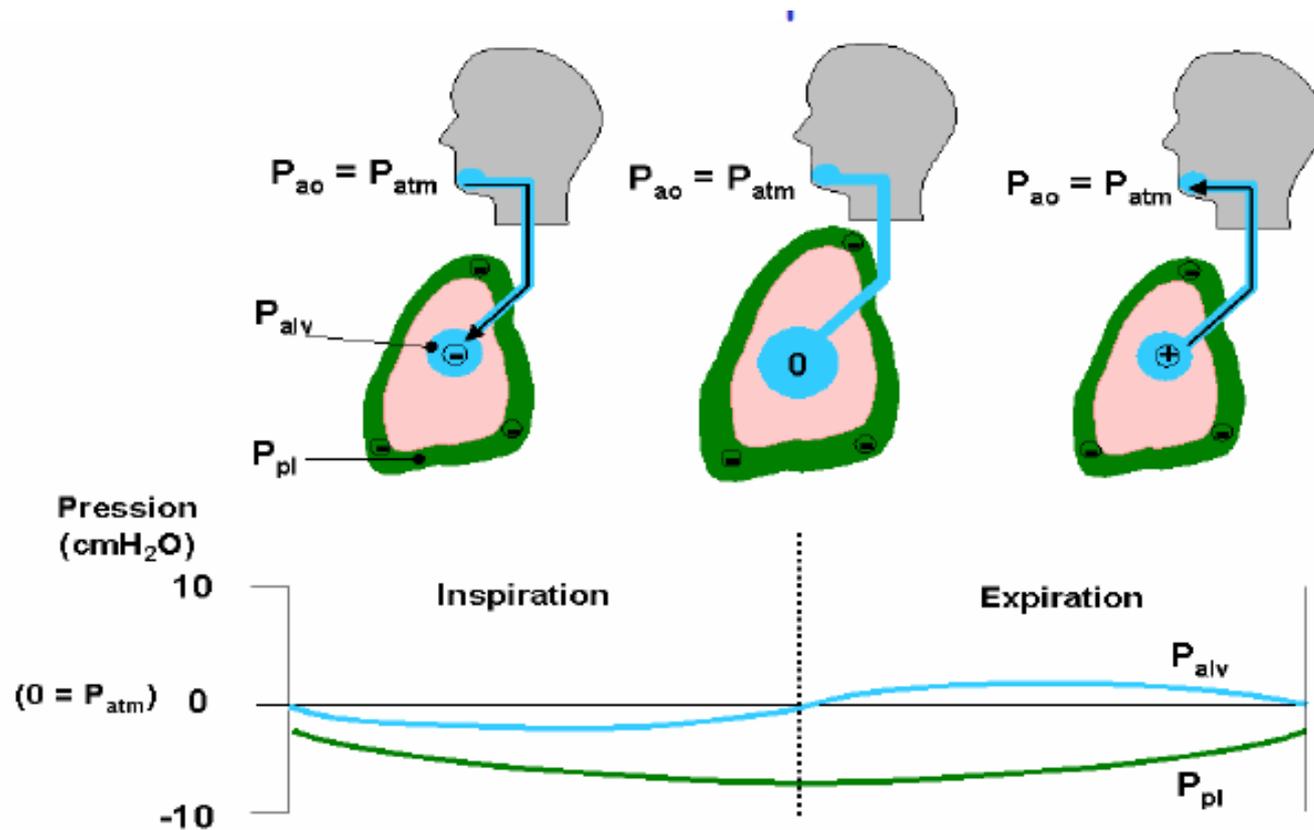
Alimentée par l'éjection du ventricule droit

Tout évènement qui affecte l'éjection du ventricule droit ou le pool sanguin pulmonaire retentit sur le remplissage donc l'éjection du ventricule gauche

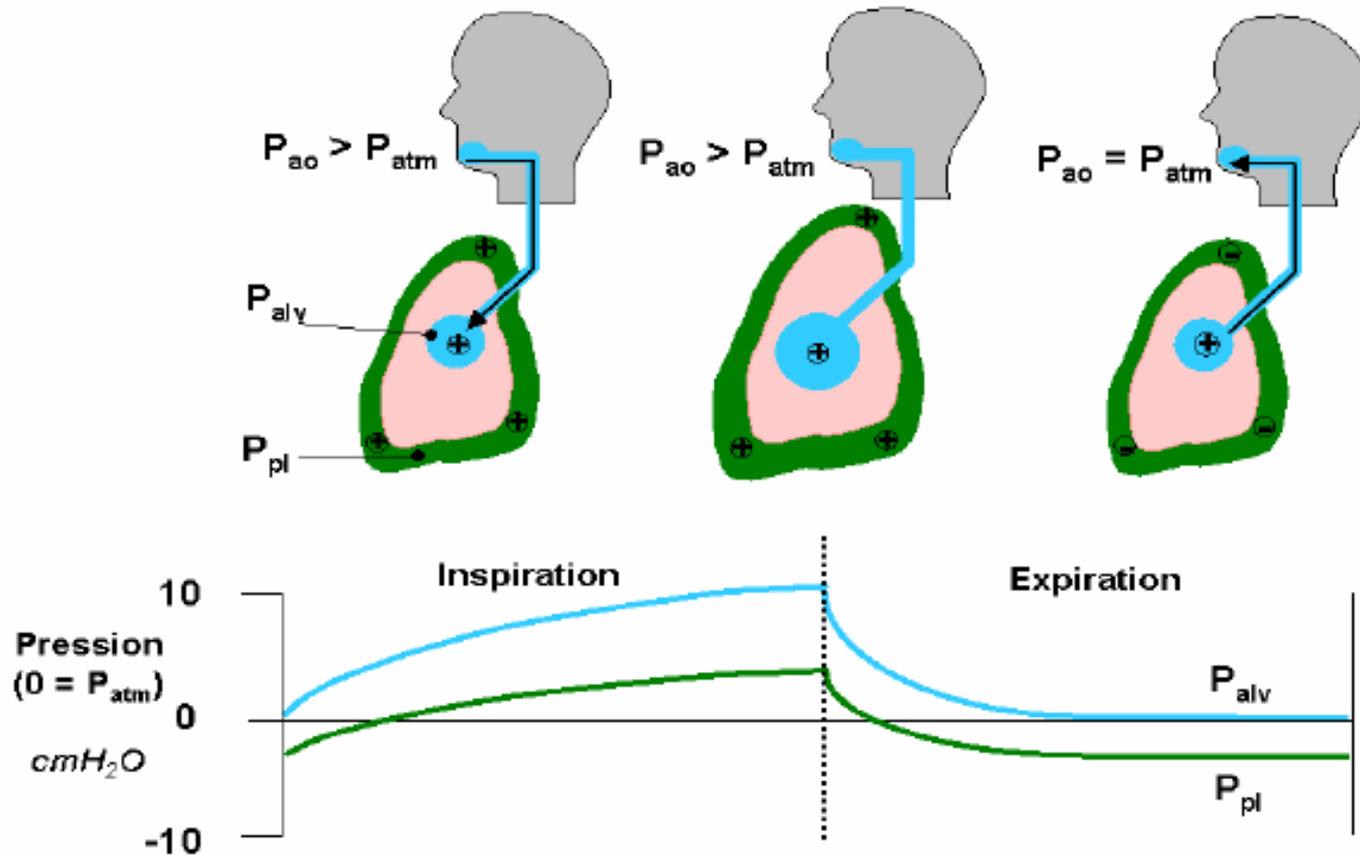
# Interactions cardio-pulmonaires au cours de la VM

- 1/ Effets de l'augmentation de la pression pleurale
  - Retour veineux/ fonction VD
  - Fonction VG
- 2/ Effets de l'augmentation du volume pulmonaire
  - Fonction VD  $\pm$  VG

# Variations des pressions intra-thoraciques en ventilation spontanée



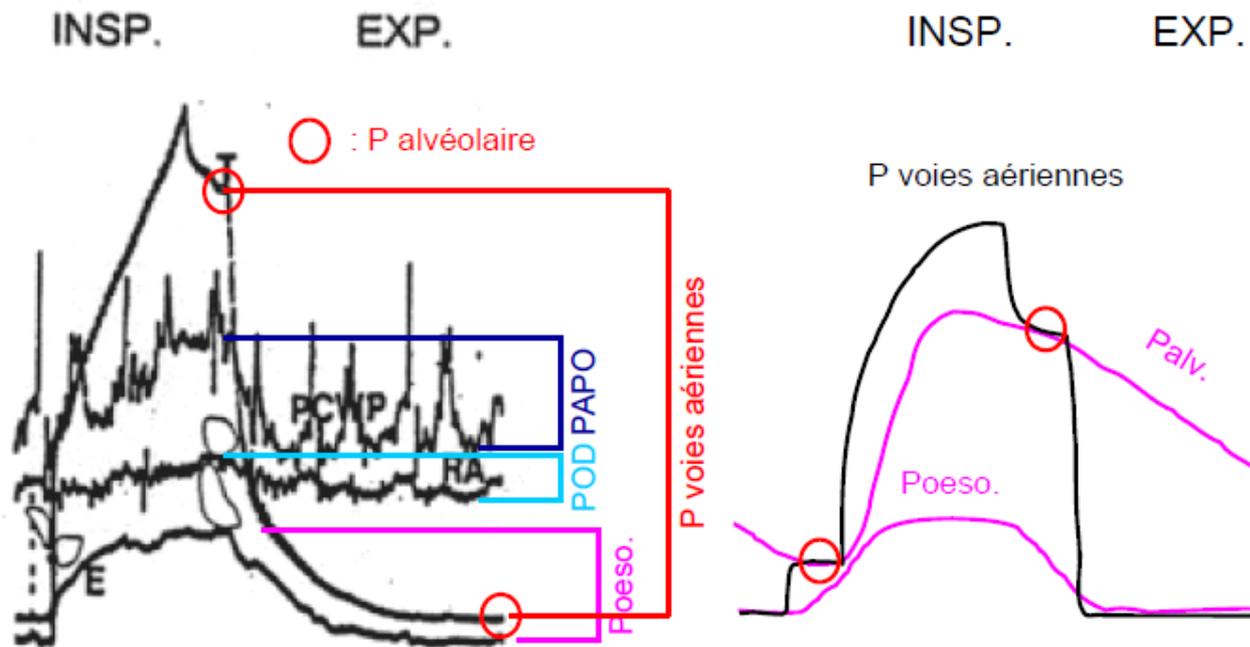
# Variation des pressions intra-thoraciques en pression positive



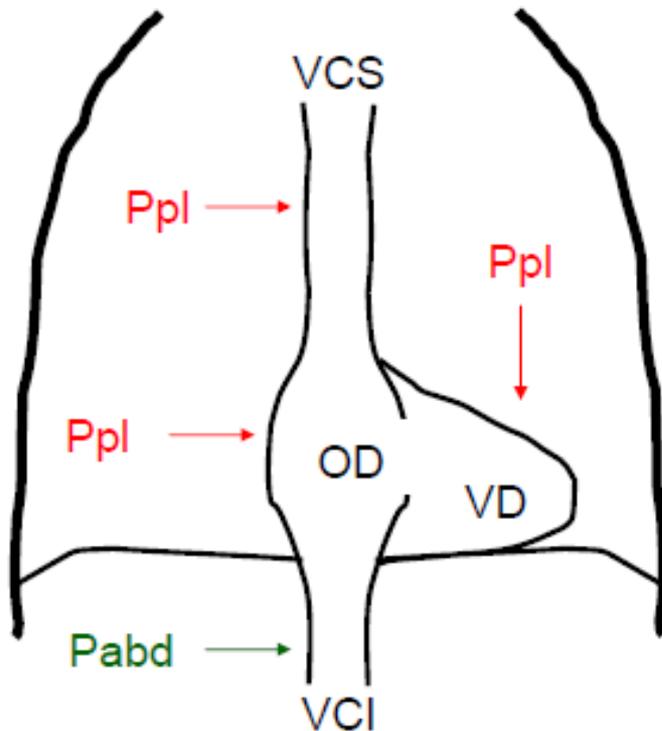
# Comparaison pressions intra-thoraciques et intra-abdominales lors de l'inspiration

| VPN (VS)<br>Augmentation Volume Pulmonaire  | VPP<br>Augmentation Volume Pulmonaire   |
|---|---|
| <p>↘ Pression Pleurale</p> <p>↗ P alv par rapport à la Ppl</p> <p>↗ Ptdi</p> <p>↗ P abd</p> | <p>↗ Pression Pleurale</p> <p>↗ P alv par rapport à la Ppl</p> <p>↗ P abd</p> |

# L'insufflation augmente les pressions intra-vasculaires



# Notion de pression transmurale



- Pression transmurale :

**pression de distention**  
d'un(e) vaisseau / cavité  
cardiaque

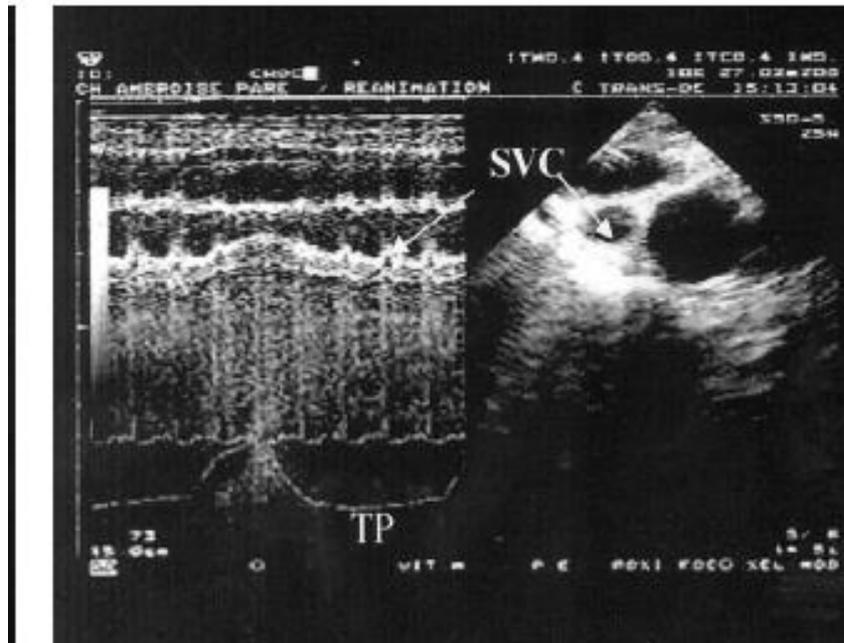
$$P_{tm} = P_{iv} - P_{ev}$$

- Pression extravasculaire (Pev) :

**pression pleurale** pour VCS,  
cavités cardiaques et aorte  
thoracique

**pression abdominale** pour  
VCI et aorte abdominale

# Phénomène de chute d'eau « vascular waterfall » de la VCS

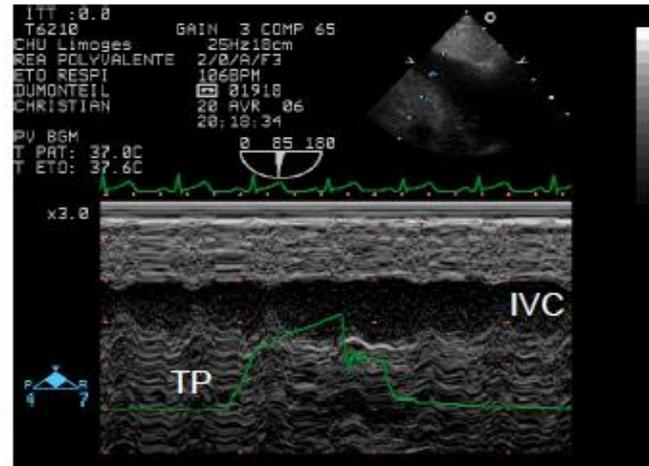
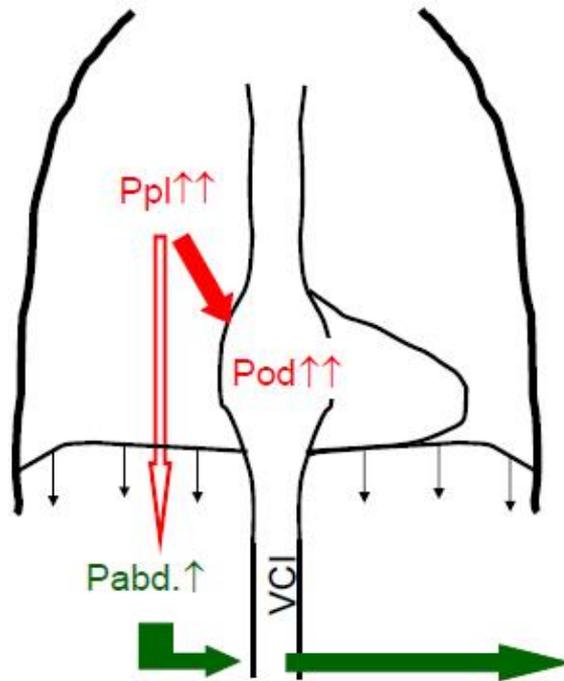


Diminution inspiratoire du diamètre VCS  $\geq 60\%$  suite à une baisse de la pression tm ( $P_{vcs} - P_{pl}$ ) inférieure pression de fermeture du vaisseau

Indice collapsus inspiratoire VCS =  $\frac{\text{Diam exp max} - \text{Diam insp min}}{\text{Diam exp max}}$

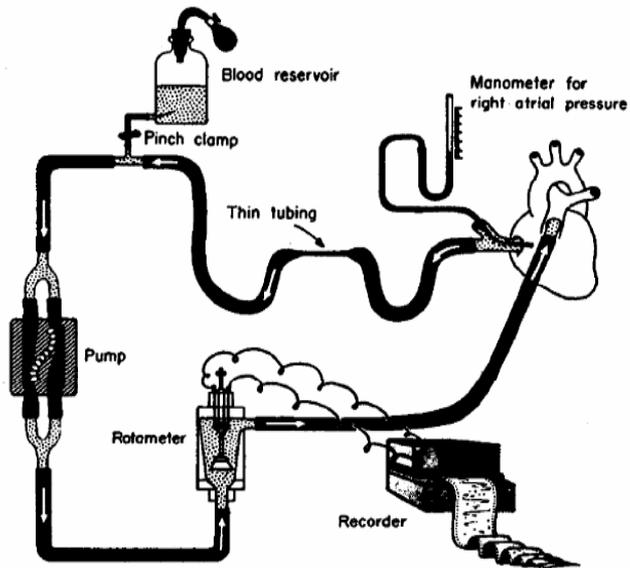
Vieillard - Baron et al. Anesthesiology 2001; 95:1083-8

# Effet sur la VCI

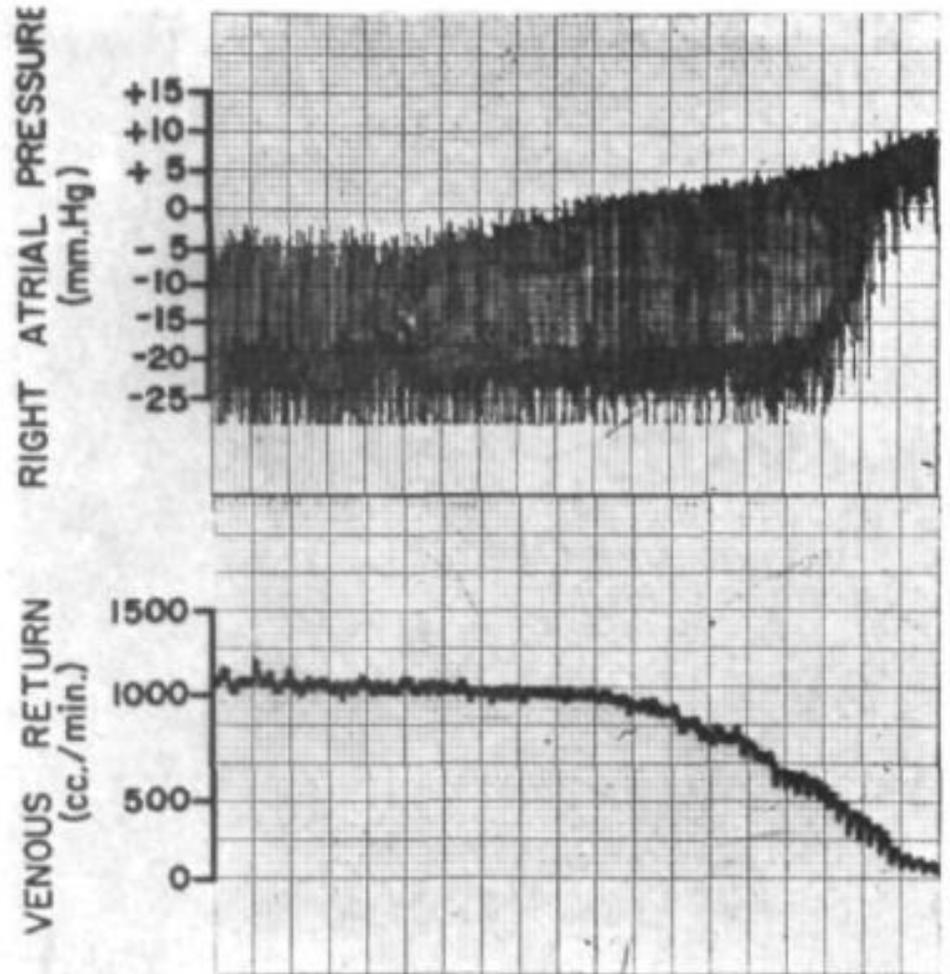


Insufflation mécanique :  $\downarrow$  retour veineux systémique  
réflétée par un collapsus de la VCS (intrathoracique) et une  
distension de la VCI (intra-abdominale)

# Modèle de Guyton



Guyton et al. Am J Physiol 1957;189:609-615



**FIGURE 3**

*Simultaneous recordings of cardiac output and right atrial pulsations.*

# Les courbes de retour veineux

Guyton et al. Am J Physiol 1957;189:609-615

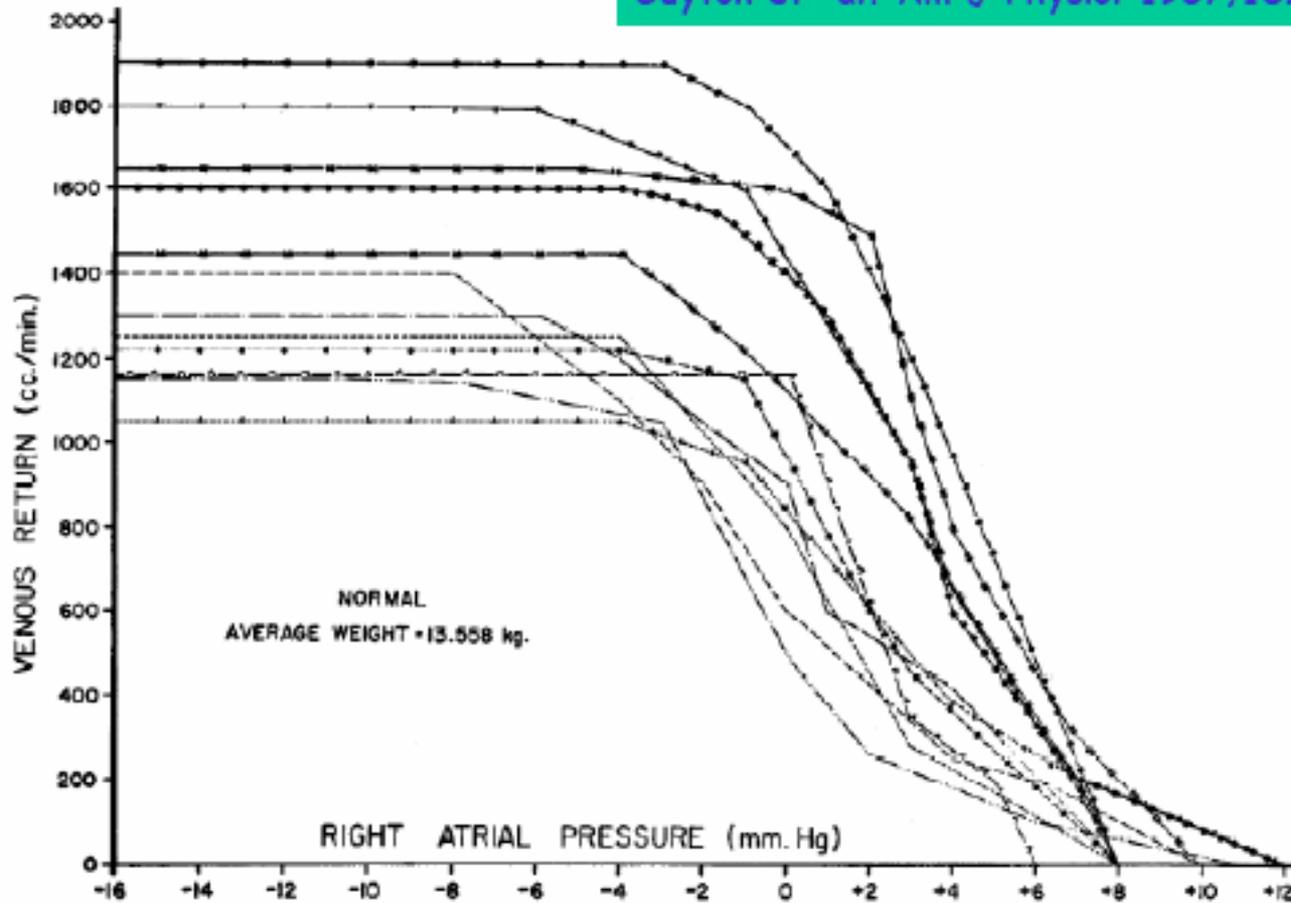
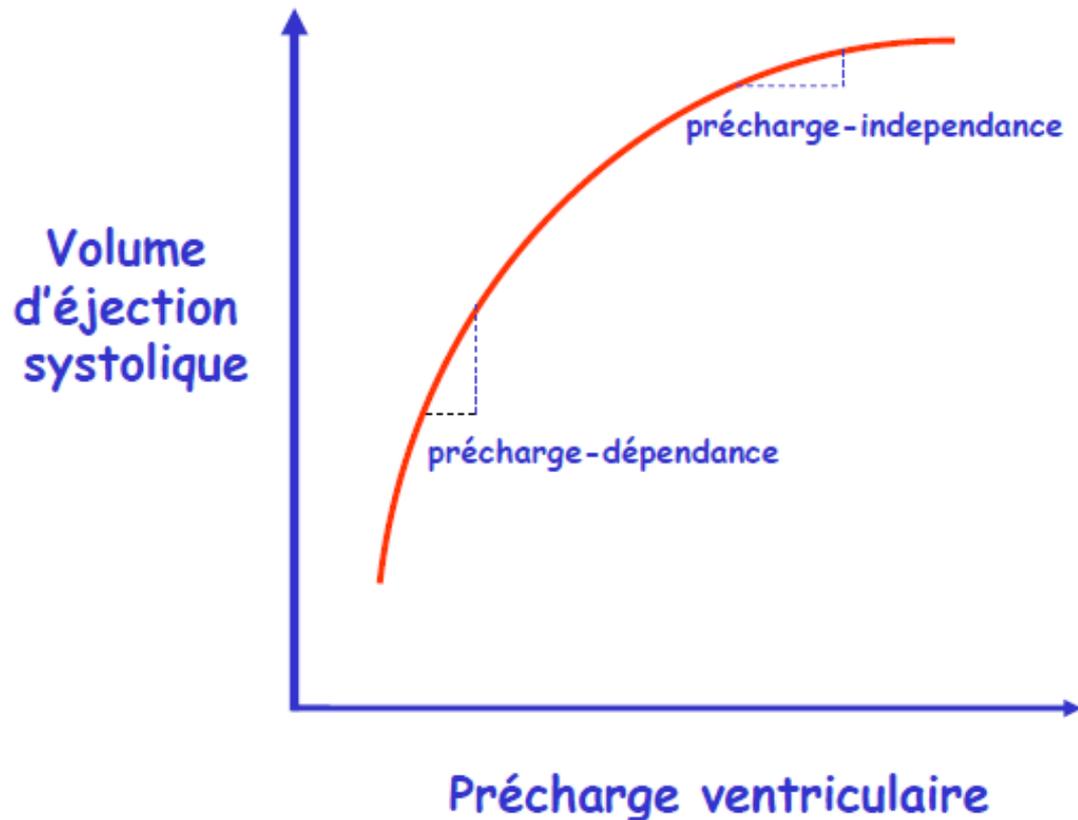


FIG. 2. Venous return curves recorded from 12 normal open-chest dogs.

**Pression de retour veineux = pression systémique moyenne - POD**

# La fonction cardiaque



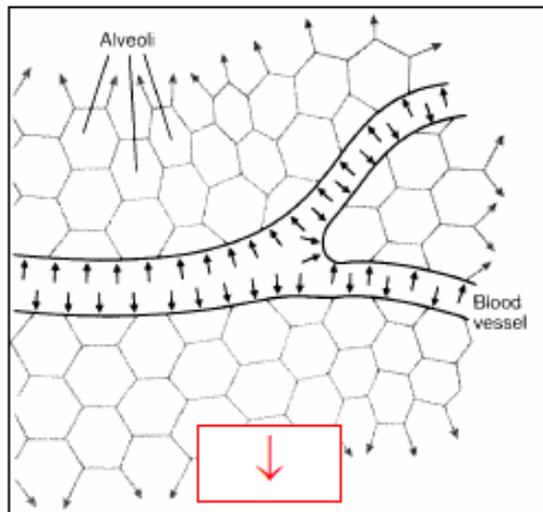
## ↑↑↑↑ Pression pleurale /VD au cours de la VM

- ↑ pression transmurale OD
- ↓ Pression retour veineux
- Cet effet est d'autant plus marqué que la P alv est ↑ (PEEP-grand Vt)
- Dépend de la compliance pulmonaire (transmission P alv/ P pleurale)
- ↓↓↓ importante du retour veineux et donc du débit cardiaque lors de l'instauration de la VM
- Cet effet est majorée par l' effet de la sédation ( hypovolémie et altération du baroréflexe)

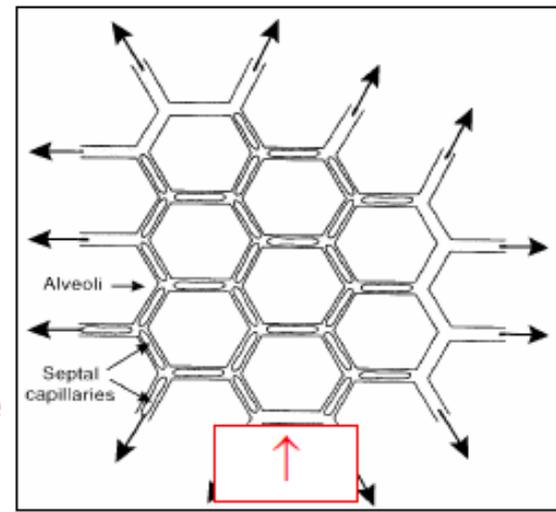
# Insufflation et vaisseaux pulmonaires

Vaisseaux pulmonaires : réservoir sanguin du cœur gauche

Vaisseaux intraparenchymateux



Vaisseaux capillaires pulmonaires

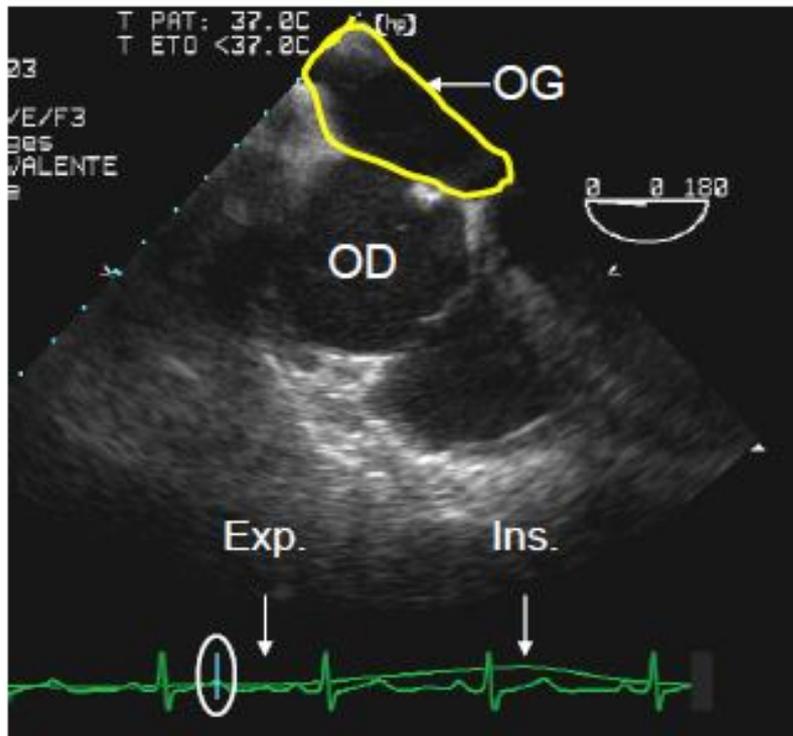


Remplissage  
OG

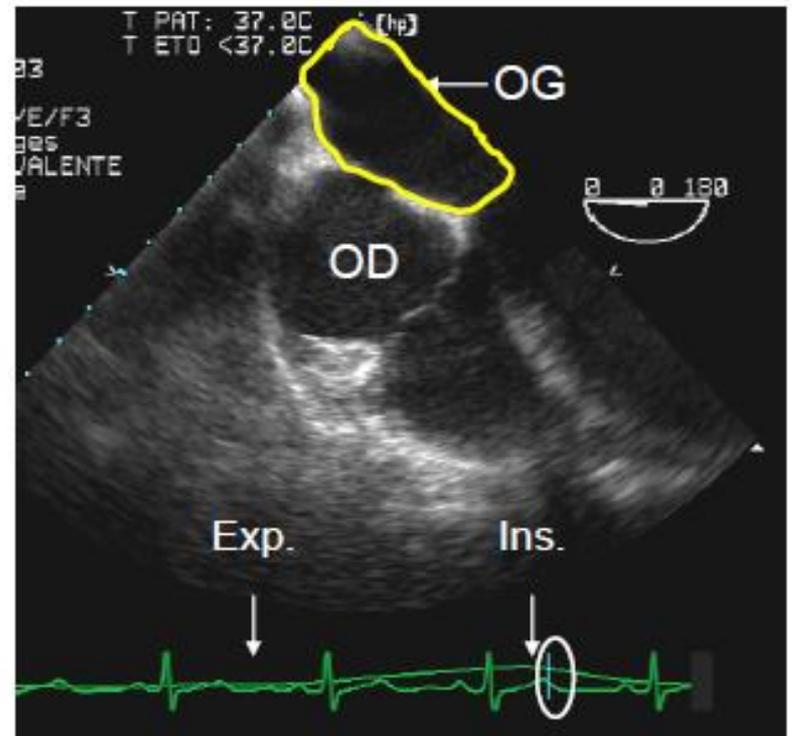


# Insufflation et OG

Fin expiration



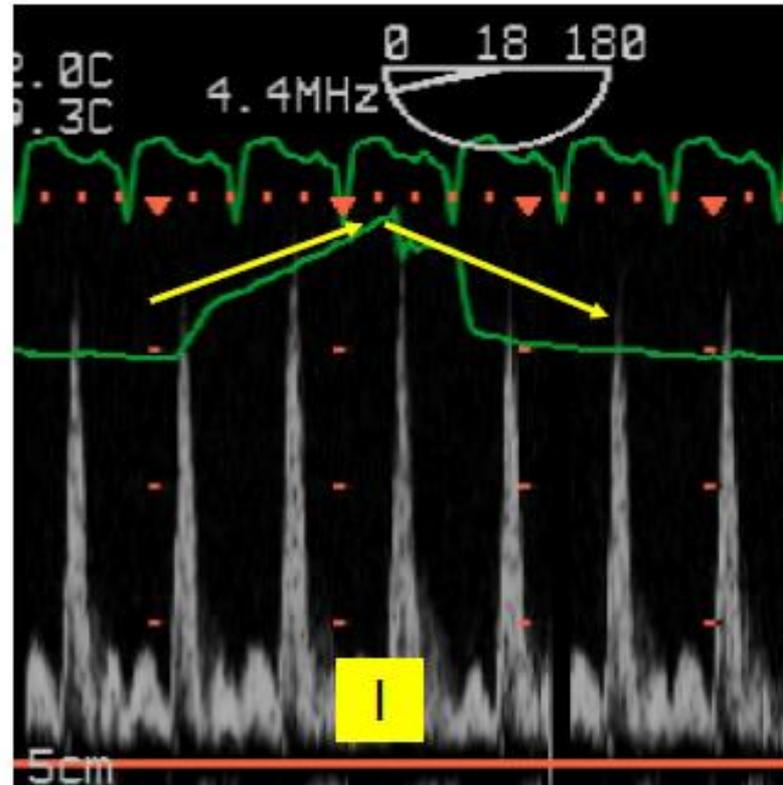
Fin insufflation



Insufflation mécanique : ↑ remplissage donc ↑ taille de l'OG

# Insufflation et doppler veineux pulmonaire

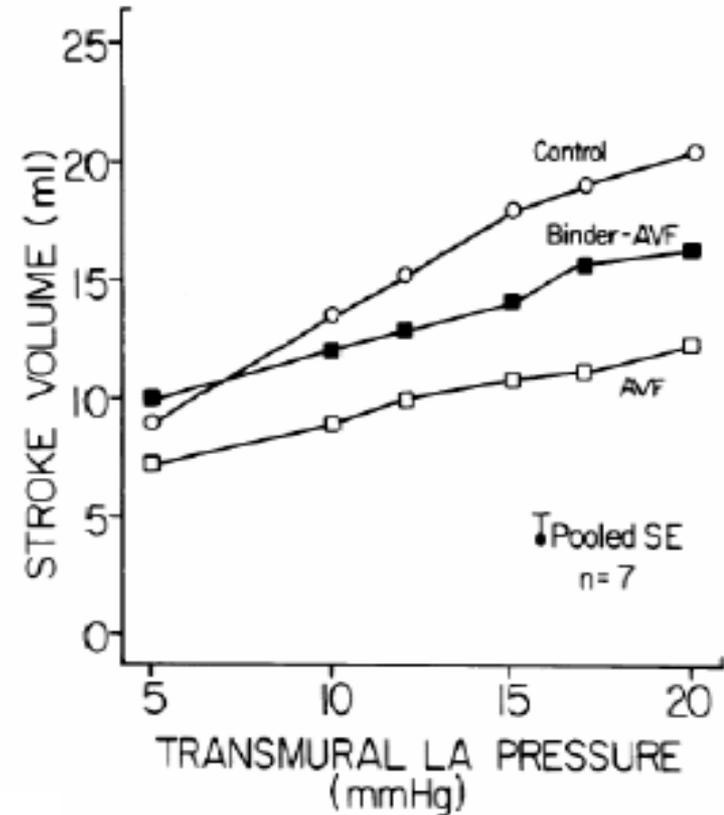
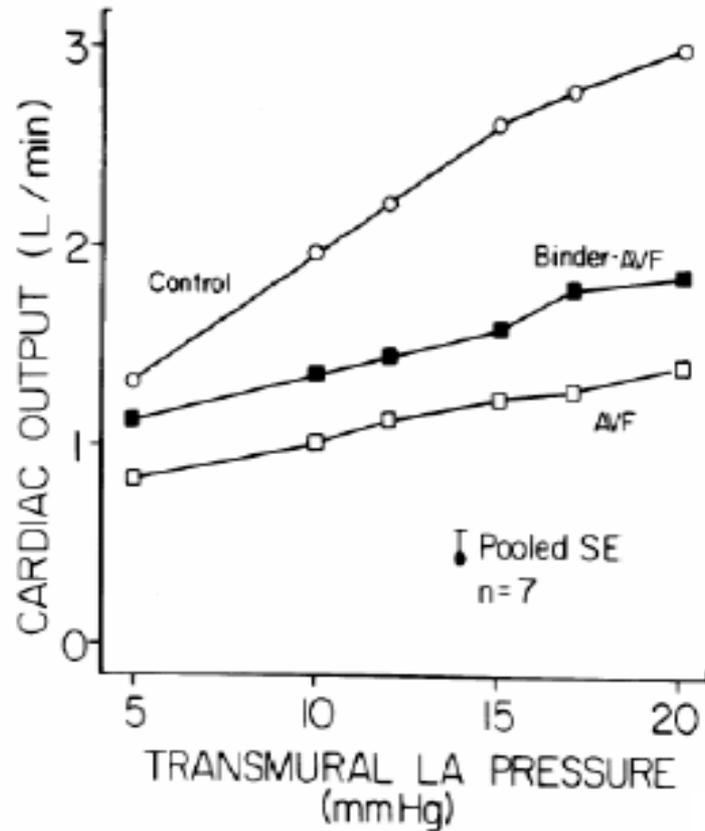
Insufflation  
mécanique : effet de  
chasse du sang  
veineux pulmonaire  
vers l'oreillette gauche



# Effet sur la fonction VG

- Au cours de l'insufflation:
  - ↑ pression pleural
  - ↑ pression extramurale et par conséquent intramurale du VG
  - Facilitation de l'éjection du VG (si précharge dépendant)

# Effet de la Pression transmurale sur le VG



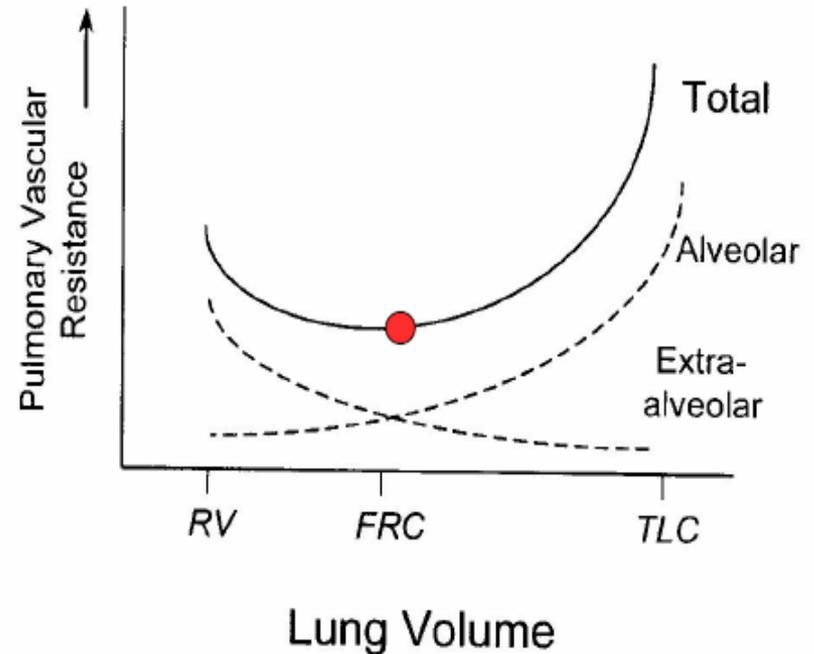
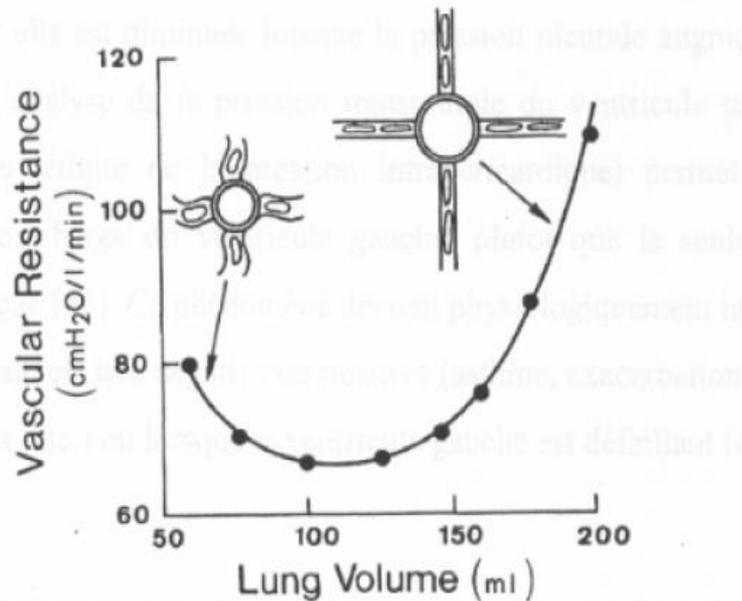
# En résumé

- ↑ pression pleurale:
  - ↓ Pression retour veineux et précharge VD
  - Cet effet est majorée par l'effet de la sédation ( ↓ hypovolémie et altération du baroréflexe)
  - ↓↓↓ importante du retour veineux et donc du débit cardiaque lors de l'instauration de la VM
  - ↑ précharge VG avec ↑ VES du VG

# Interactions cardio-pulmonaires

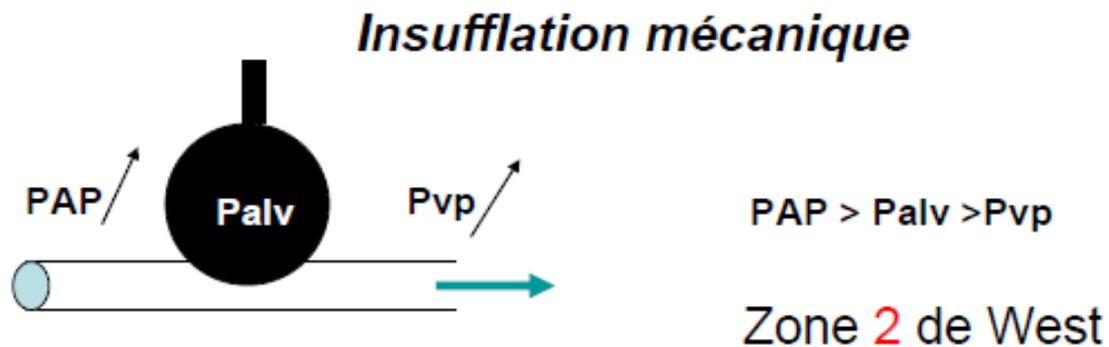
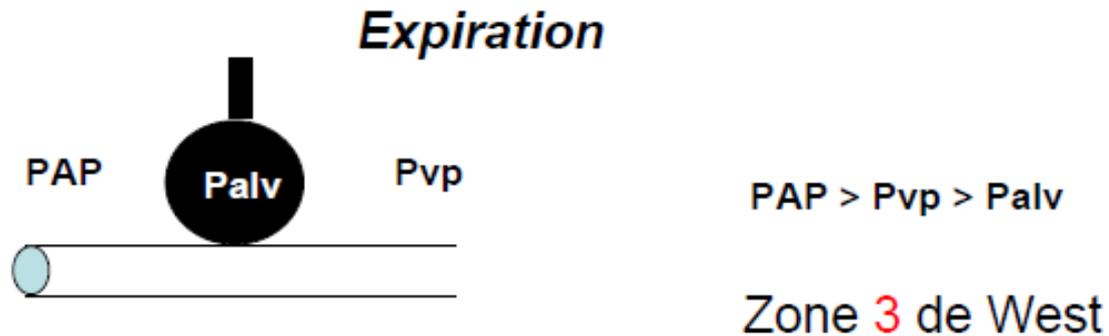
- 1/ Effets de l'augmentation de la pression pleurale
  - Retour veineux/ fonction VD
  - Fonction VG
- 2/ Effets de l'augmentation du volume pulmonaire
  - Post charge VD

# Effet de l'augmentation du volume pulmonaire



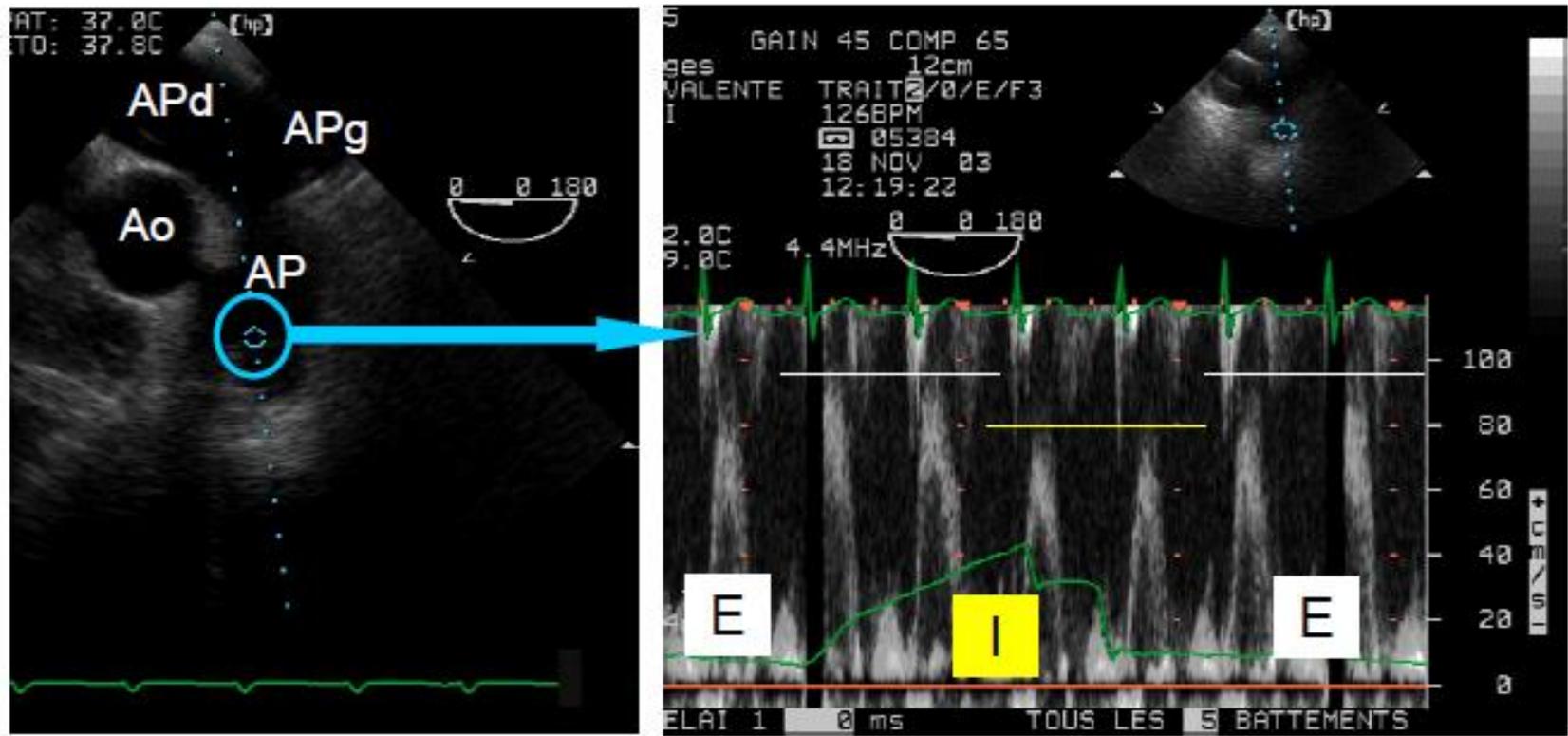
Insufflation mécanique :  $\uparrow$  cyclique des RVP par  $\downarrow$  diamètre capillaires pulmonaires liée à la distension alvéolaire

# Effet sur la post charge du VD

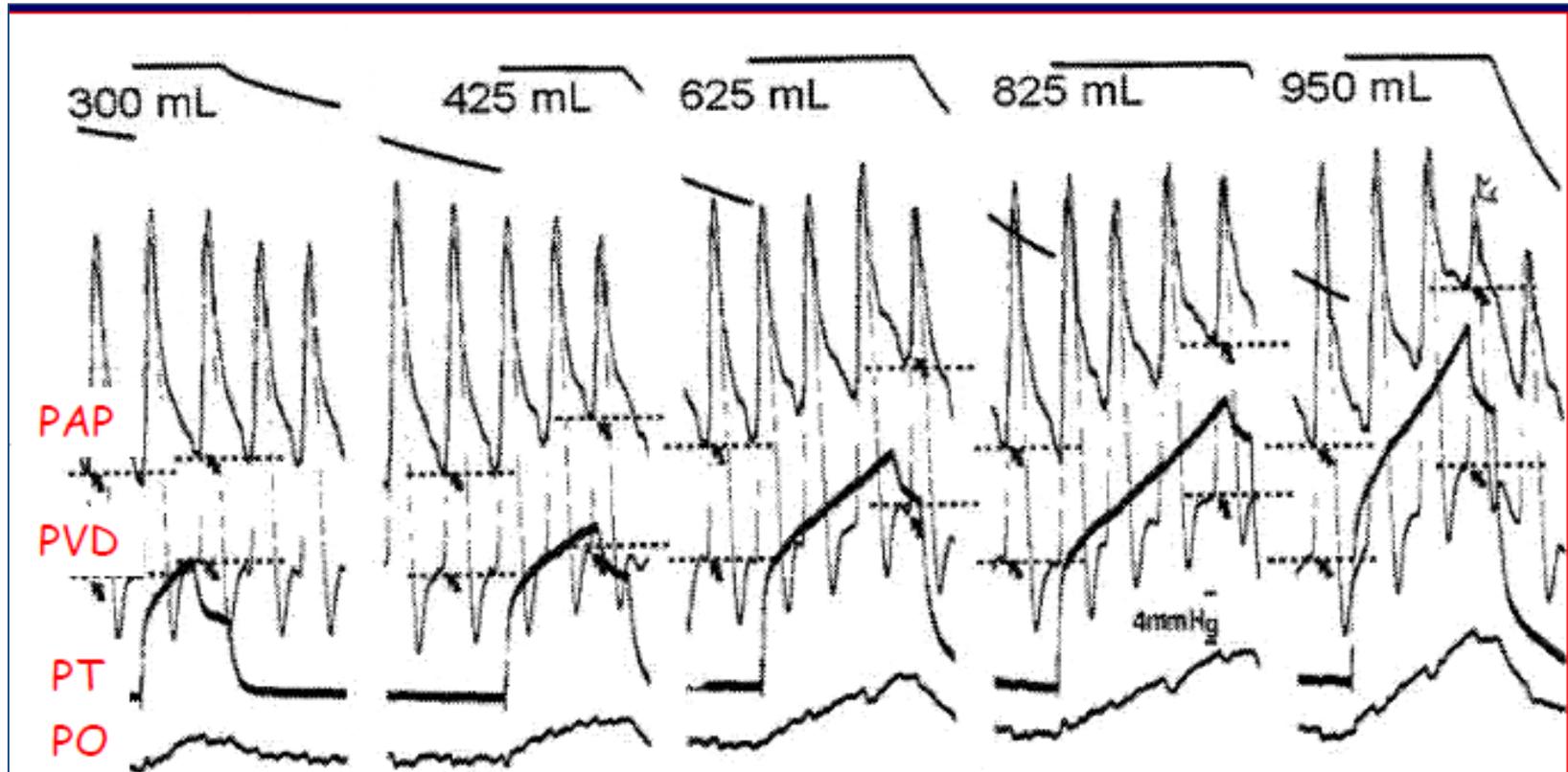


# Effet de l'insufflation du volume courant sur l'éjection VD

ETO : coupe de la base du cœur à 0°

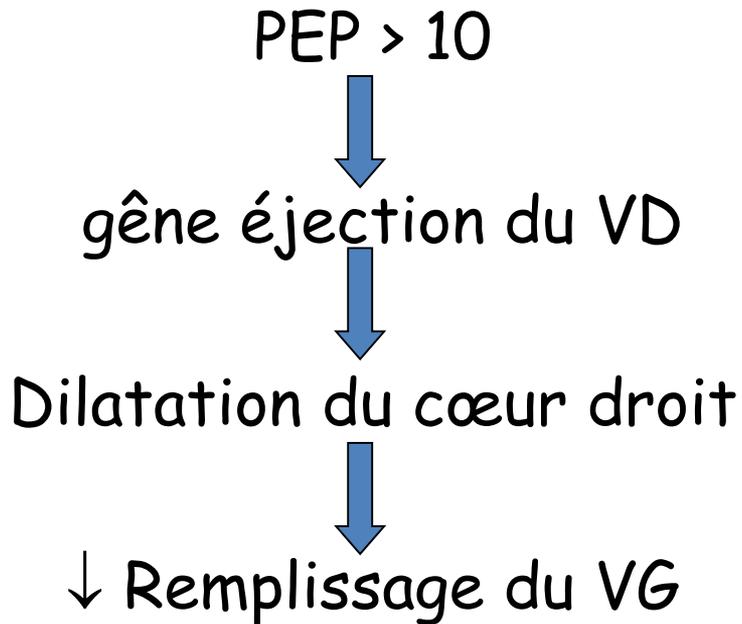


# Effet du volume courant sur la fonction VD



# Effet de la PEP sur l'hémodynamique

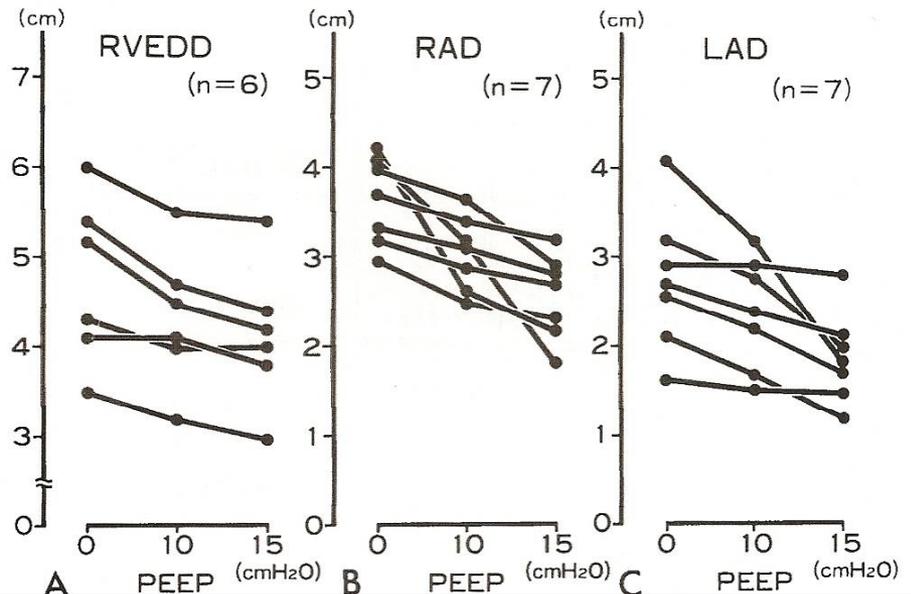
Jardin F, NEJM, 1981



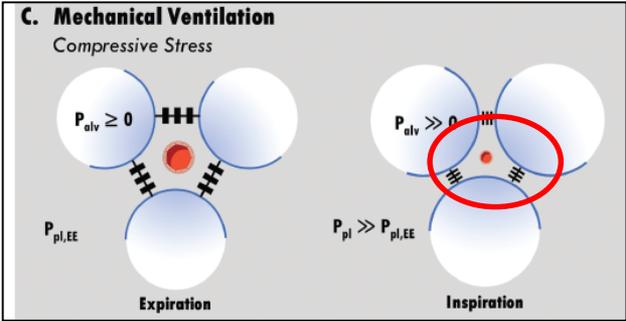
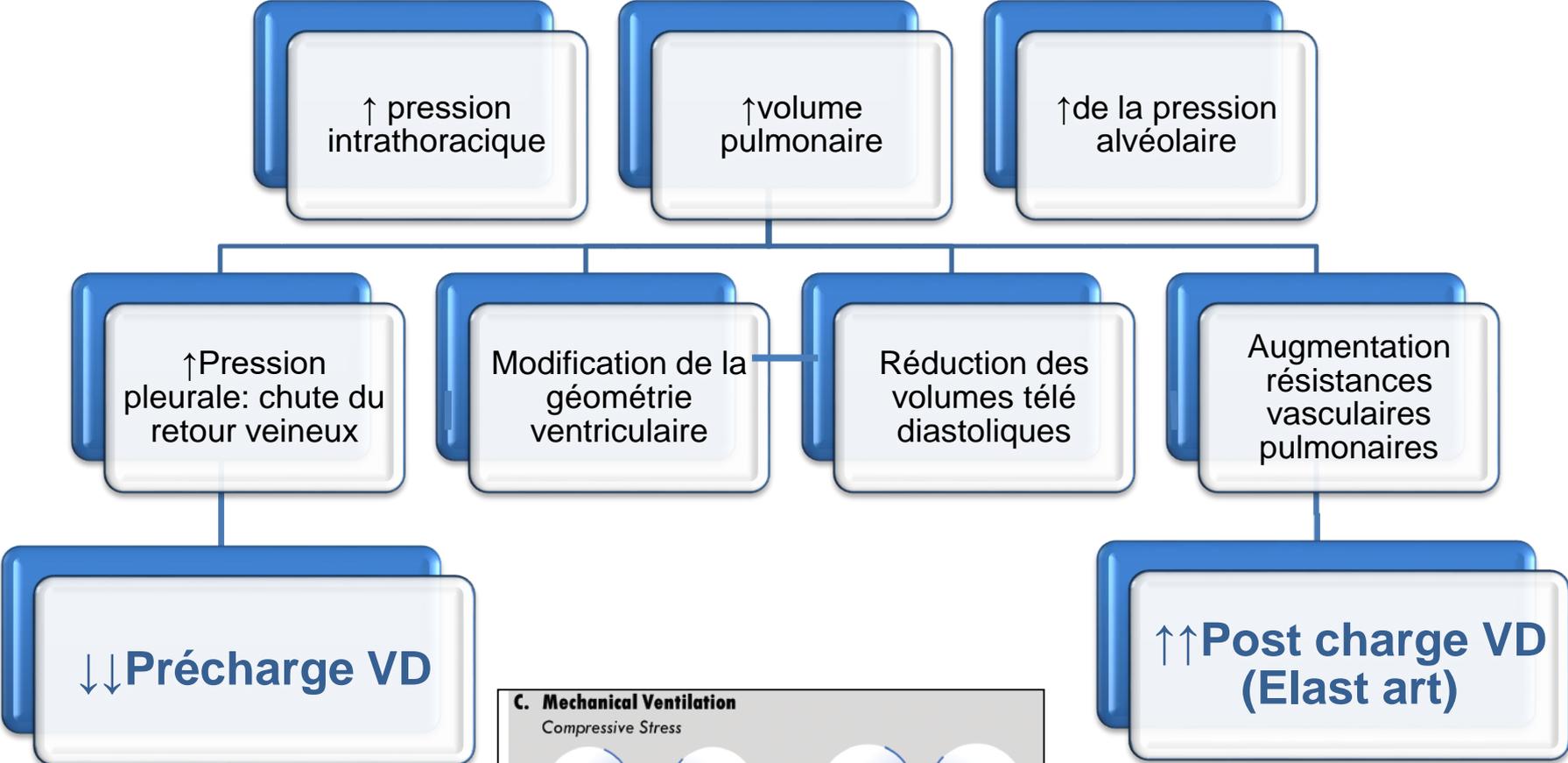
Terai, Anesthesiology, 1985

↓ Qc par ↓ précharge D et G

|    | PEEP=0    | PEEP=10   | PEEP=15   |
|----|-----------|-----------|-----------|
| Qc | 7.8 ± 0.6 | 7.2 ± 0.6 | 6.5 ± 0.6 |



# Effets VM/VD



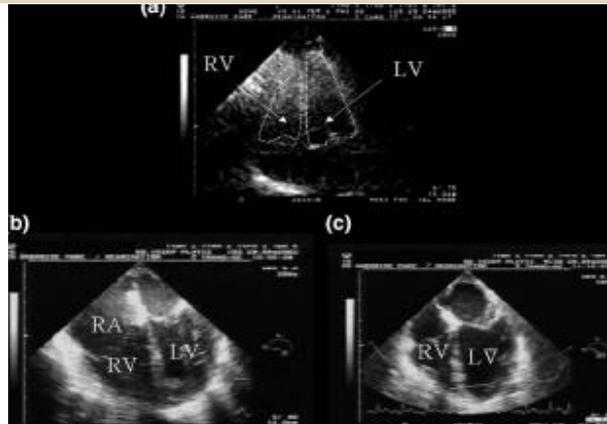
# Le VD en Ventilation Mécanique

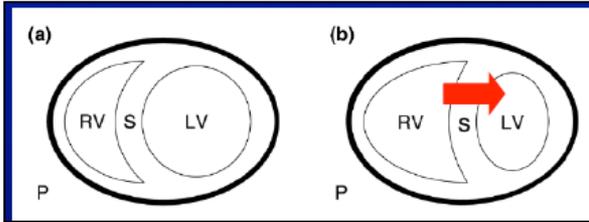
- **↑ Pression pleurale ( $P_{PI}$ )**
  - augmentation des résistances au retour veineux
  - gêne au remplissage
    - ⇒ diminution de la précharge VD

• **↑ des résistances vasculaires pulmonaires: ↑ post charge VD**

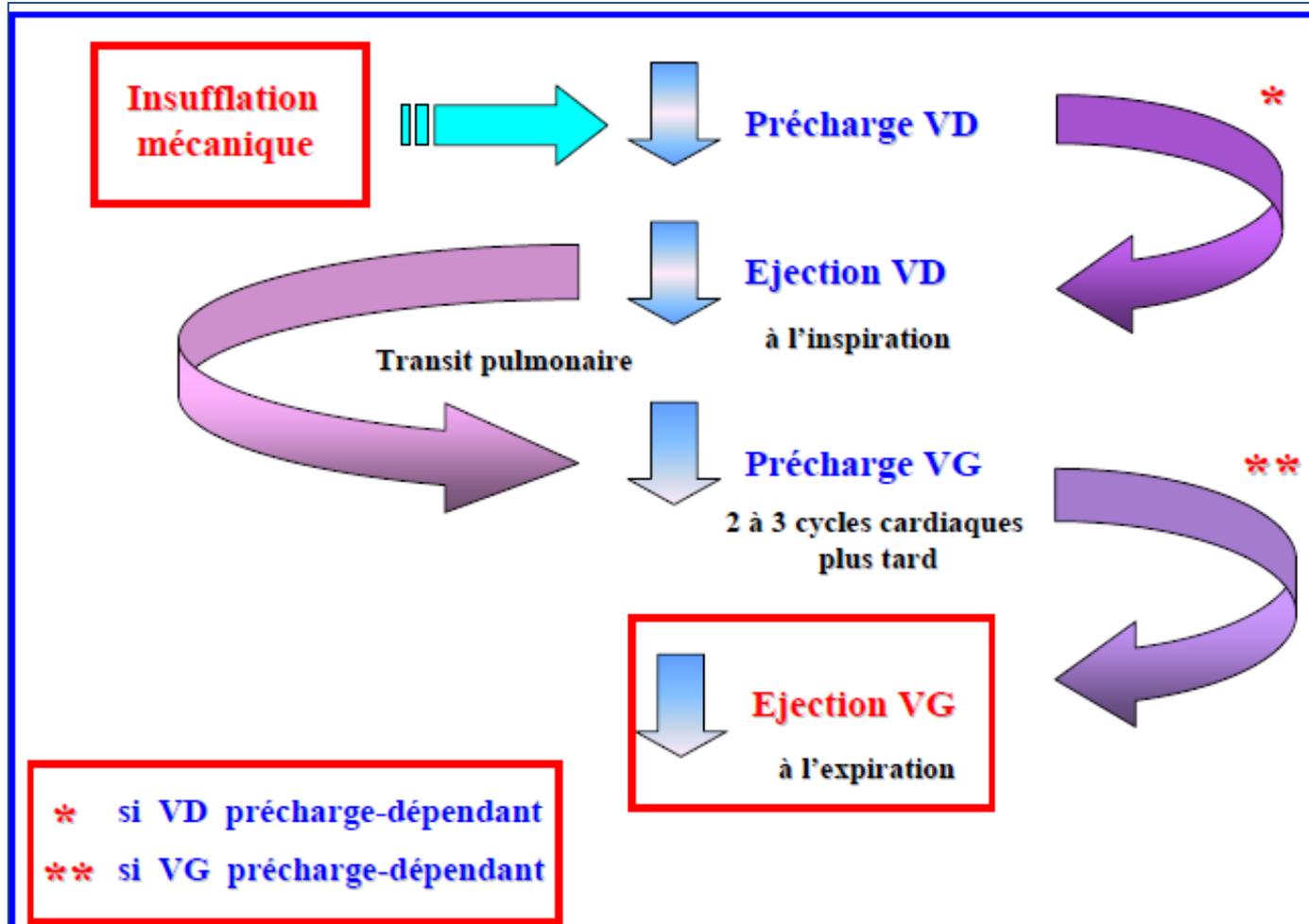
• VD normal : P systolique de 25-30 mmHg

**→ Dysfonction systolo-diastolique VD: Cœur Pulmonaire Aigu**

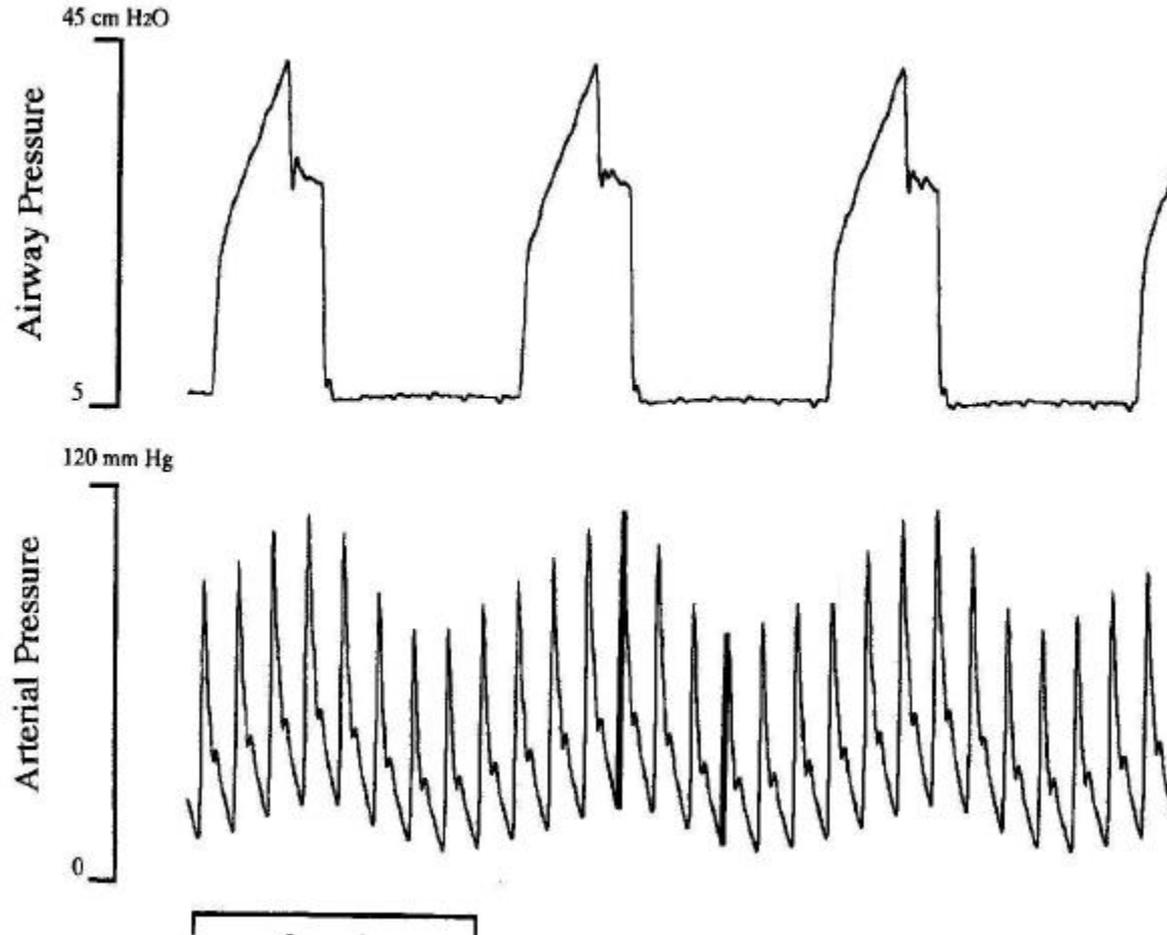




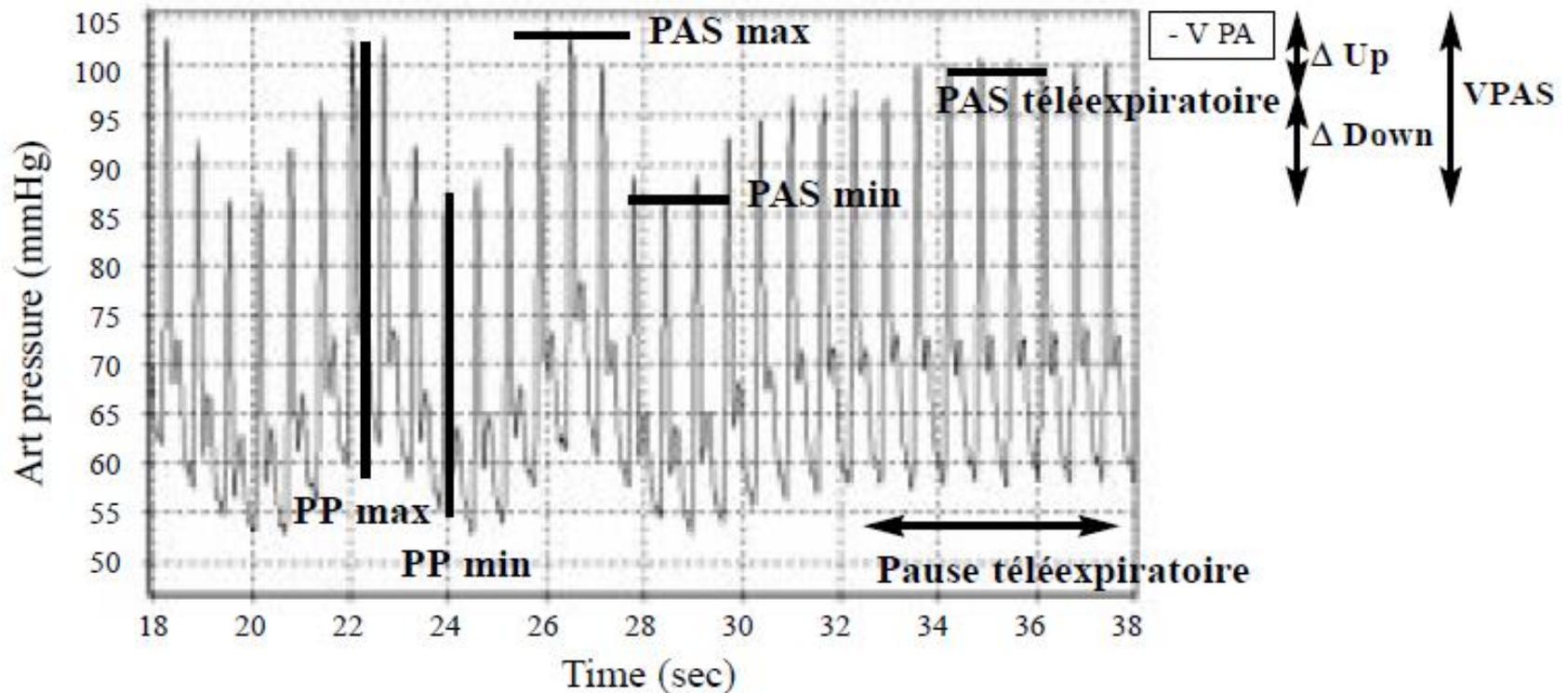
# Interdépendance ventriculaire



# Retentissement circulatoire de la VM

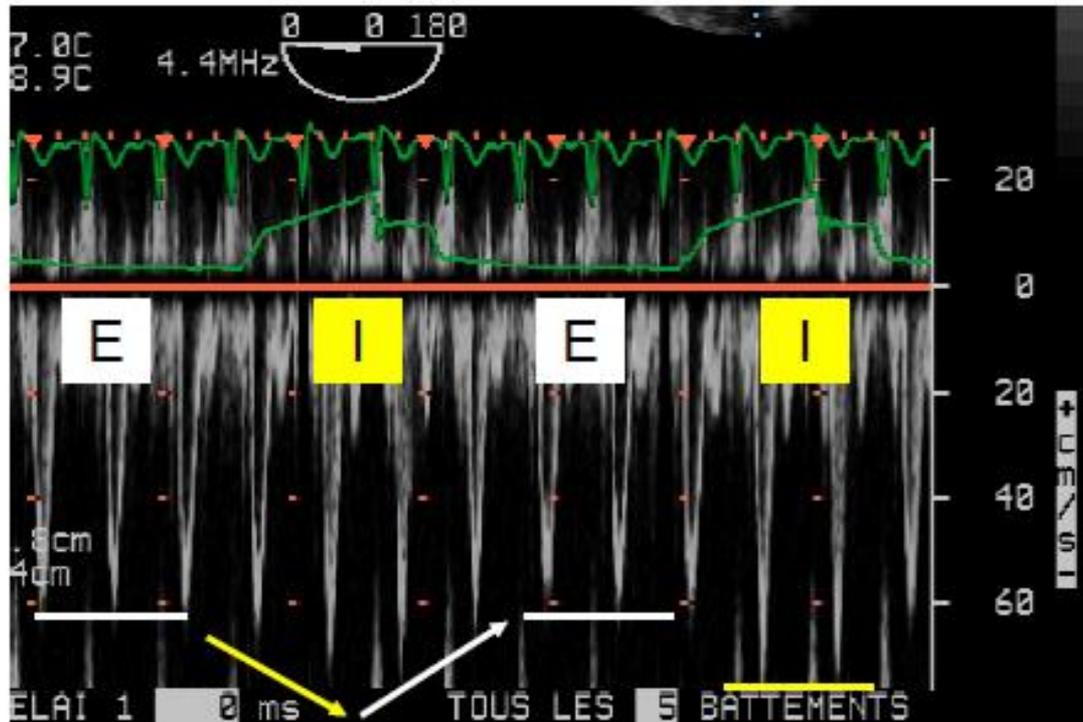


# Retentissement circulatoire de la VM



$$\Delta \text{PP} (\%) = \frac{\text{PPmax} - \text{PPmin}}{(\text{PPmax} + \text{PPmin})/2} * 100$$

**Delta up** =  $\uparrow$  précharge VG lors de l'insufflation mécanique



$\uparrow$  vitesses Doppler reflètent  $\uparrow$  remplissage VG lors de l'insufflation mécanique

## Delta down

= ↑ post charge du VD lors de l'insufflation  
mécanique

= ↑ P transpulmonaire

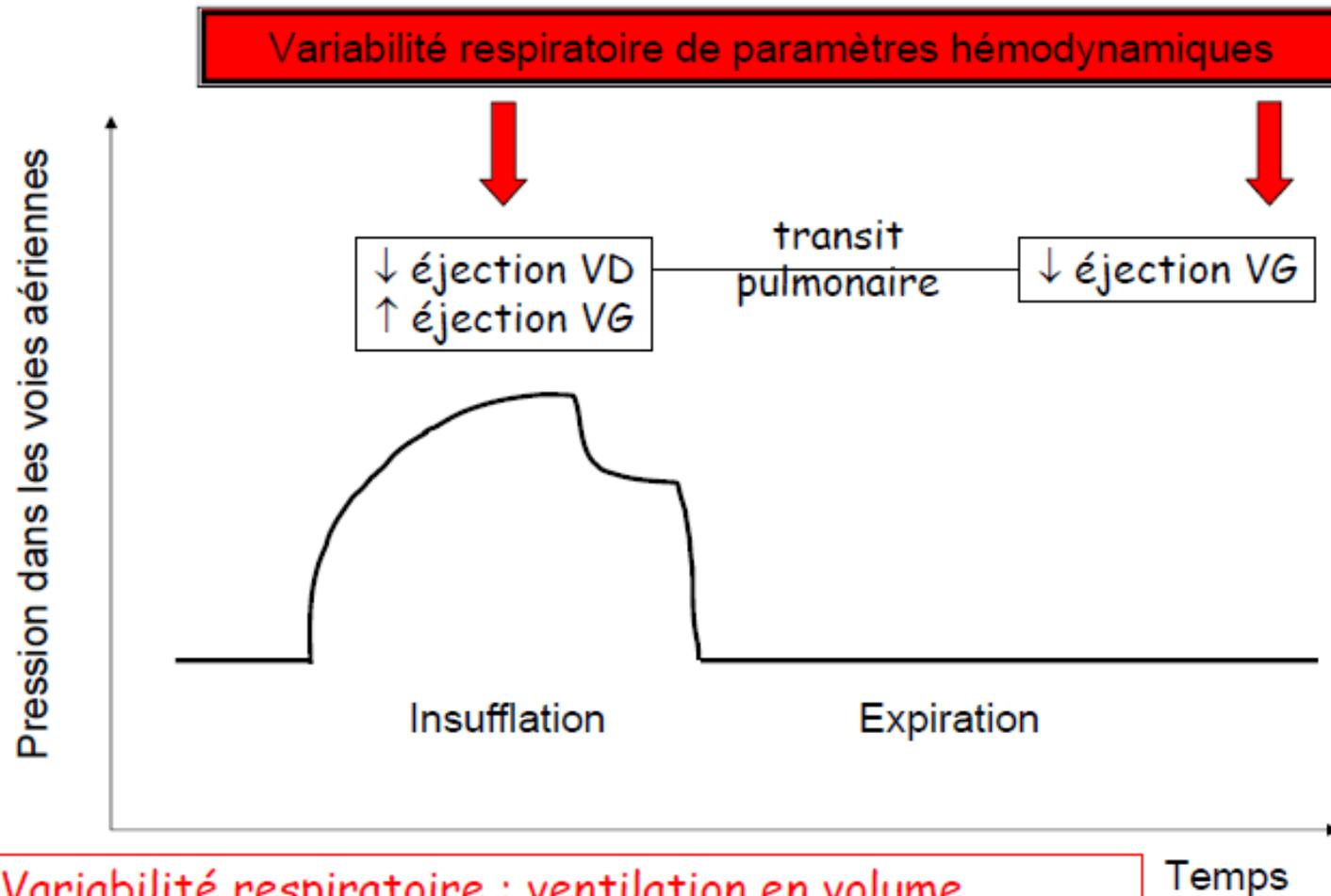
# VM et VD globalement néfaste

- ↓ retour veineux (Frank Starling)
- ↑ postcharge (surtout pendant l'insufflation) qui majore les conséquences de l'HTAP
- Interdépendance ventriculaire accentuée : ↓ compliance effective du VG (à pressions de remplissage égales, le volume télédiastolique donc la précharge diminue)
- Effet net = ↓ ou ↓↓ du débit cardiaque droit DONC gauche.

# VM et VG: globalement bénéfique

- ↓ pressions de remplissage
- ↓ postcharge (surtout pendant l'insufflation)
- Effet net = ↑ du débit cardiaque gauche.

# Opposition de phase des 2 ventricules



Variabilité respiratoire : ventilation en volume contrôlé, fréquence respiratoire basse, rythme sinusal, patient parfaitement adapté au respirateur.

# Effets hémodynamiques de la VM

- Interactions cardiopulmonaires sous VM : constantes car physiologiques ( $\uparrow$  P pleurale et  $\uparrow$  P transpulmonaire)
- Influence des réglages du respirateur ( $V_t$ , PEP, FR)
- Interactions majorées dans certaines pathologies :
  - hypovolémie
  - anomalie de compliance thoracopulmonaire (réduction [SDRA], augmentation avec distension [emphysème])...

Je vous remercie

## LA VENTILATION MECANIQUE

