

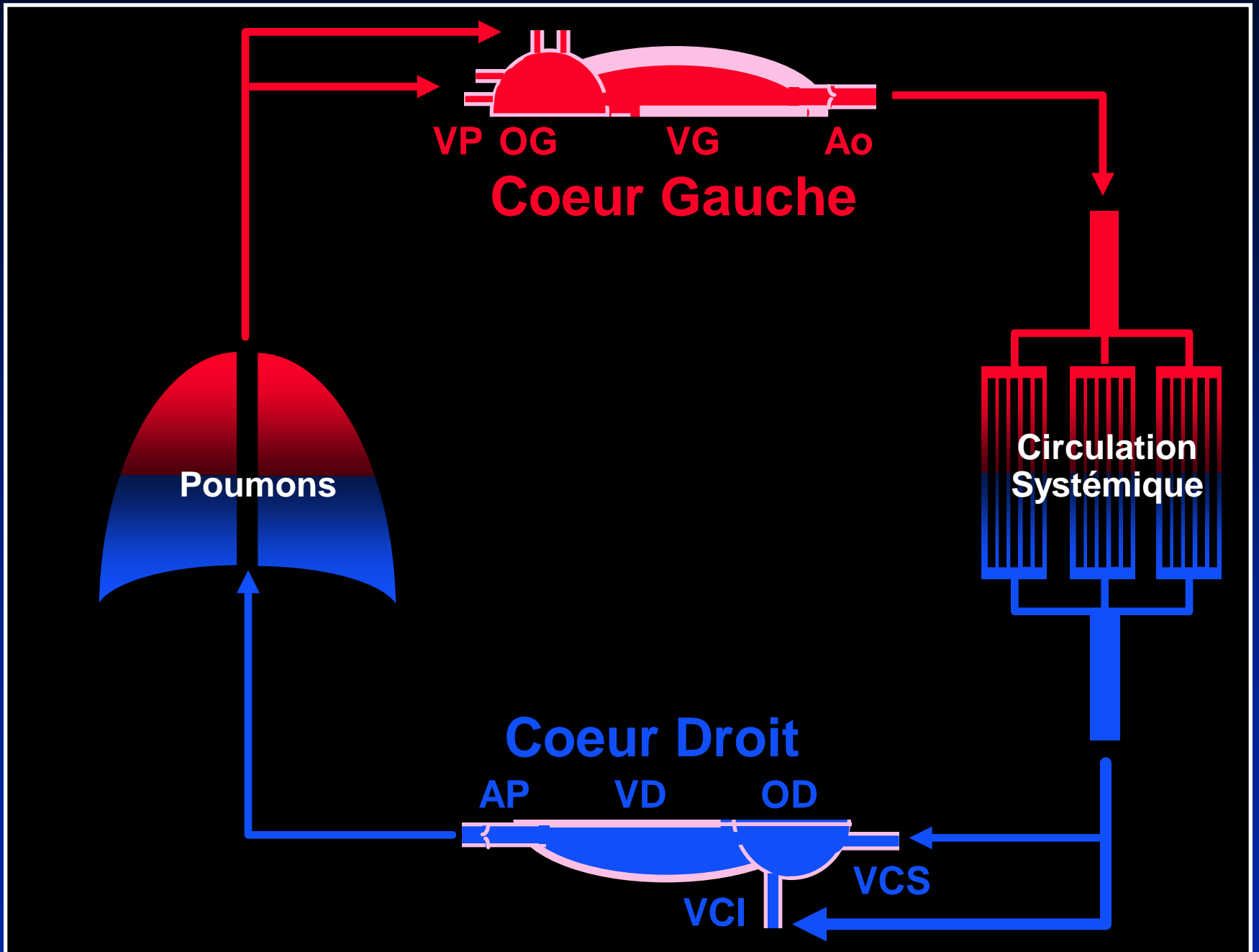
**PCEM2**

**Physiologie générale, 1<sup>er</sup> semestre**

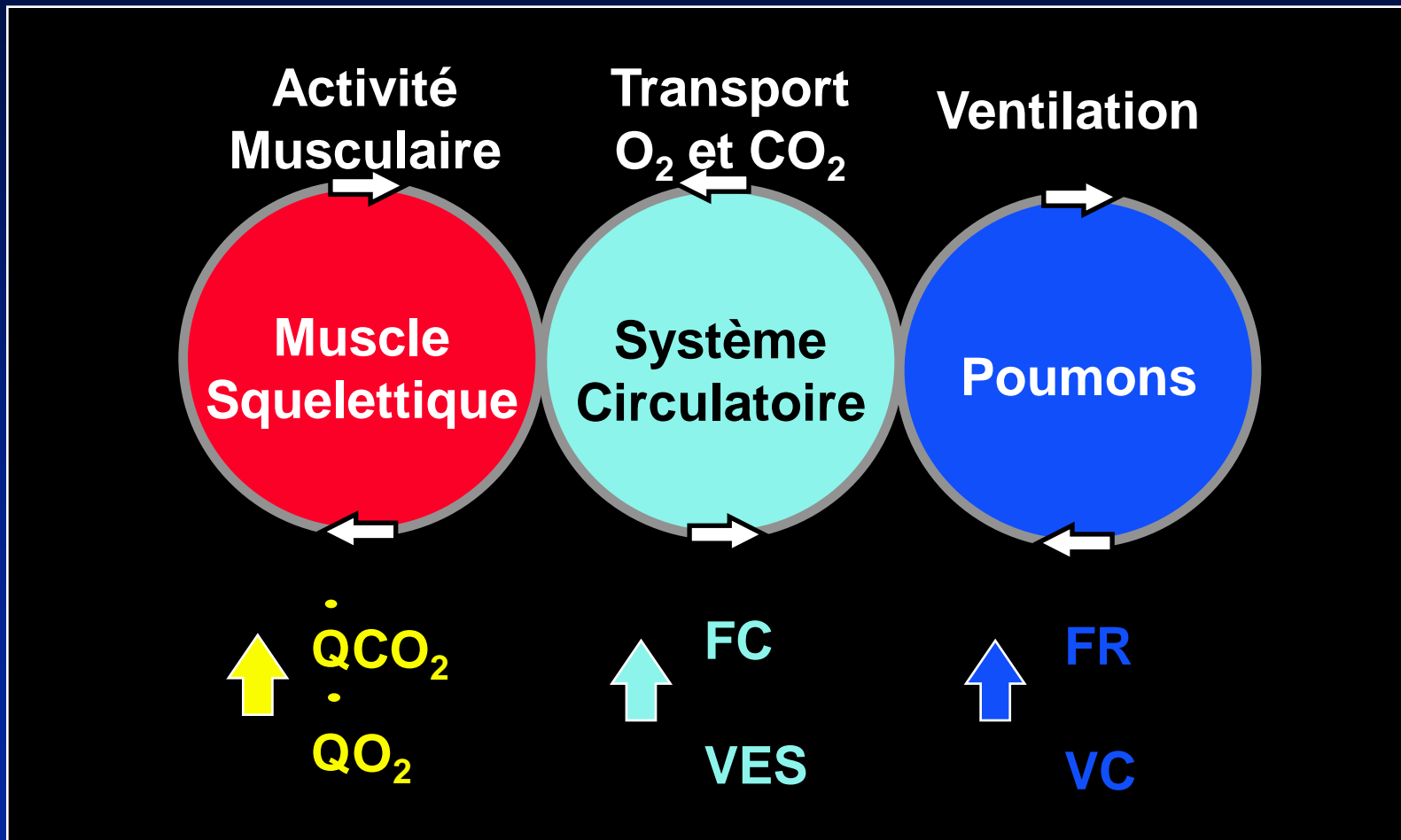
**Hémodynamique  
cardiaque**

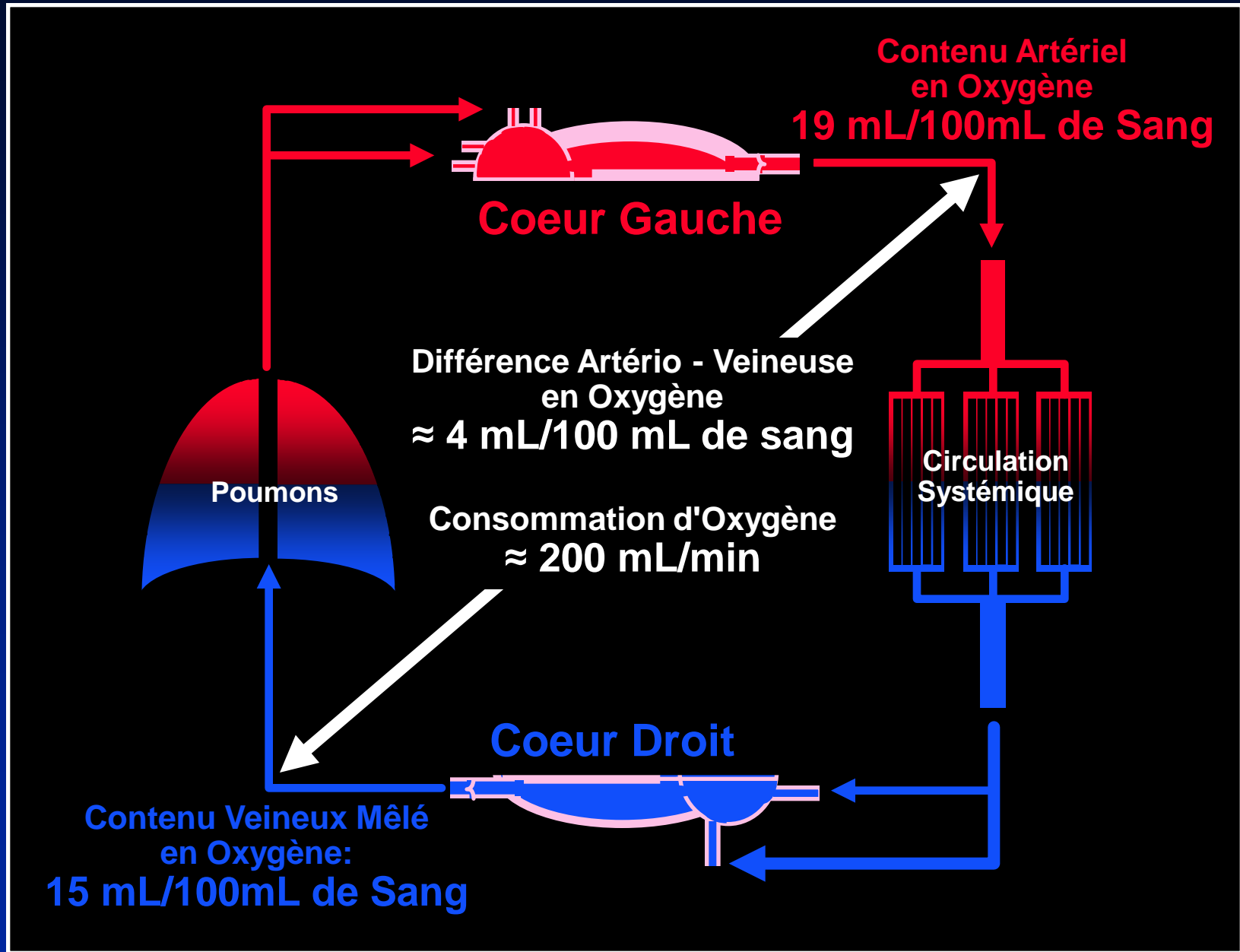
**Régulation de la performance  
cardiaque**

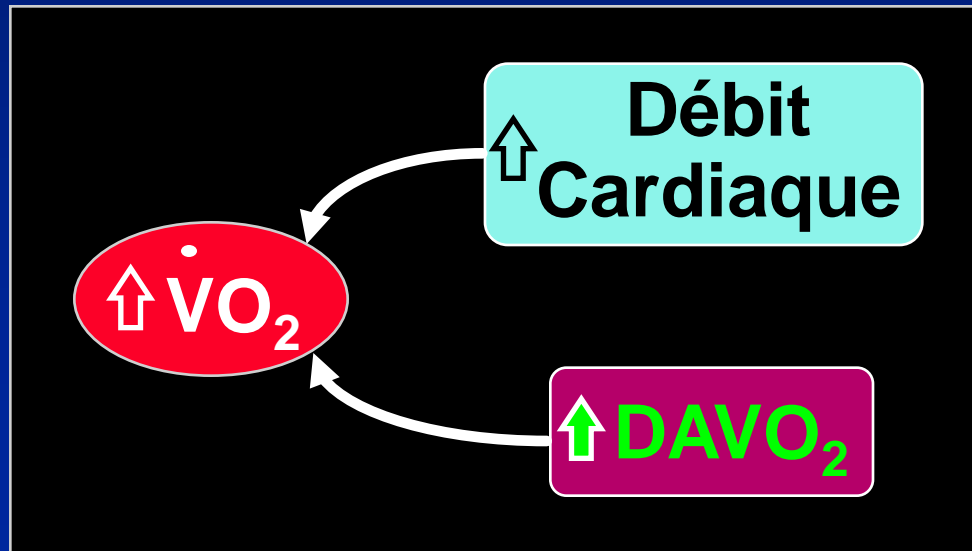
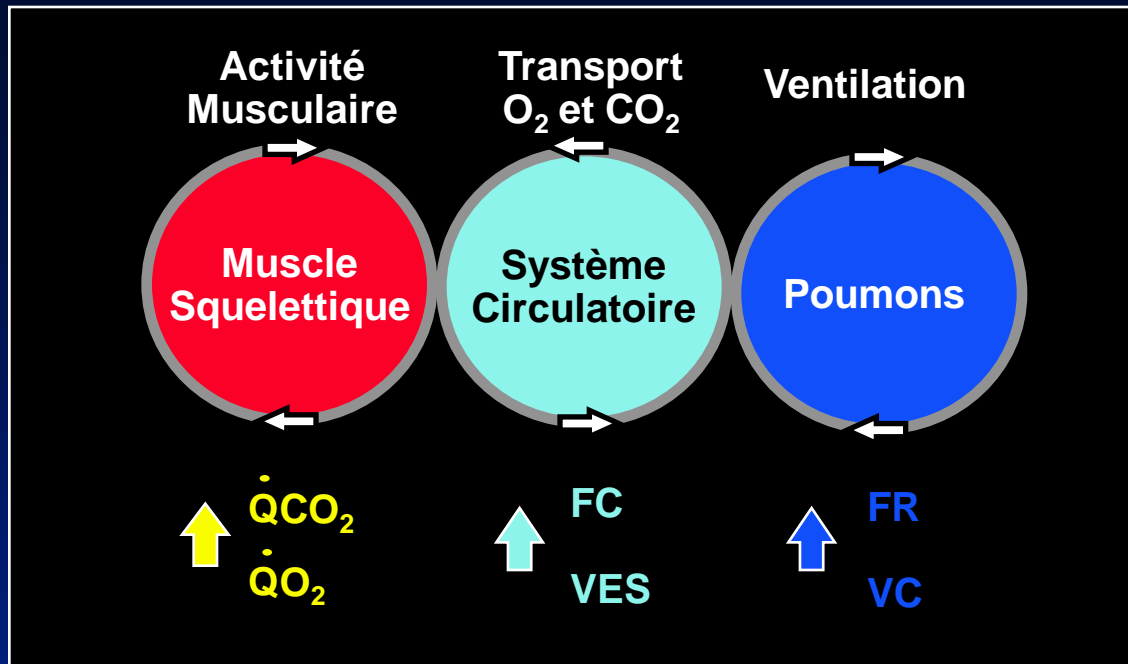
**Pr J.-J. Mercadier**



# Exercice Musculaire







# Physiologie

Contraction Relaxation

Distension

Pressions

Artère

Ventricule

Volume Ventriculaire

Bruits du Coeur

B4

B1

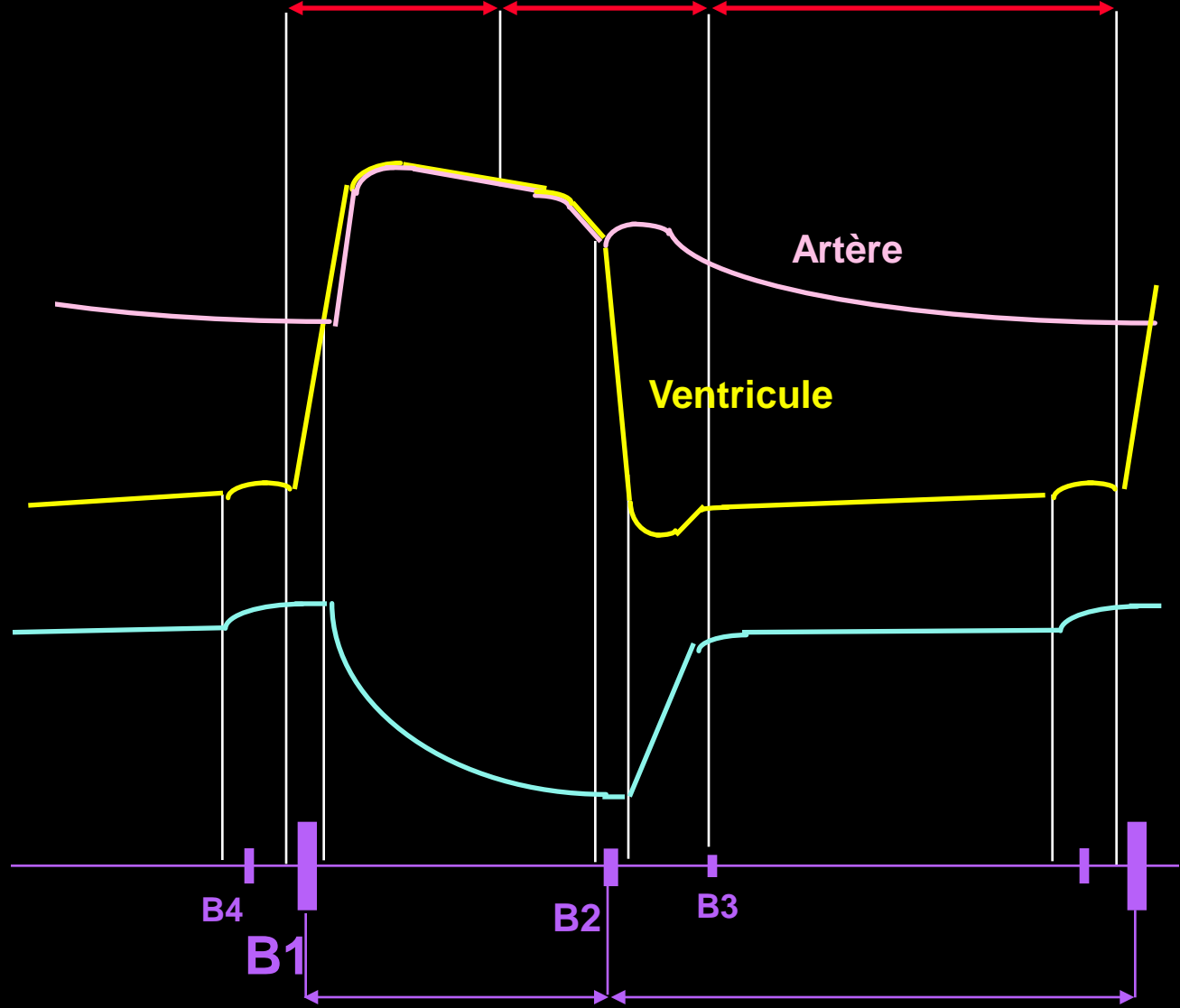
B2

B3

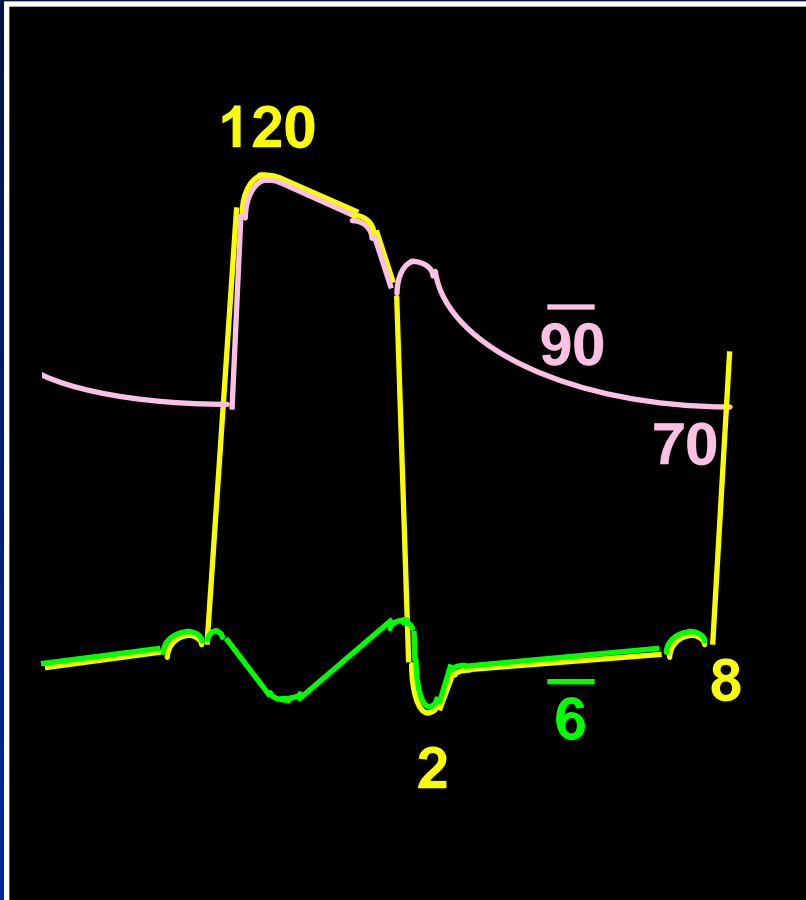
Clinique

Systole

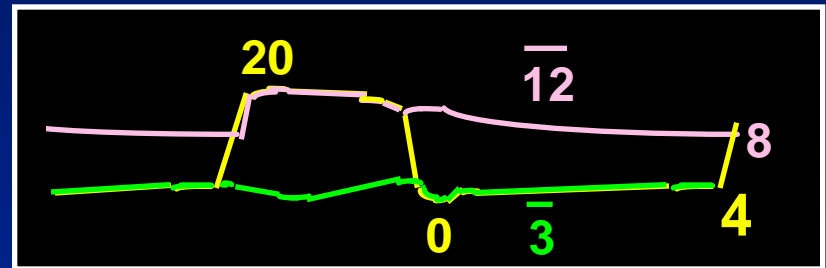
Diastole



# Pressions



Cavités Gauches

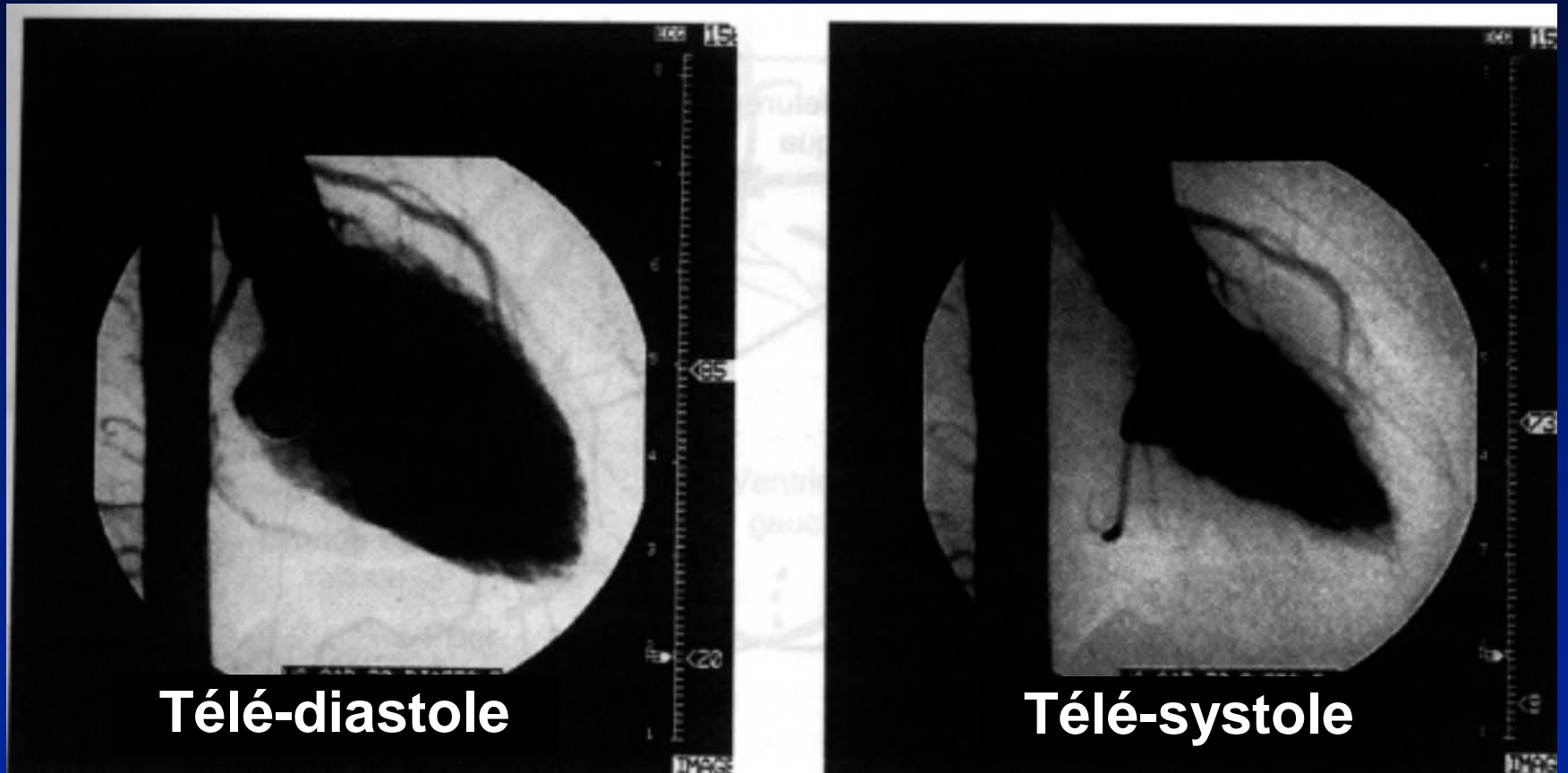


Cavités Droites

# **Déterminants du Débit cardiaque**



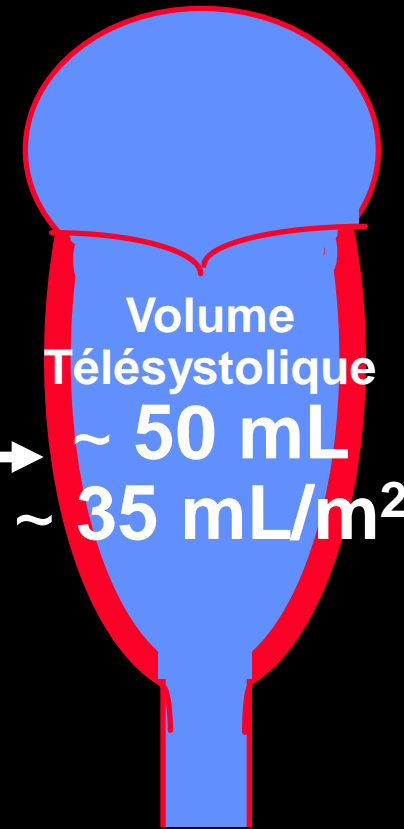
# Ventriculographie Gauche



$$\text{VTD} - \text{VTS} = \text{VES}$$



Volume d'Ejection  
Systolique  
70 mL  
~ 45 mL/m<sup>2</sup>



Fraction d'Ejection  
~ 60%

# Débit Cardiaque

Volume d'Ejection Systolique x Fréquence Cardiaque

70 mL x 70 batt/min

**~ 5 ± 1 L/min**

# Index Cardiaque

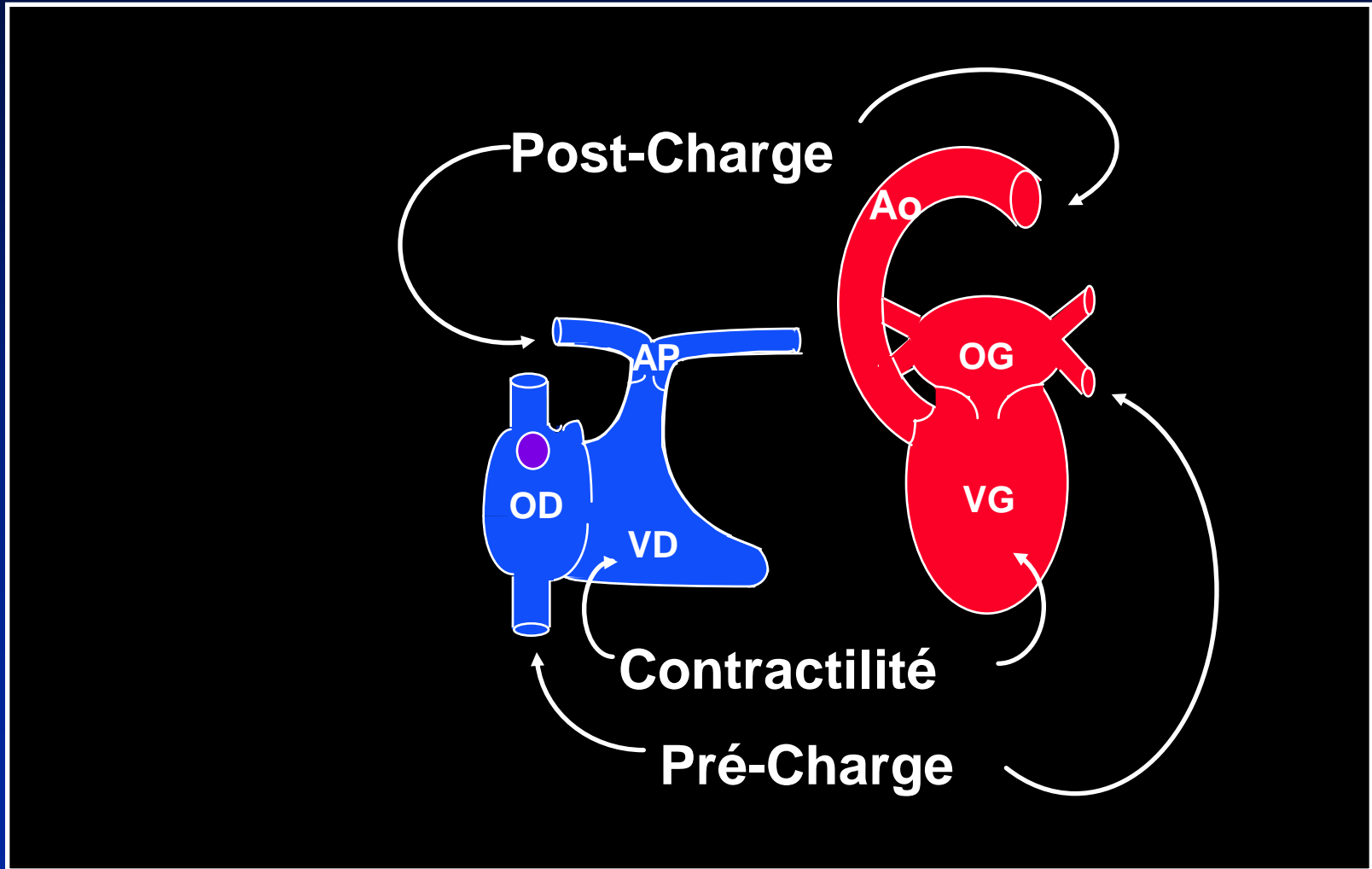
Débit Cardiaque / Surface Corporelle

**3,3 ± 0,3 L/min/m<sup>2</sup>**

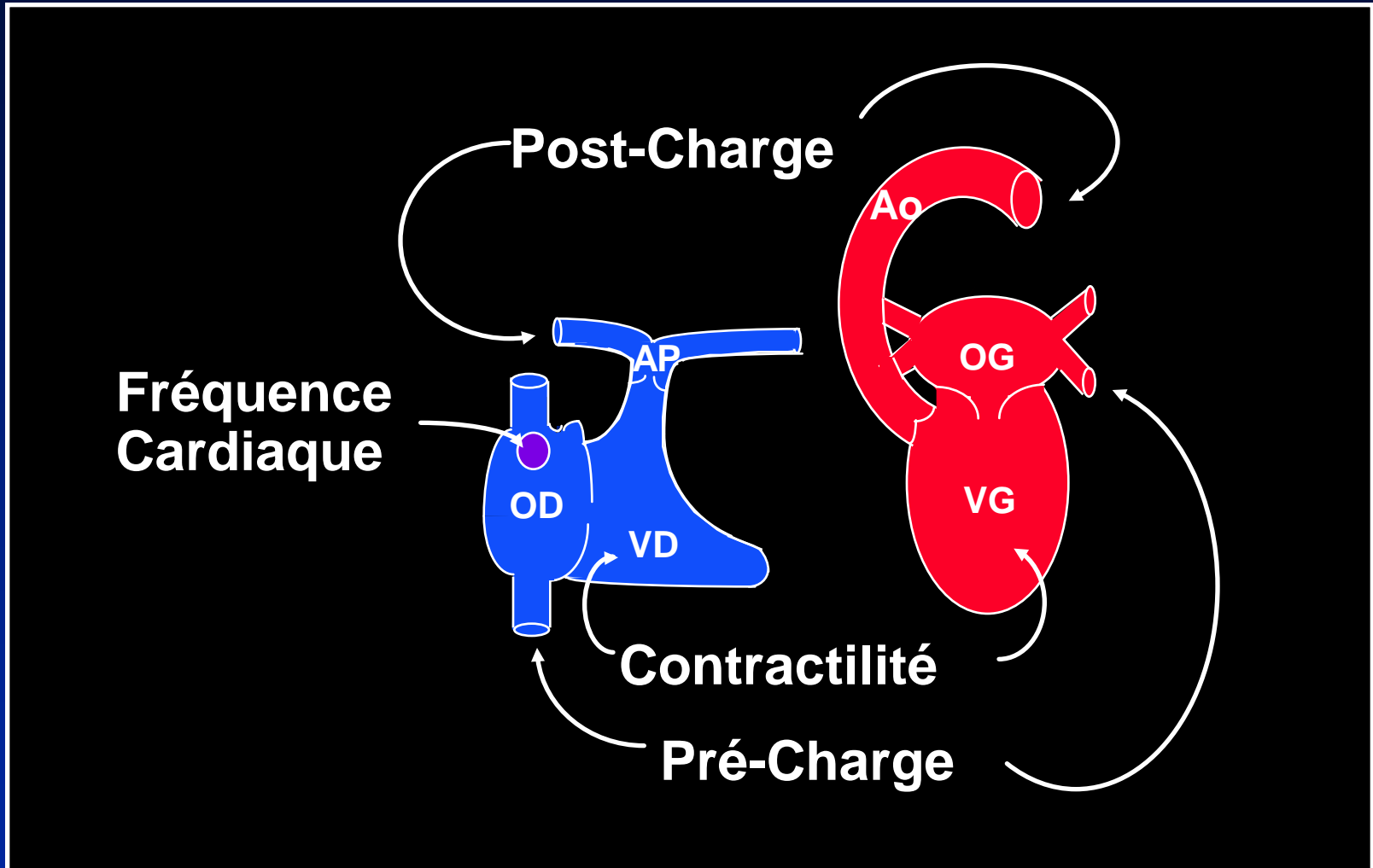
# **Déterminants de la performance ventriculaire**

**= déterminants du VES**

# Déterminants de la performance ventriculaire (du volume d'éjection systolique=VES)



# Déterminants du débit cardiaque



## **3 niveaux à prendre en compte pour apprécier la performance contractile du cœur :**

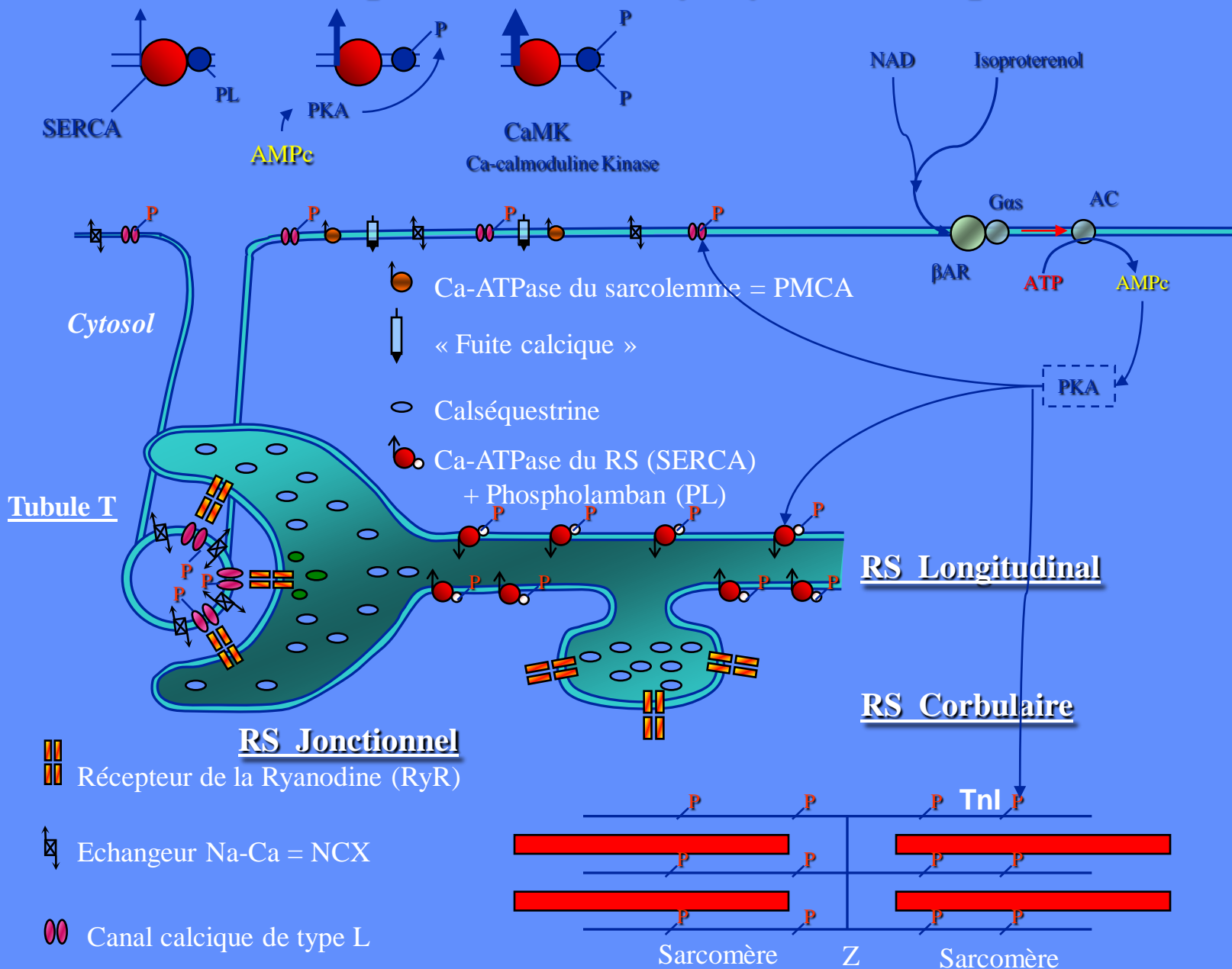
- Le myocyte**
- Le myocarde**
- Le cœur (= ventricule)**

# Déterminants de la performance contractile du myocyte isolé

- Quantité de  $\text{Ca}^{2+}$  libéré par le RS
- Sensibilité des myofibrilles à ce calcium
- Activité ATPasique des myofibrilles/myosine



# Effet de la stimulation sympathique sur les principales protéines du myocyte cardiaque



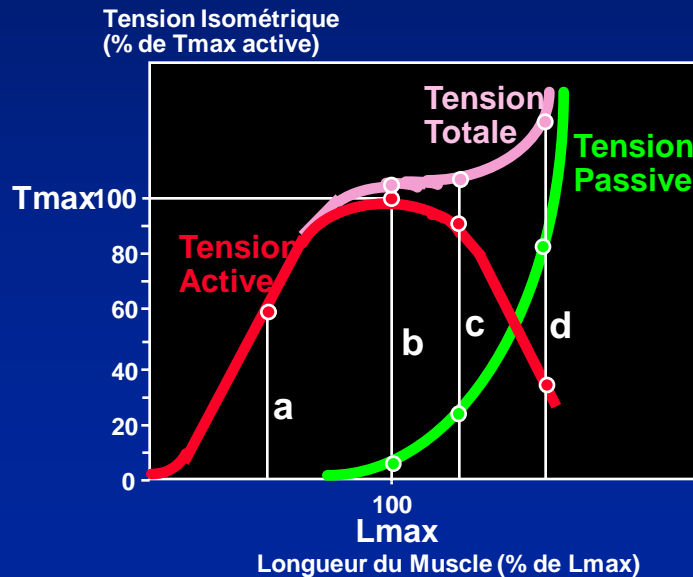
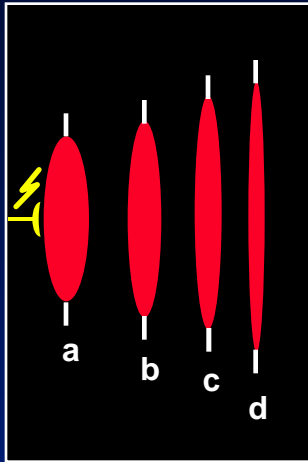
# Déterminants de la performance contractile du myocarde isolé

## Muscle papillaire isolé

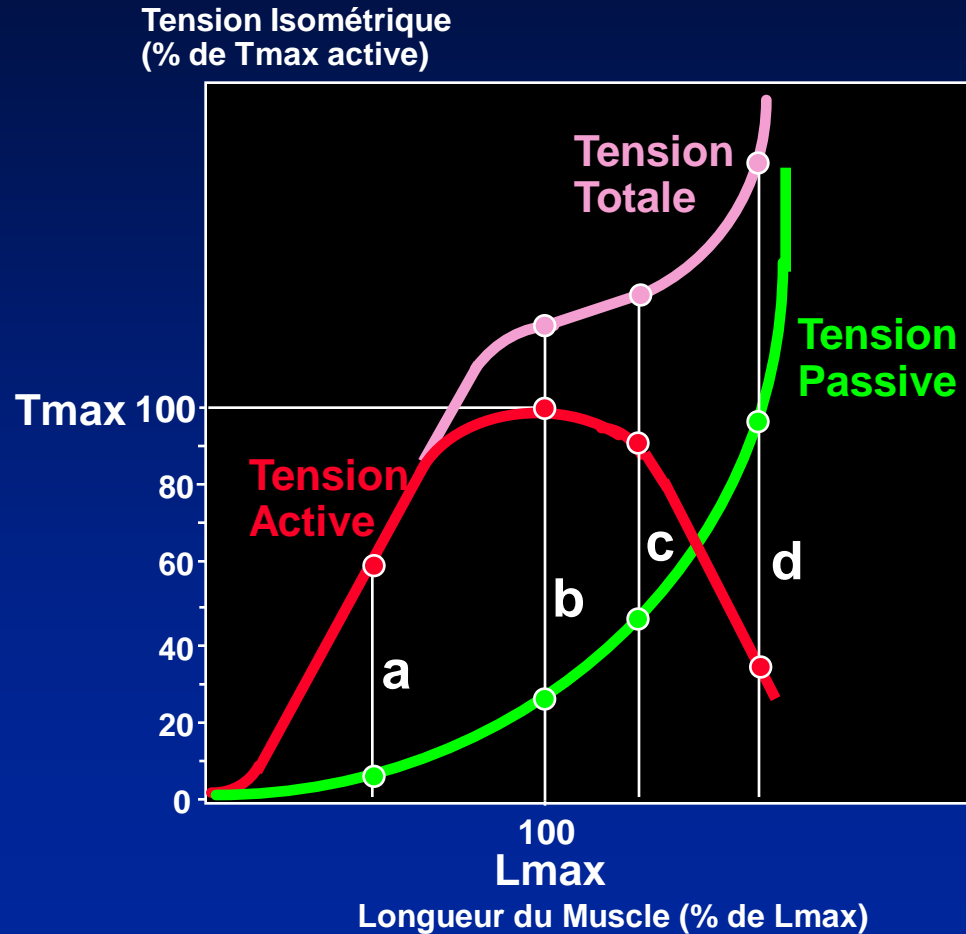
- 1) Contraction isométrique et relation Force/Longueur
- 2) Contraction isotonique et relation Force/Vitesse

Effet de la  
**Précharge**  
Etudié en  
**Isométrie**

# Effet de la longueur initiale du muscle (précharge) : Relation Tension-Longueur (Contractions Isométriques)



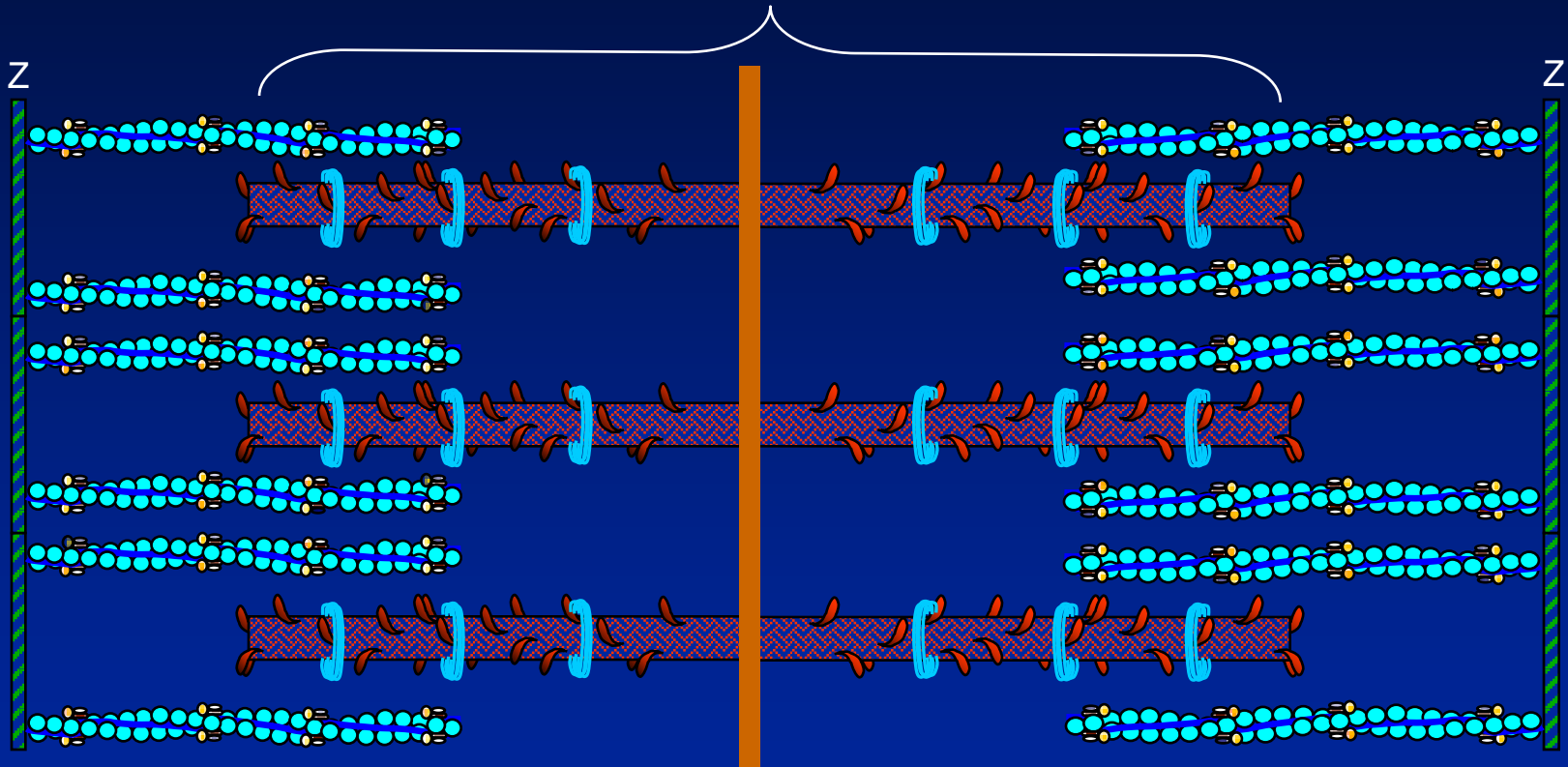
**Muscle Squelettique**



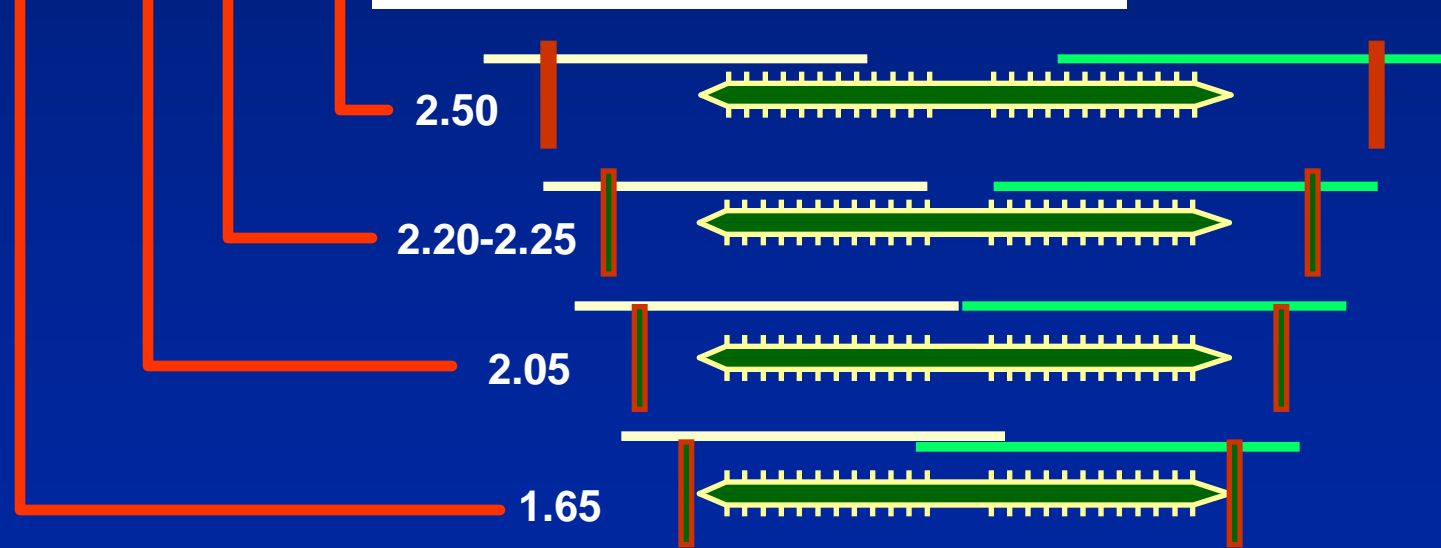
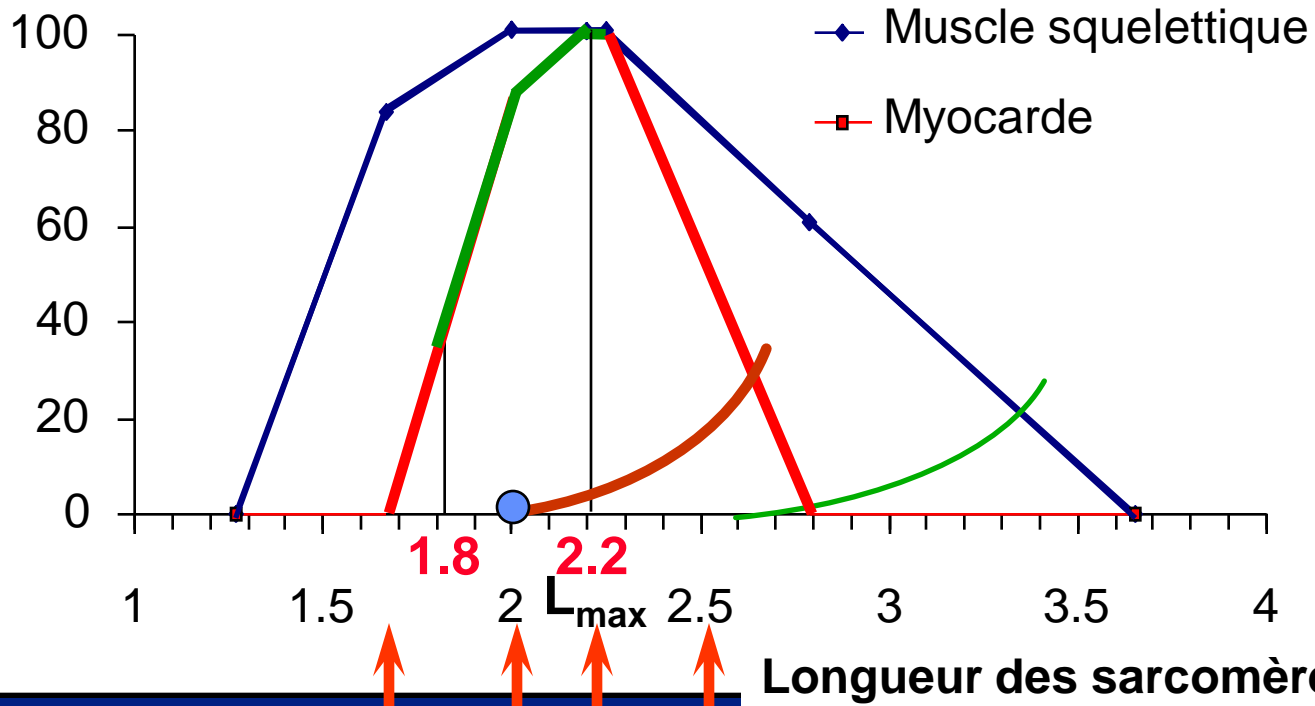
**Myocarde**

# Le sarcomère

Bande A (anisotrope)



# Relation tension-longueur

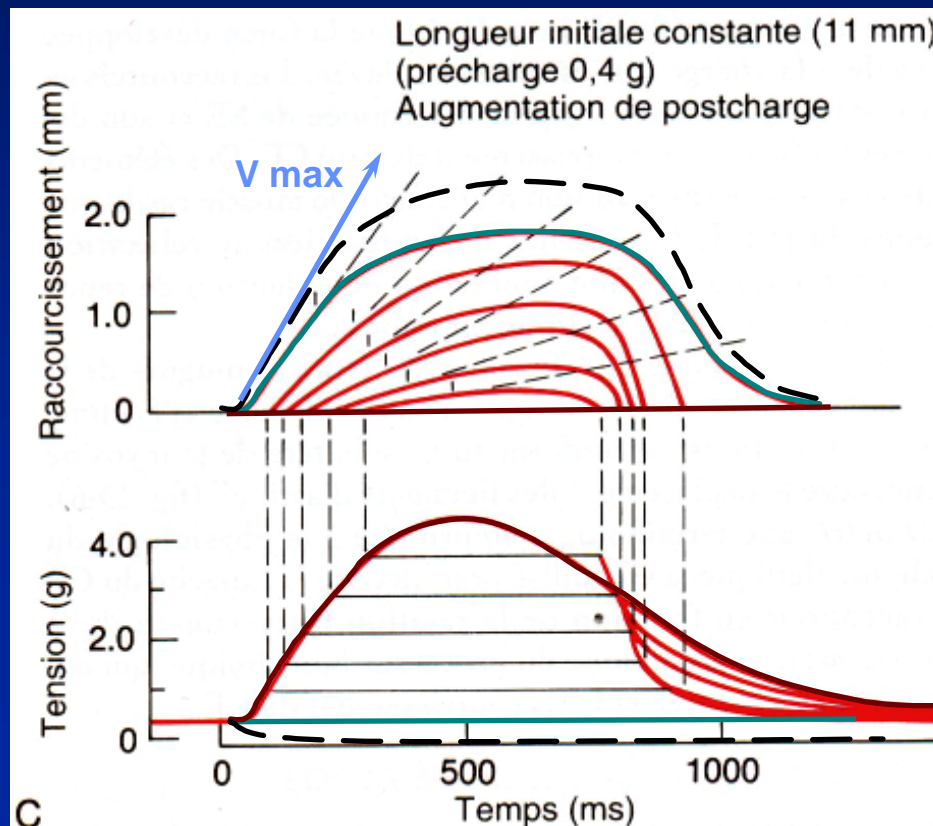
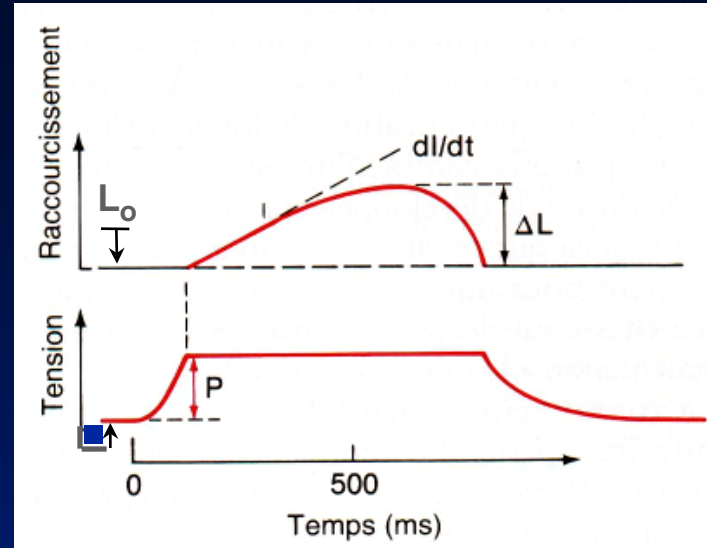
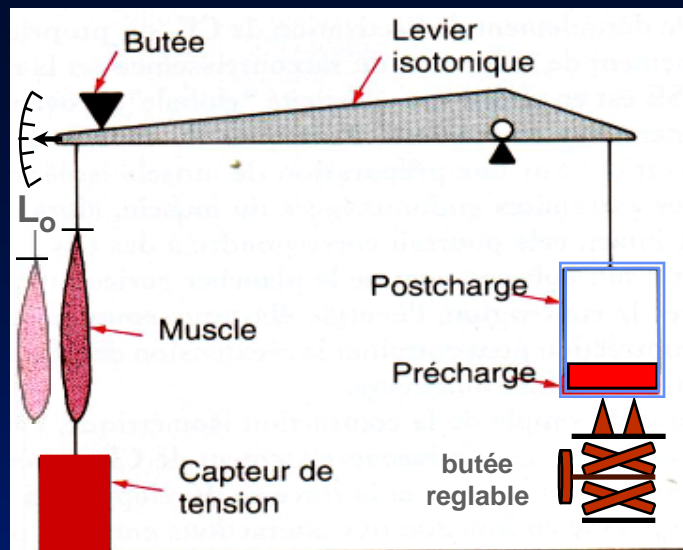


# Déterminants de l'augmentation de force consécutive à l'augmentation de longueur du muscle

- Optimisation du degré de recouvrement des filaments fins et épais du sarcomère
- Rapprochement des filaments fin et épais
- Augmentation de la sensibilité de la troponine C au  $\text{Ca}^{2+}$
- Augmentation de la quantité de  $\text{Ca}^{2+}$  libérée par le réticulum sarcoplasmique

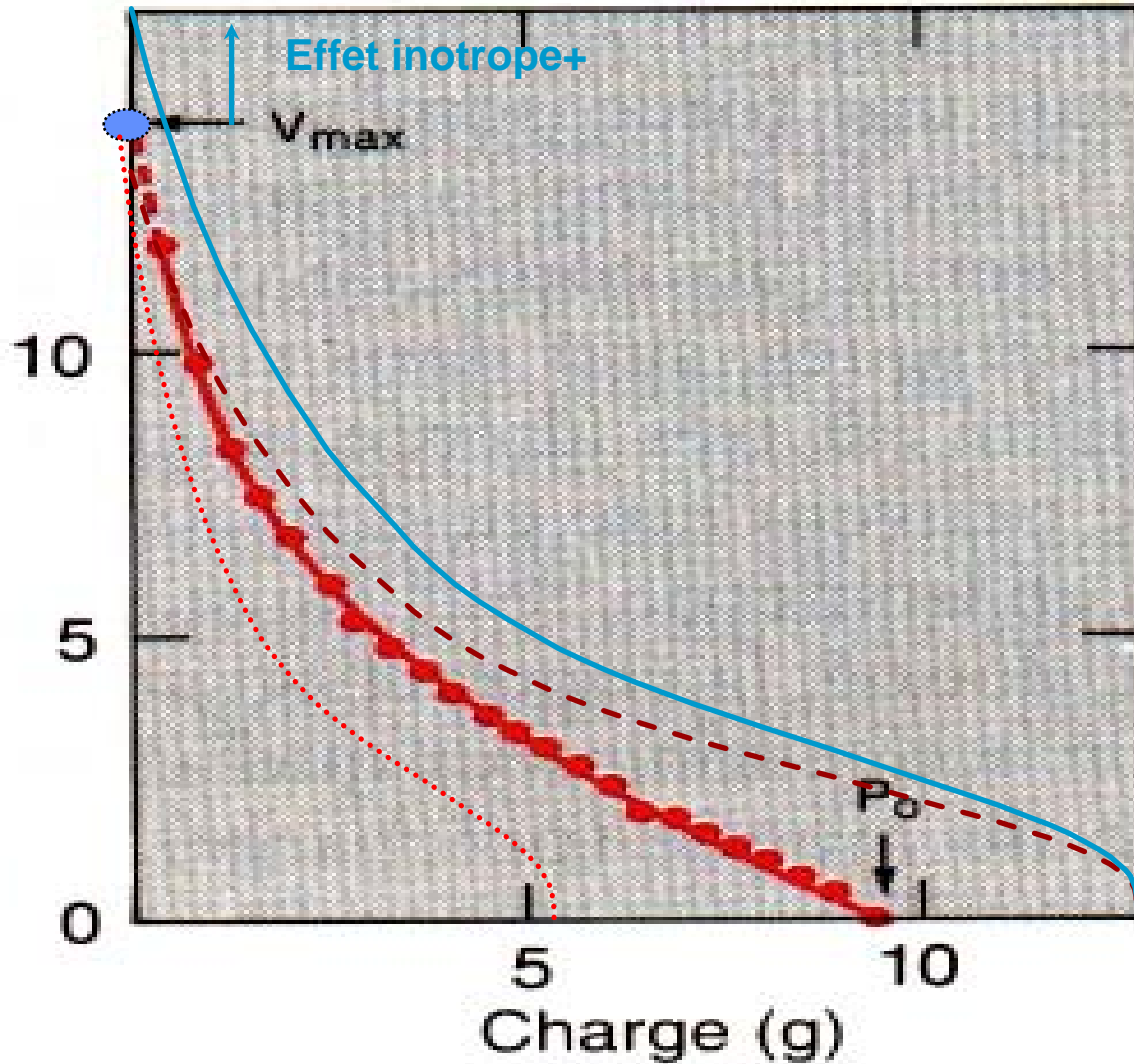
Modification de la  
**Postcharge**  
et de la  
**Contractilité**  
étudié en  
**isotonie**





# Muscle papillaire de chat $P_o$

Vitesse initiale de raccourcissement (mm/s)



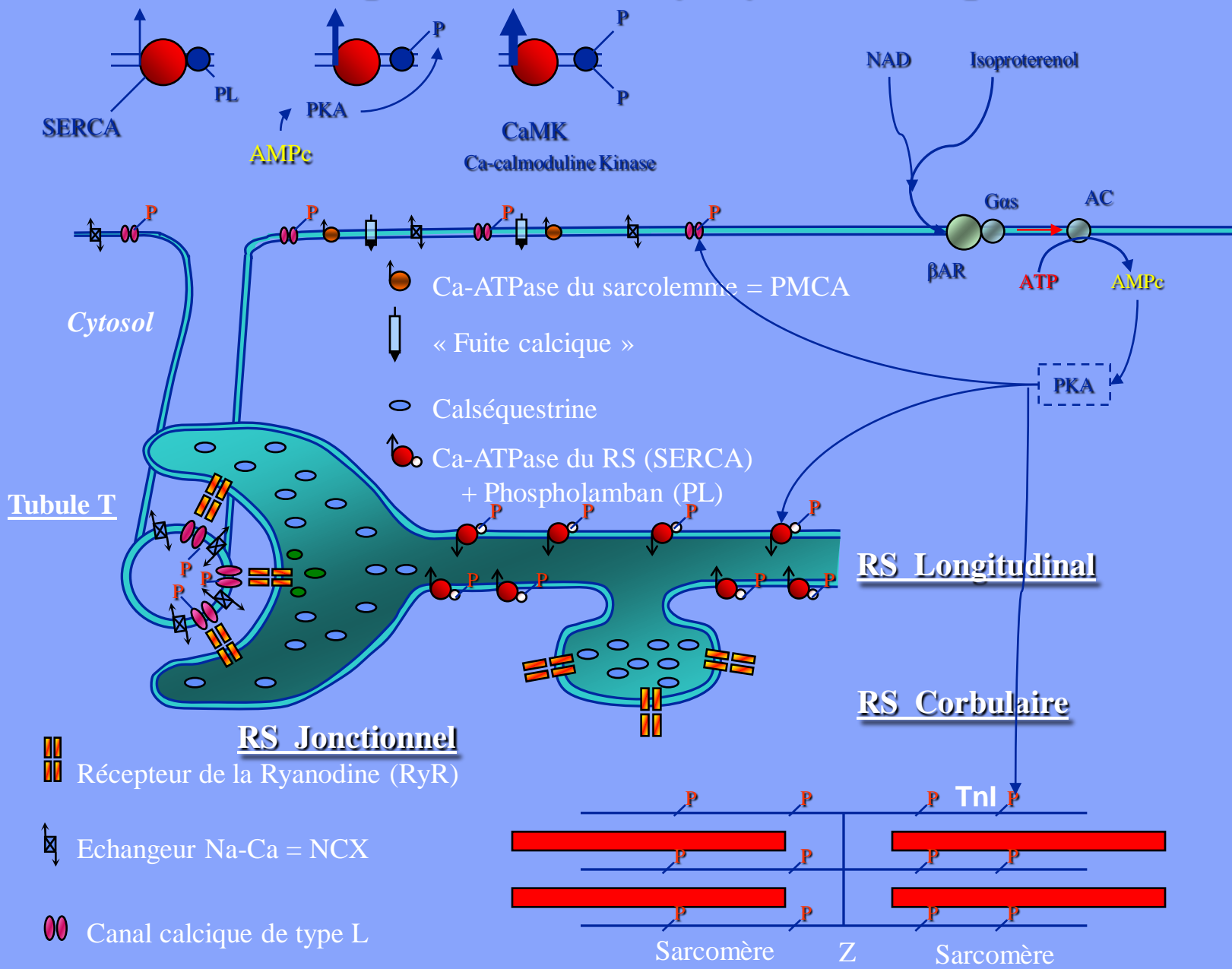
Effet inotrope+

$V_{max}$

$P_0$

Charge (g)

# Effet de la stimulation sympathique sur les principales protéines du myocyte cardiaque



# Déterminants de la performance contractile du ventricule (G)

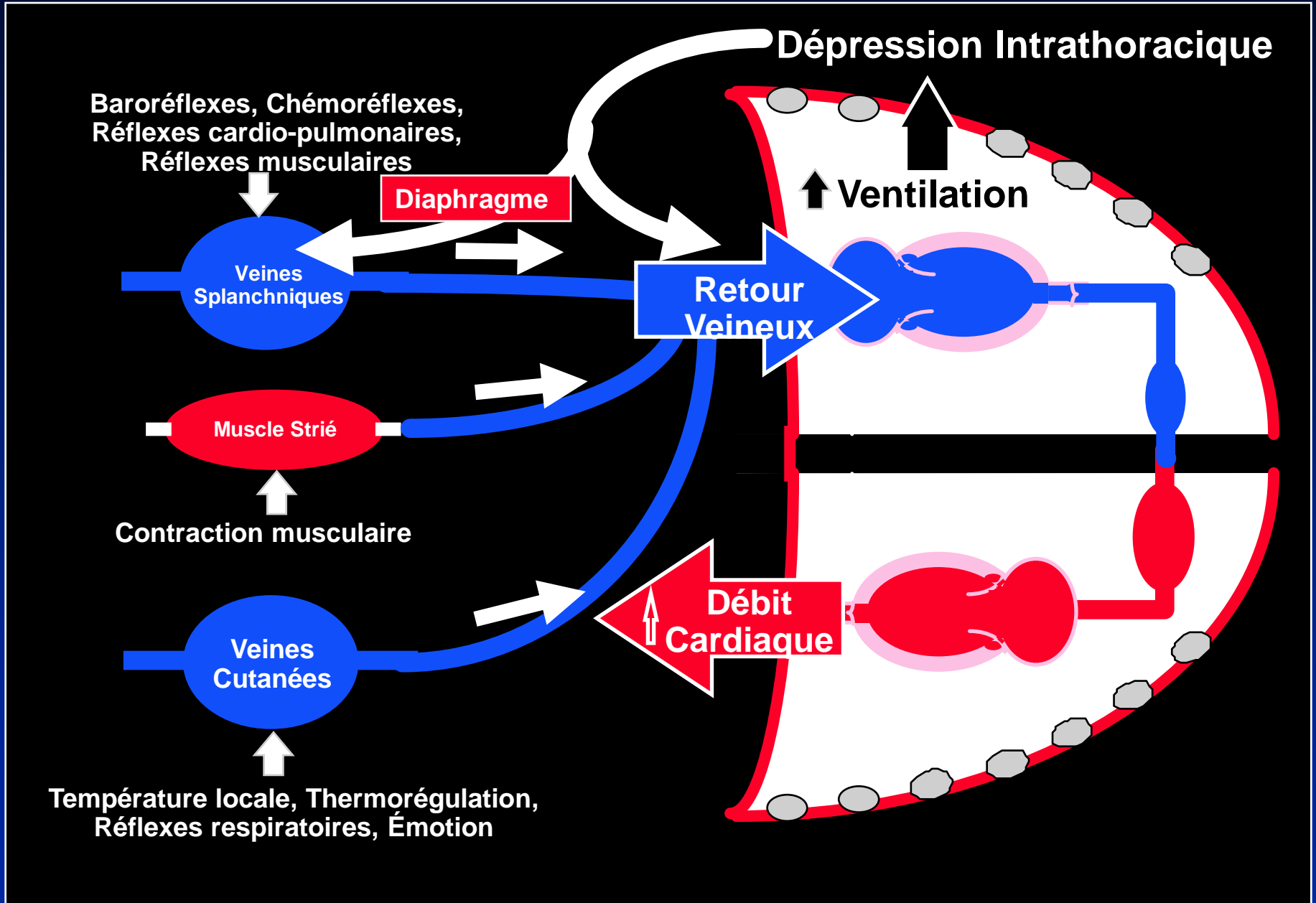
Précharge

Postcharge

Contractilité

# **Précharge** du ventricule

# Déterminants du retour veineux



# Transposition de la relation force – longueur initiale (effet d'une variation de précharge) au niveau du cœur entier

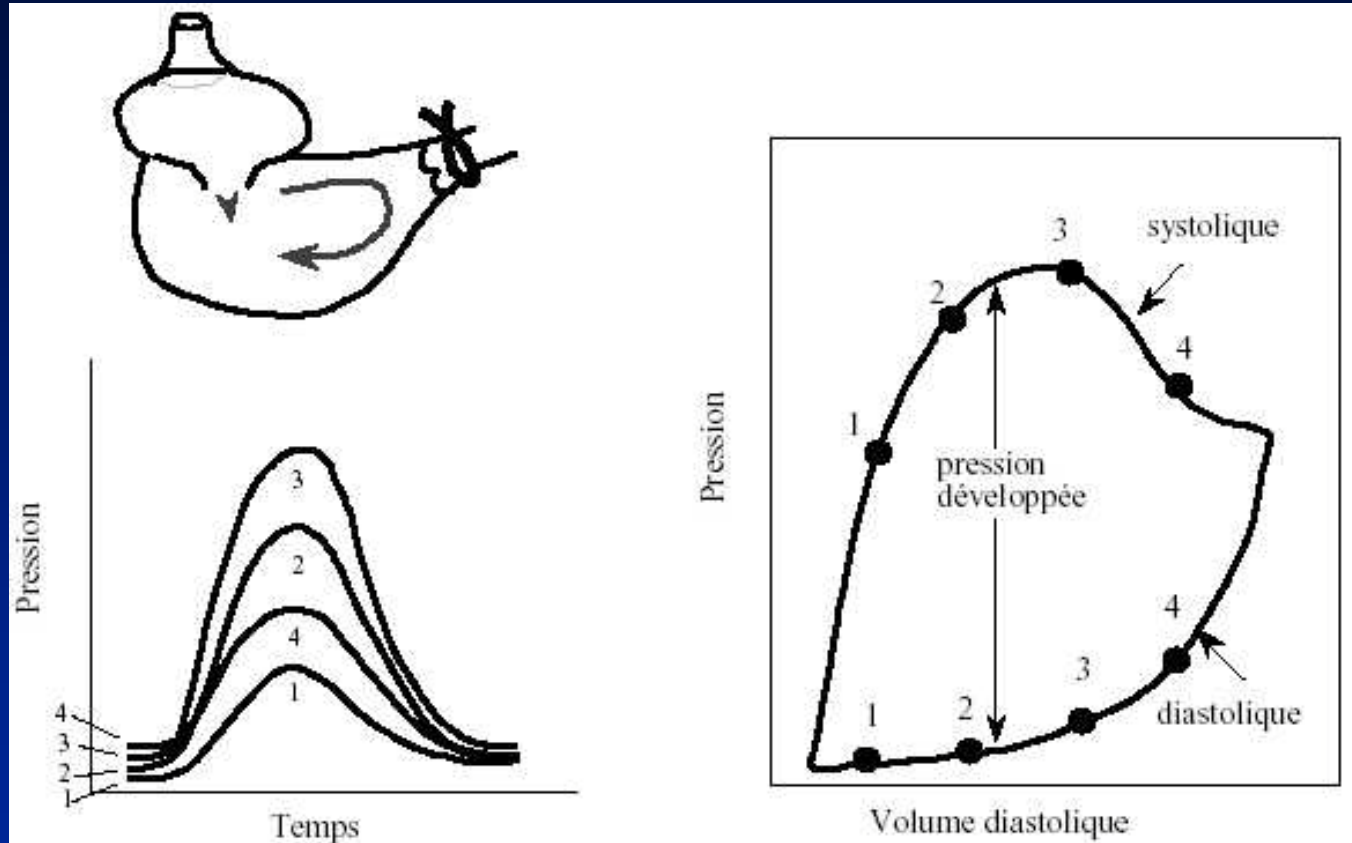
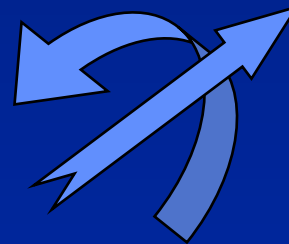
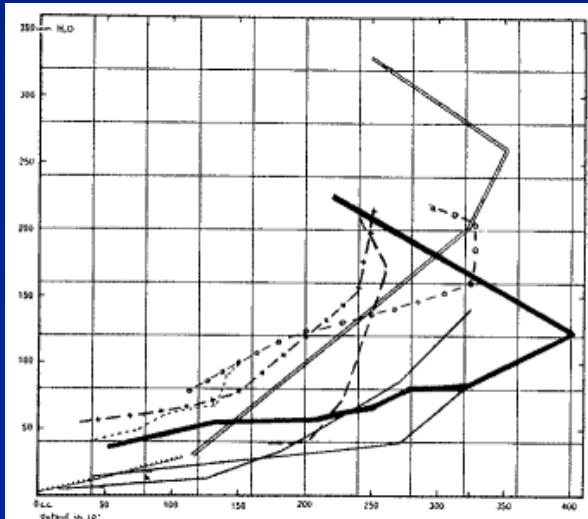
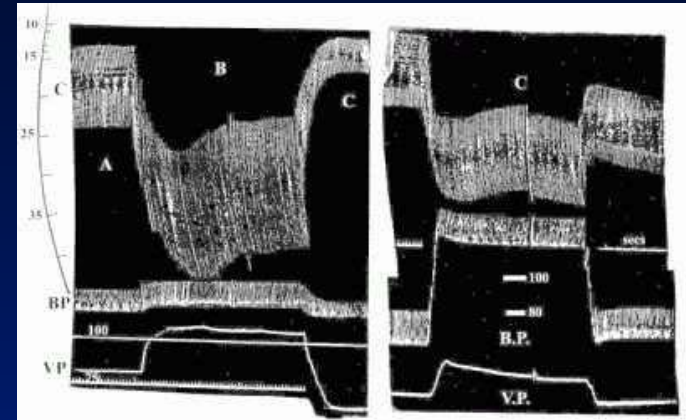
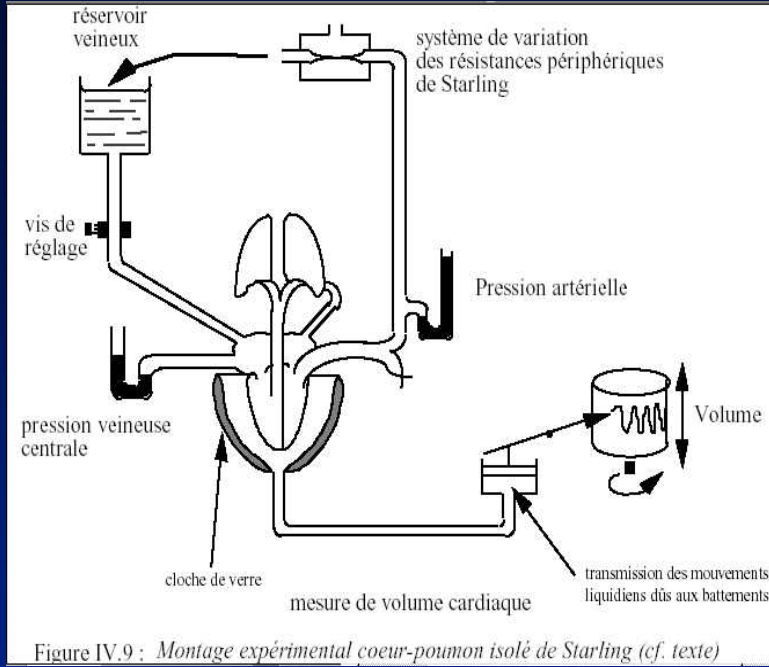


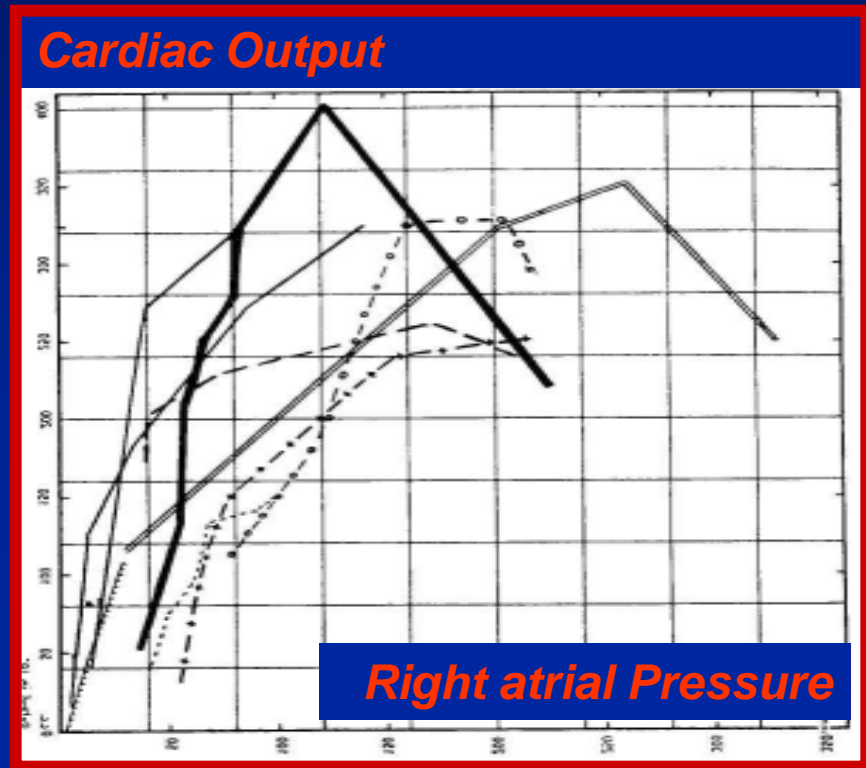
Figure IV. 8 :

*Expérience de Frank (1895) sur coeur de grenouille clampé à l'aorte alors que le remplissage ventriculaire est libre. Les cycles cardiaques 1,2,3,4 se déroulent avec des volumes télédiastoliques croissants. Jusqu'au 3e cycle, la pression produite par le ventricule augmente. Cependant au 4e cycle, la pression systolique décroît.*

# Transposition de la relation force – longueur au niveau du cœur éjectant

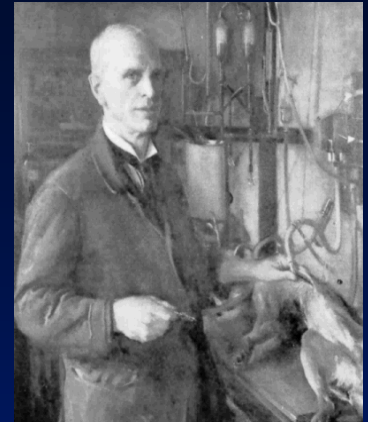


Starling  
1912





# Courbes de fonction ventriculaire

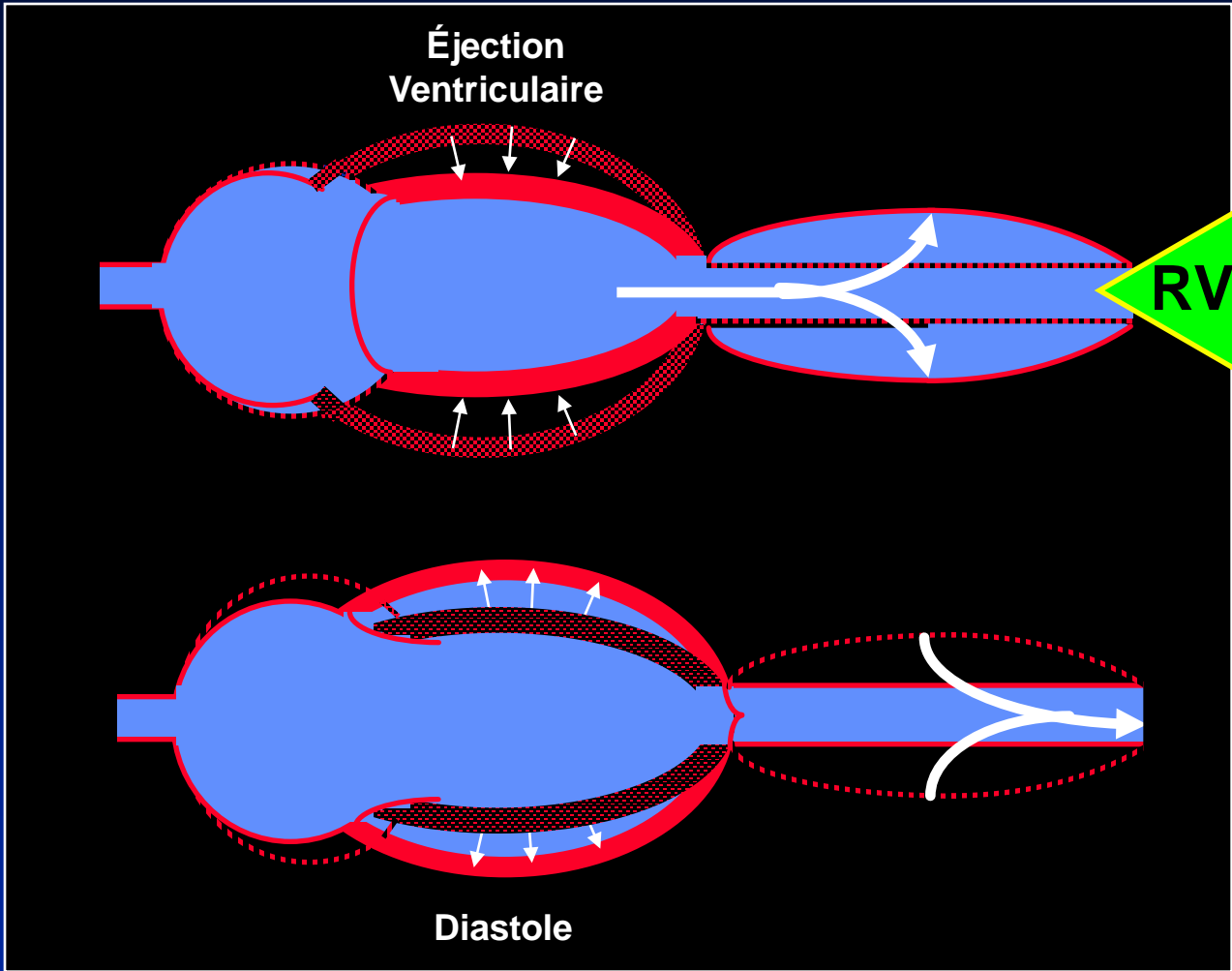


Débit cardiaque  
ou VES (fréquence  
constante)



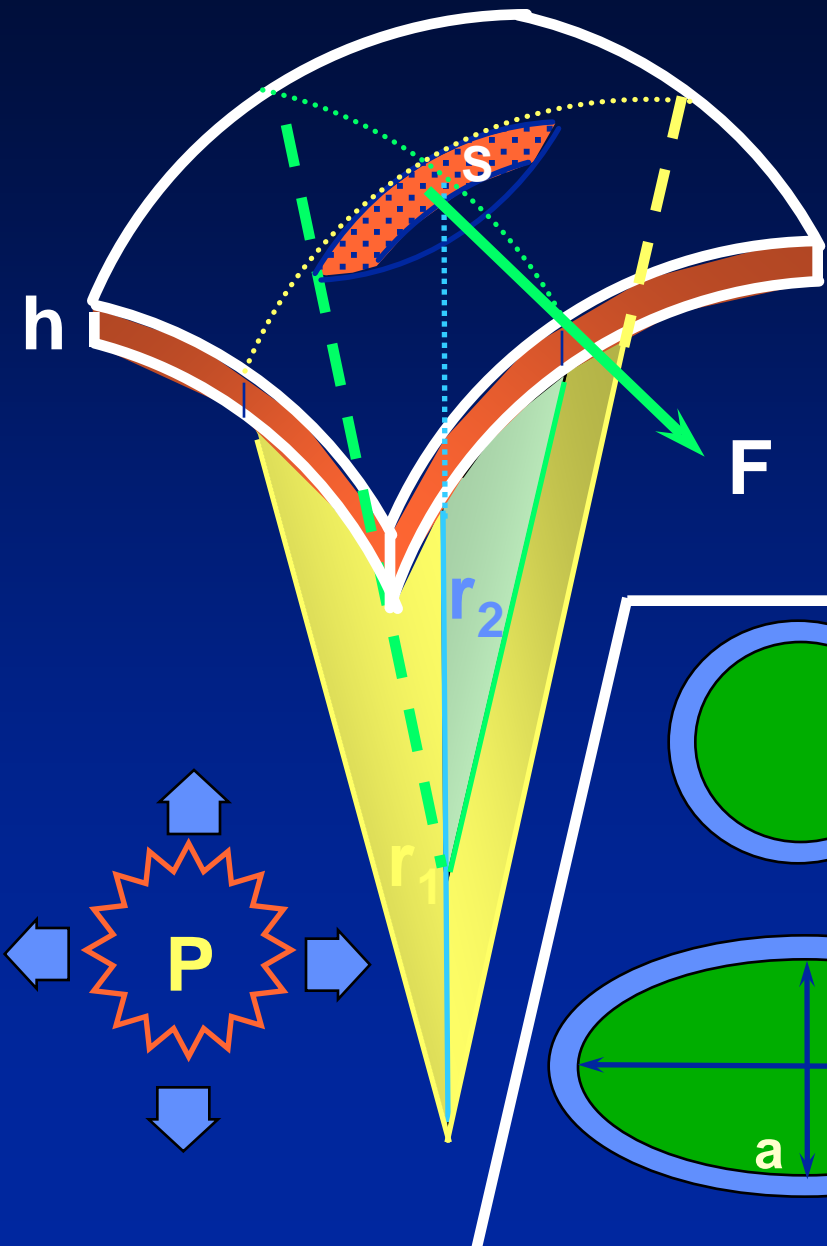
P OD → VTD VG → PTD VG  
= augmentation de précharge

# **Postcharge** du ventricule



# Postcharge

Contrainte pariétale  
Loi de Laplace



$$\sigma = F / S$$

$$P = \sigma \times h \times (1/r_1 + 1/r_2)$$

$$\sigma = P r / 2h$$

$$\sigma = P r / h \times f(a/b)$$

# Postcharge

# Contrainte pariétale ( F / S )

**Paramètre « régulé »**

Rôle de la géométrie ventriculaire

contrainte

Laplace :  $\sigma = P \times r / h \times f(a, b)$

Rôle des propriétés  $\Phi$  du système artériel

Notion d' impédance artérielle

$$Z = f ( R, L, C, \text{fréquence} )$$

# Aortic Stiffening and Early Wave Reflection

**Young compliant arteries : Normal PW velocity (8 m/sec)**

**Diastole**



- (1) Ventricular-Vascular coupling
- (2) ↑ coronary blood flow

**Elderly stiff arteries with ISH : Increased PW velocity (12 m/sec)**

**Systole**



- (1) Ventricular-vascular mismatch
- (2) The reflected wave increases or “augments” central SBP during late systole:

- - Increases vascular afterload with a propensity to develop LVH
  - Decreases coronary perfusion pressure
  - Increases myocardial oxygen demand and subendocardial ischemia
  - Increases flow turbulence, endothelial dysfunction and atherogenesis
  - Increases in pulsatile strain and chance of plaque rupture
- All recognized by a wide brachial artery pulse pressure in the elderly

# GÉOMÉTRIE VENTRICULAIRE ET CONTRAINTE PARIÉTALE

$$\sigma = P \times \left( \frac{r}{h} \right) \times f(a, b)$$

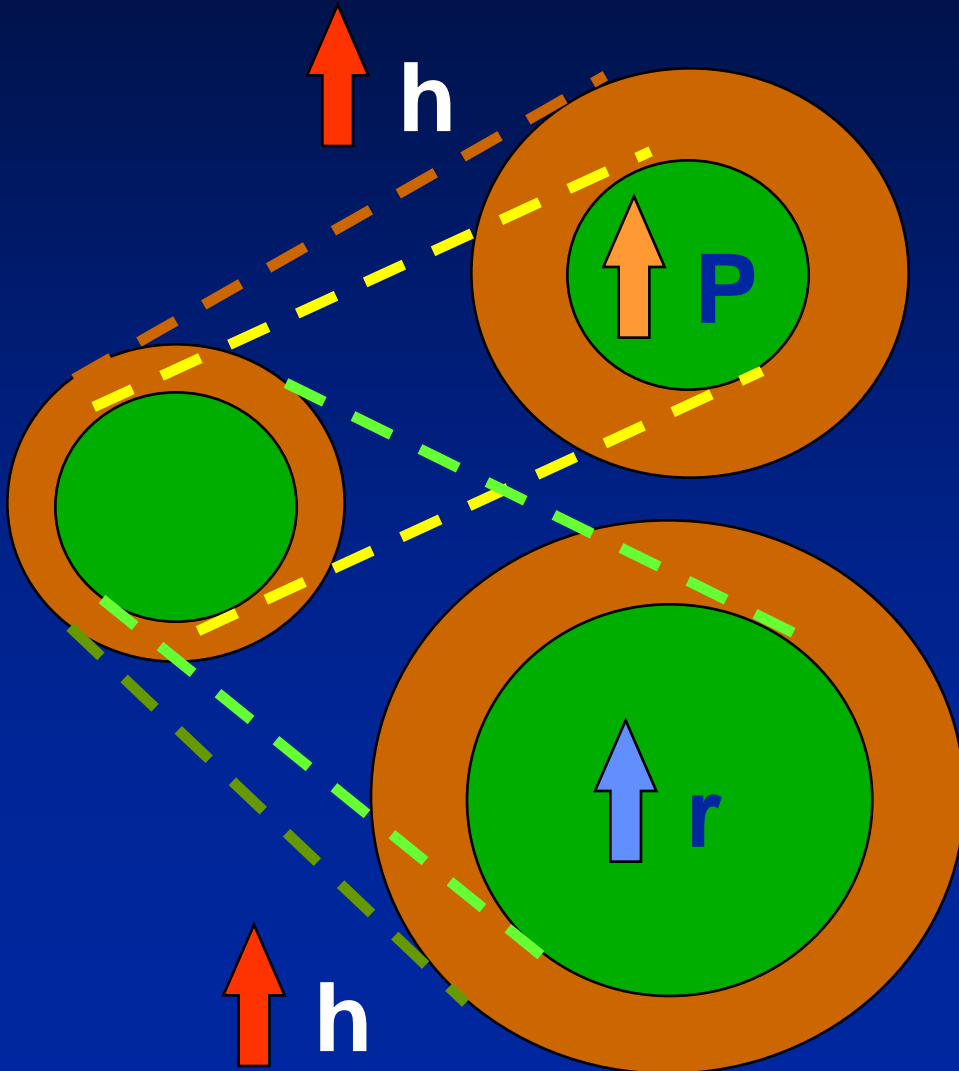
Surcharge barométrique

$$h / r$$



Surcharge volumétrique

$$h / r$$



# **Contractilité** du ventricule

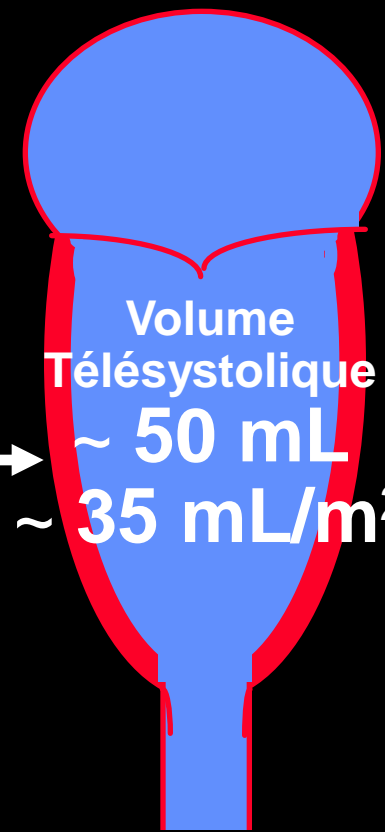
**Un état de la performance  
du ventricule qui ne dépend  
ni de la précharge  
ni de la postcharge**





Volume  
Télédiastolique  
~ 120 mL  
~ 80 mL/m<sup>2</sup>

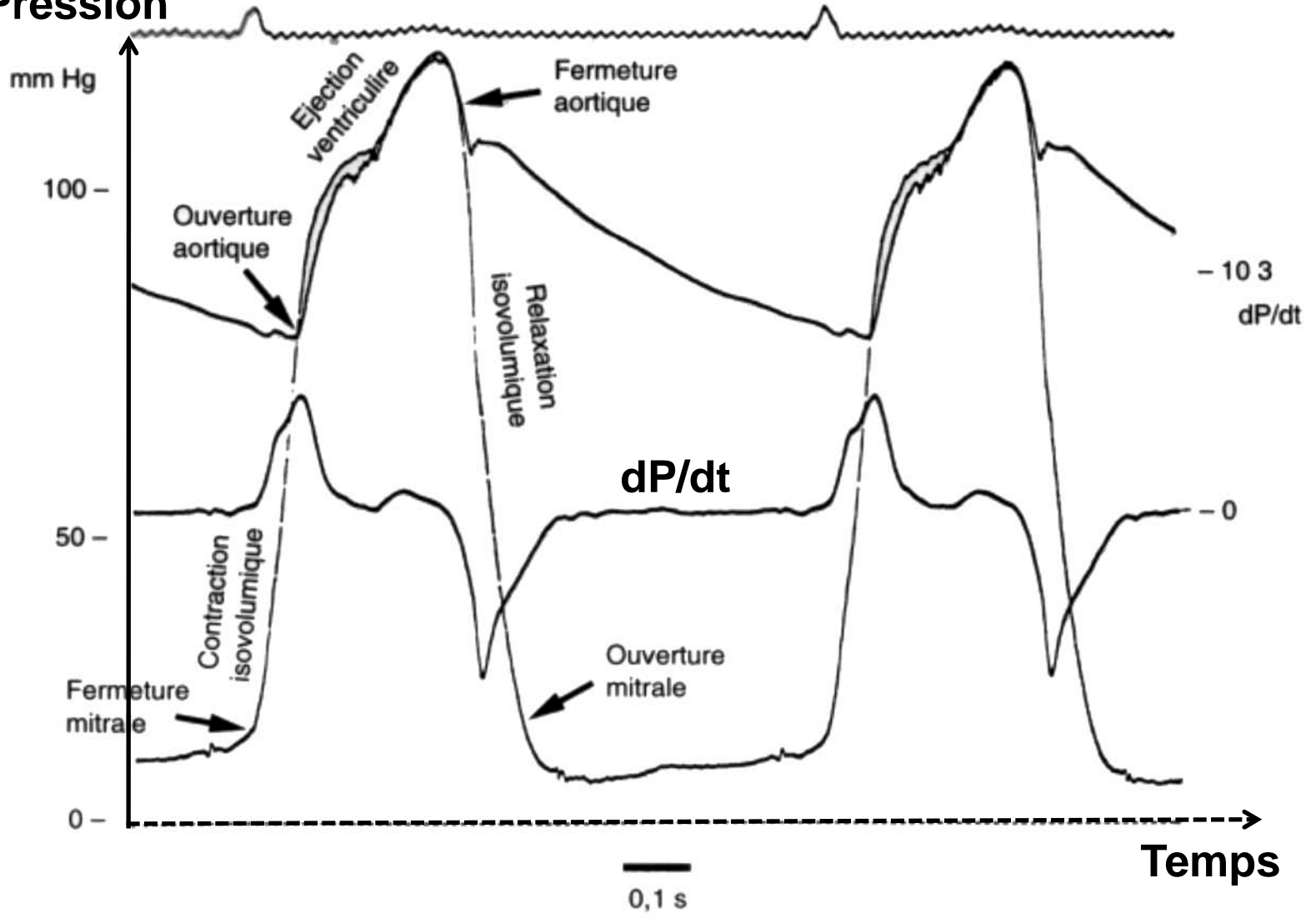
Volume d'Ejection  
Systolique  
70 mL  
~ 45 mL/m<sup>2</sup>

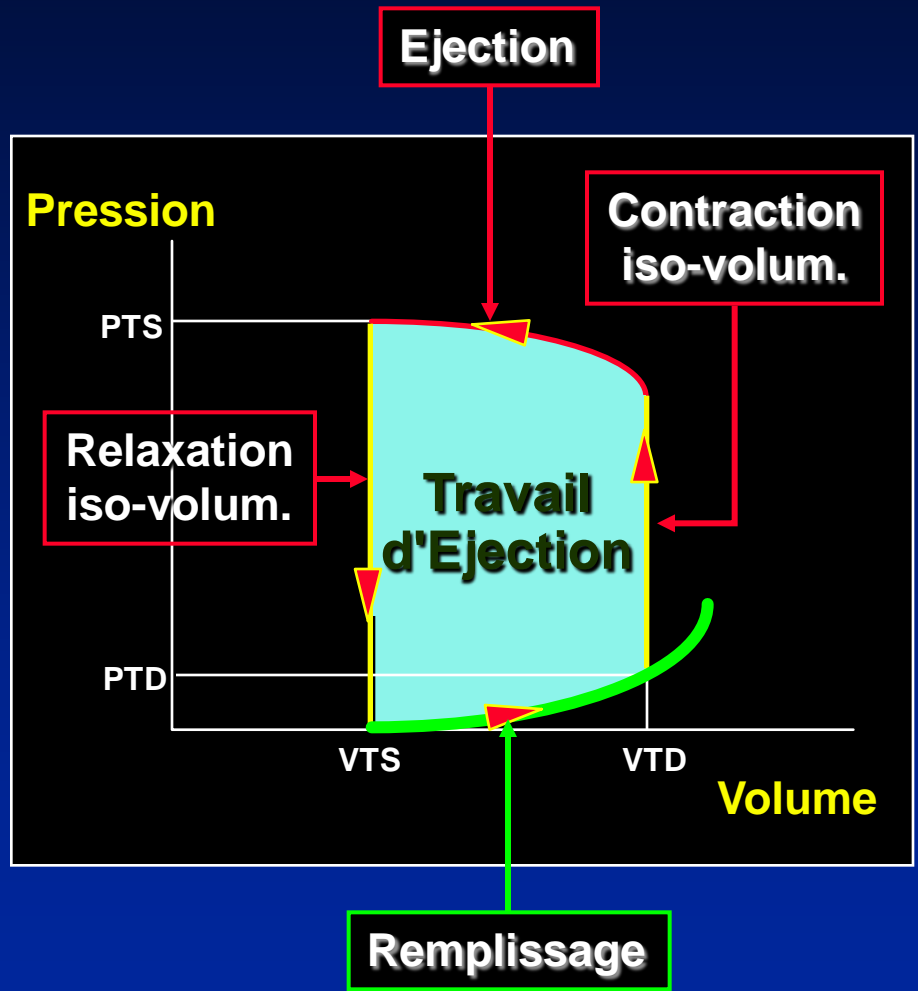
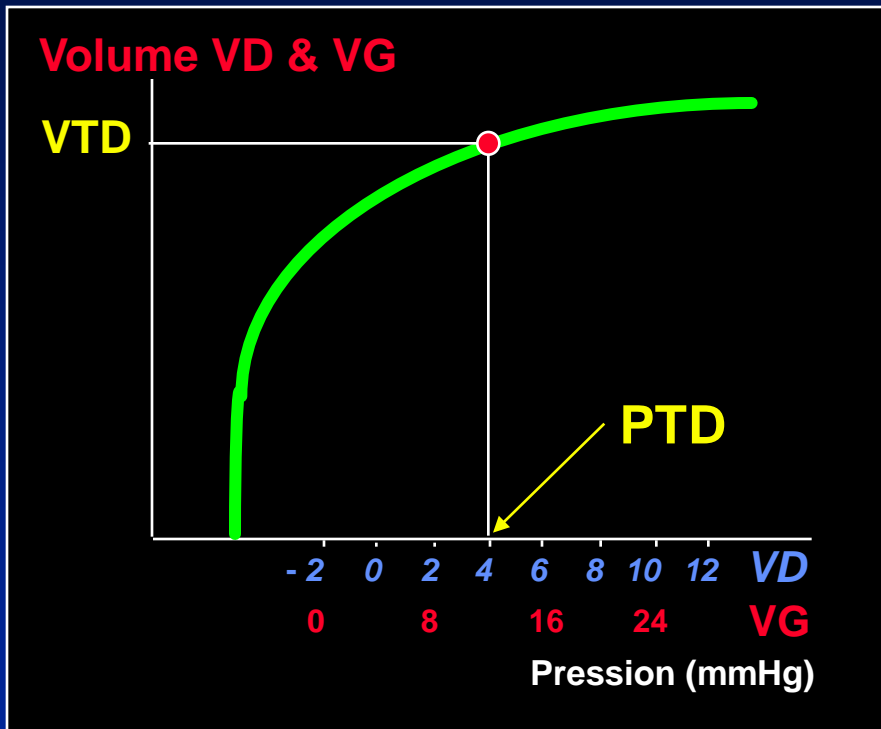


Volume  
Télésystolique  
~ 50 mL  
~ 35 mL/m<sup>2</sup>

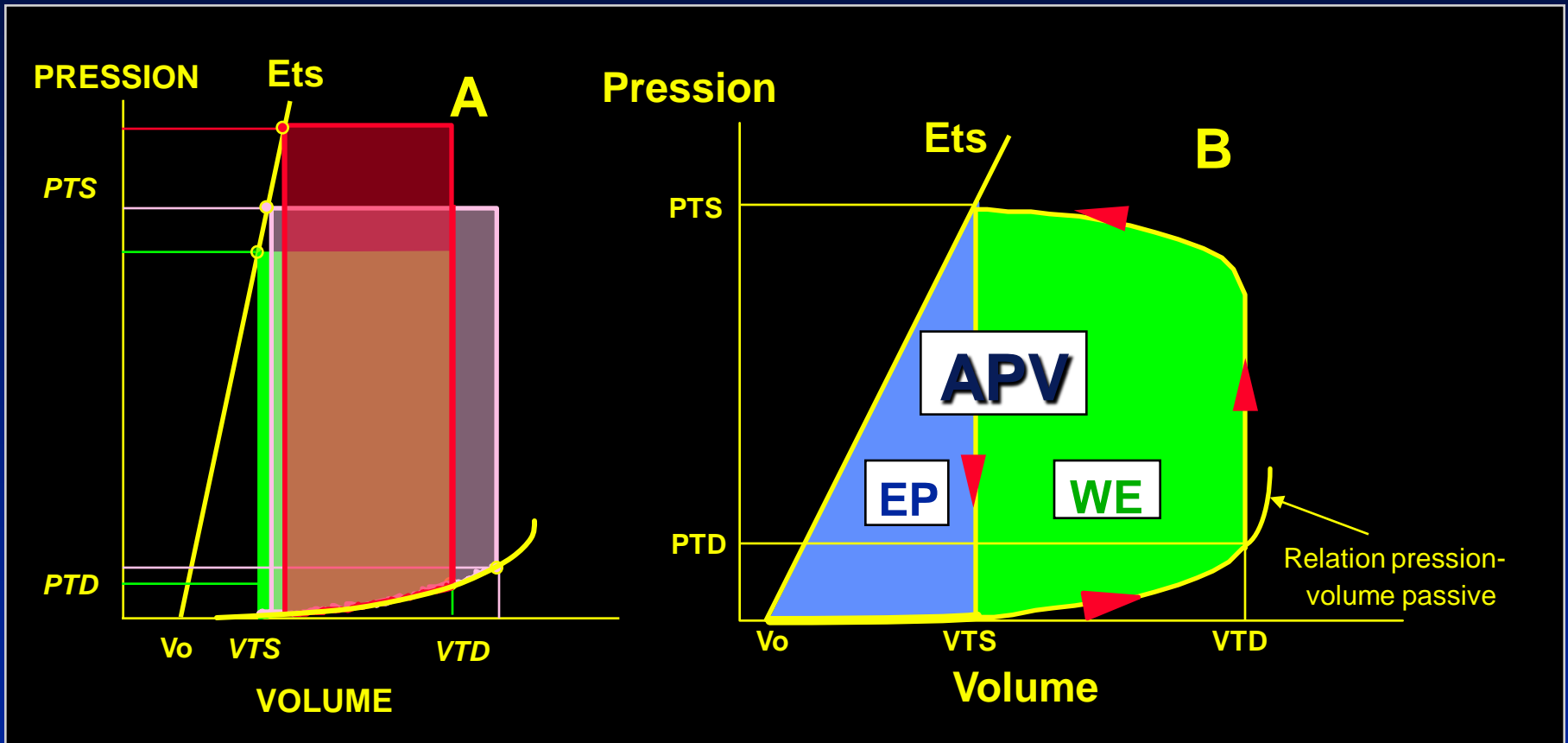
Fraction d'Ejection  
~ 60%

**Pression**



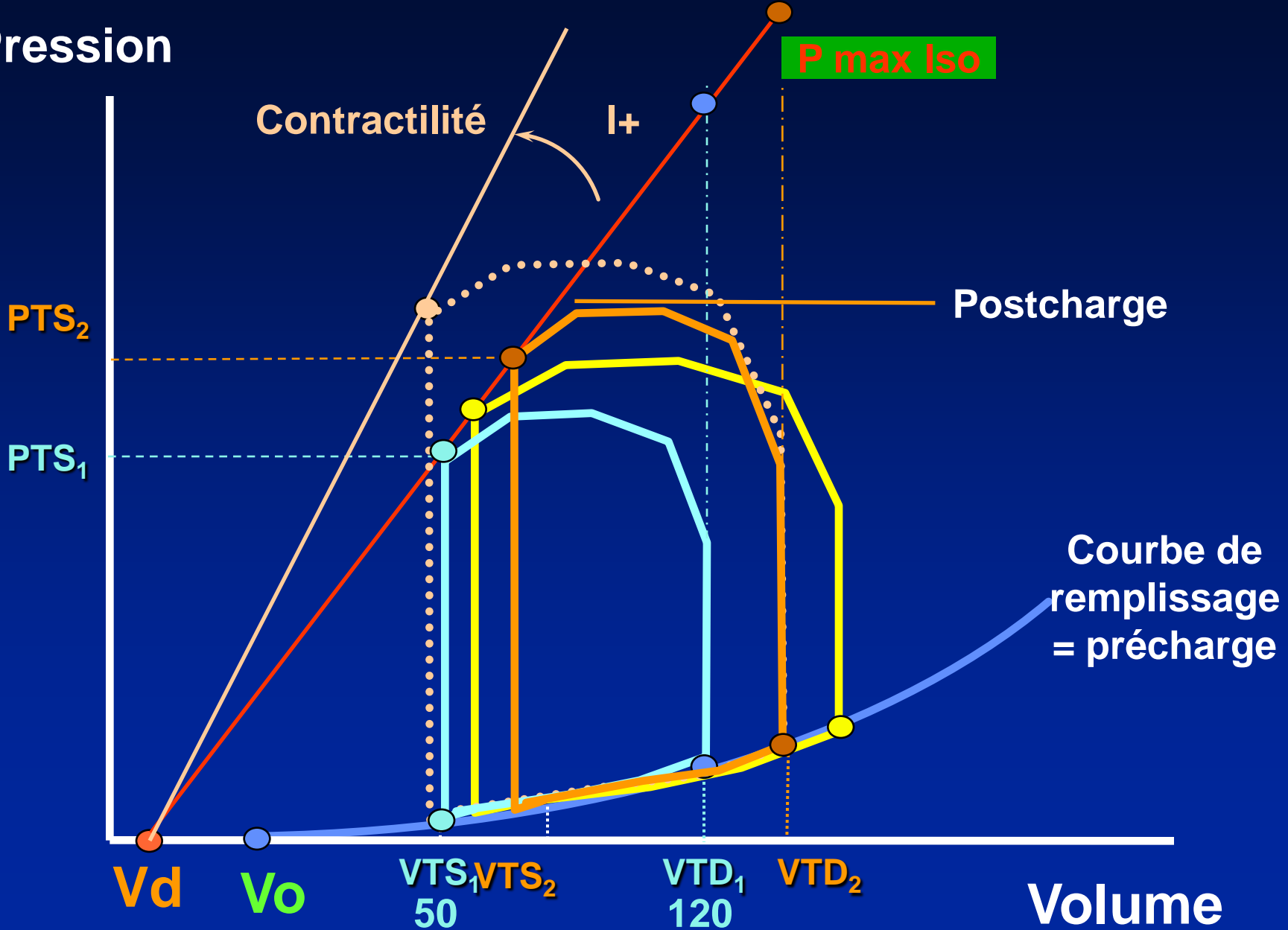


# Performance Contractile



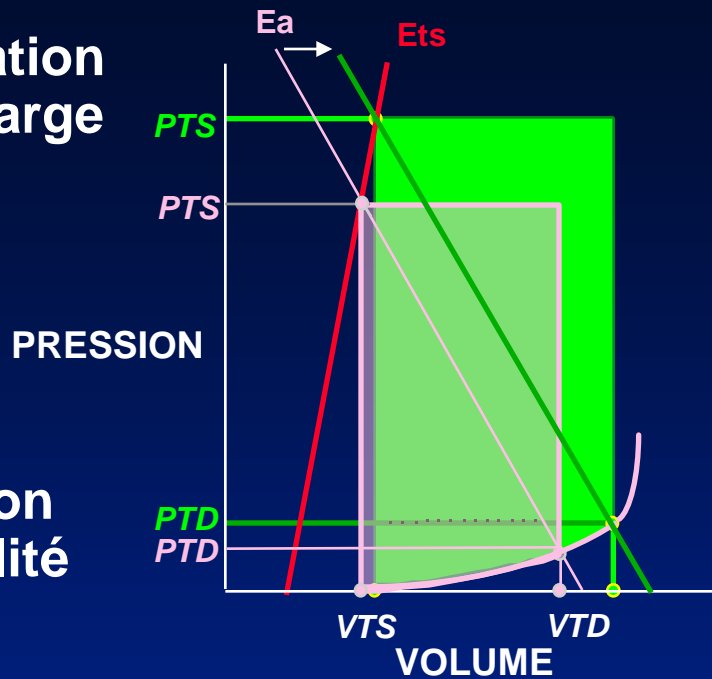
# Relation PTS - VTS

Pression

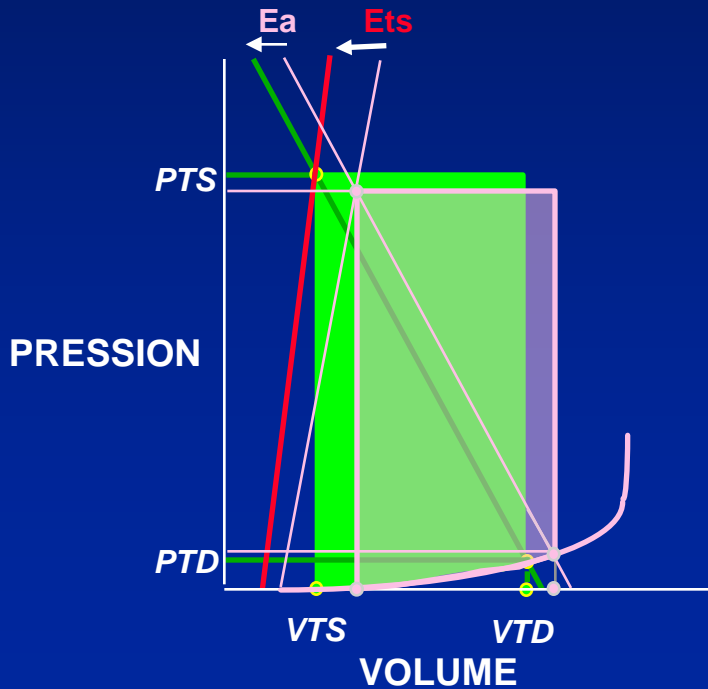


Volume

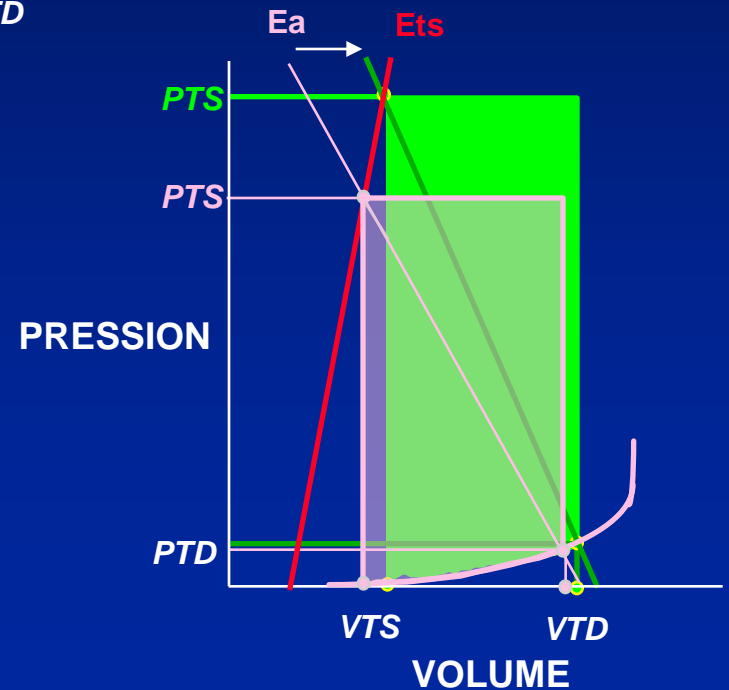
# Augmentation de Pré-charge



# Augmentation de Contractilité



# Augmentation de Post-charge



# Performances cardiaques

- Performances de la pompe cardiaque:
  - » Le débit :  $Q = \text{VES} \times \text{FC}$
- Performances du VG :
  - » **VES** et FE , dP/dt, pente de la droite PTS/VTs...
- Performances du myocarde
  - = contractilité intrinsèque du muscle
  - » f ( $[\text{Ca}^{2+}]_i$  activateur x caractéristiques des ponts actine-myosine)
  - » à pré- et postcharge constante, toute augmentation de la contractilité augmente le **VES** et inversement

# Courbes de fonction ventriculaire

