

BIOPHYSIQUE DE LA CIRCULATION

Pressions sanguines

Hémodynamique

Biophysique cardiaque

I - HEMODYNAMIQUE INTRA-CARDIAQUE

- 1 - Principe de fonctionnement**
- 2 - Courbes pression-temps et volume-temps**
- 3 - Courbe pression-volume du ventricule**
- 4 - Méthodes d'étude de l'hémodynamique cardiaque**

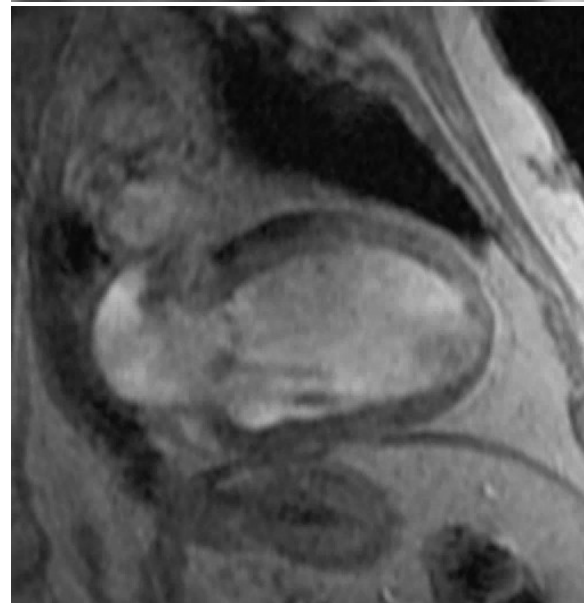
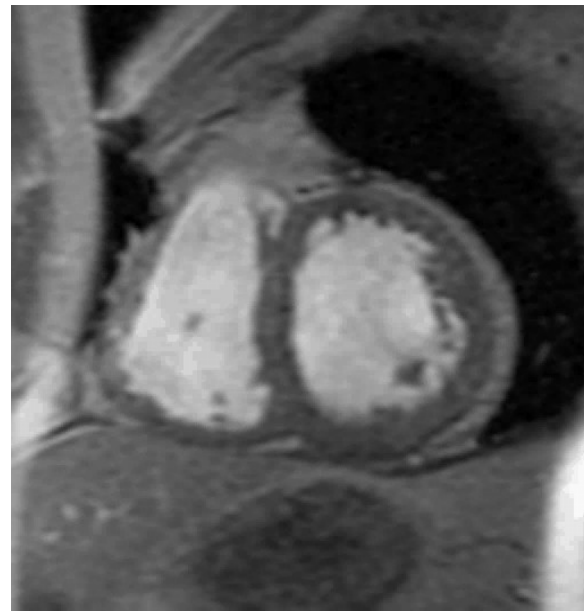
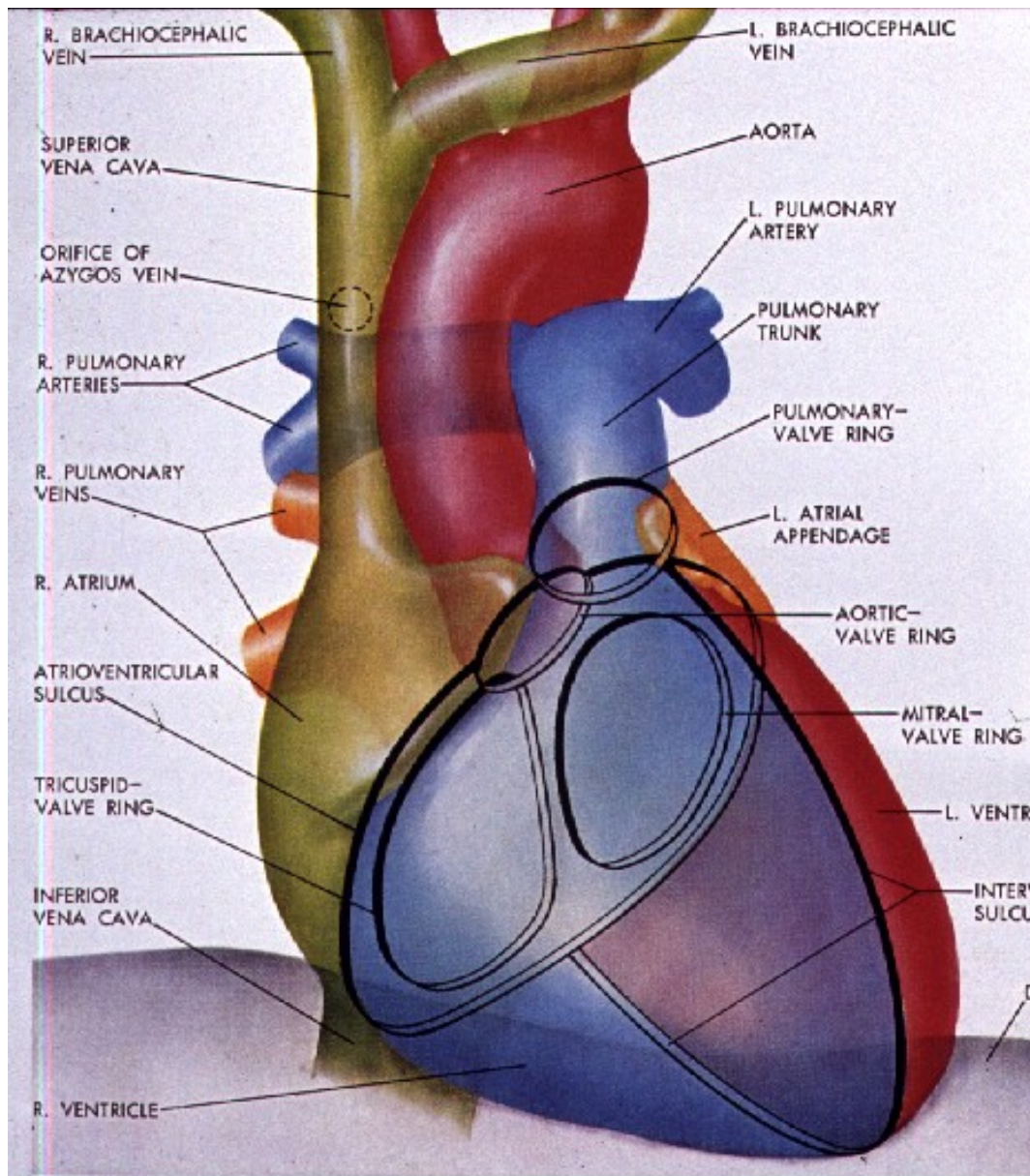
II - TRAVAIL CARDIAQUE

III - DETERMINANTS BIOPHYSIQUES DE LA PERFORMANCE VENTRICULAIRE

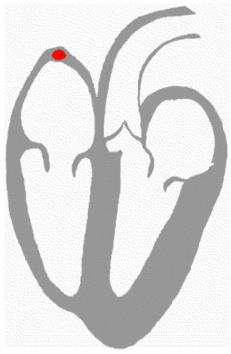
- 1 - Contractilité et compliance myocardiques**
- 2 – Précharge et postcharge ventriculaires**
- 3 – Fréquence cardiaque**



Anatomie du coeur



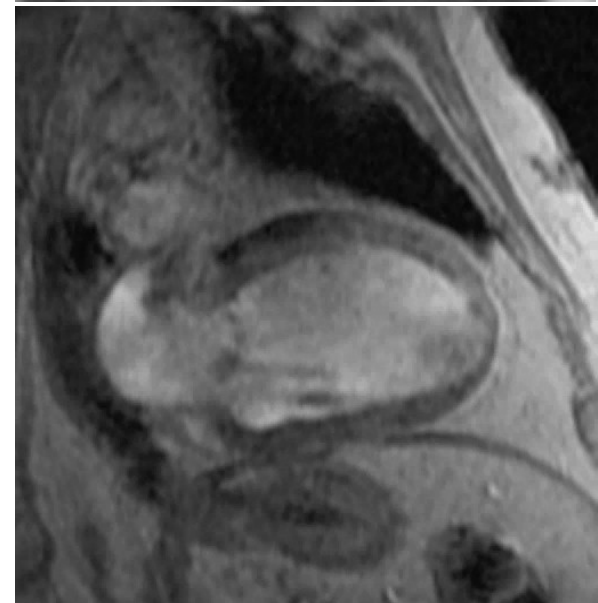
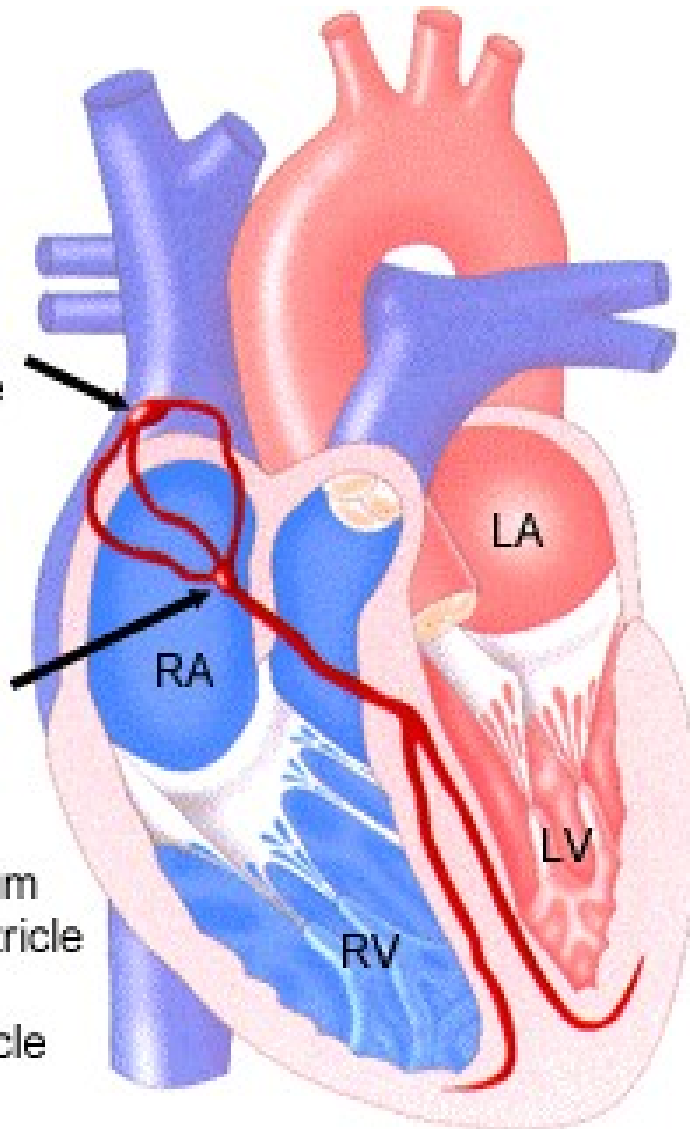
Anatomie du coeur



Sinoatrial
(SA) Node

Atrioventricular
(AV) Node

RA = Right Atrium
RV = Right Ventricle
LA = Left Atrium
LV = Left Ventricle



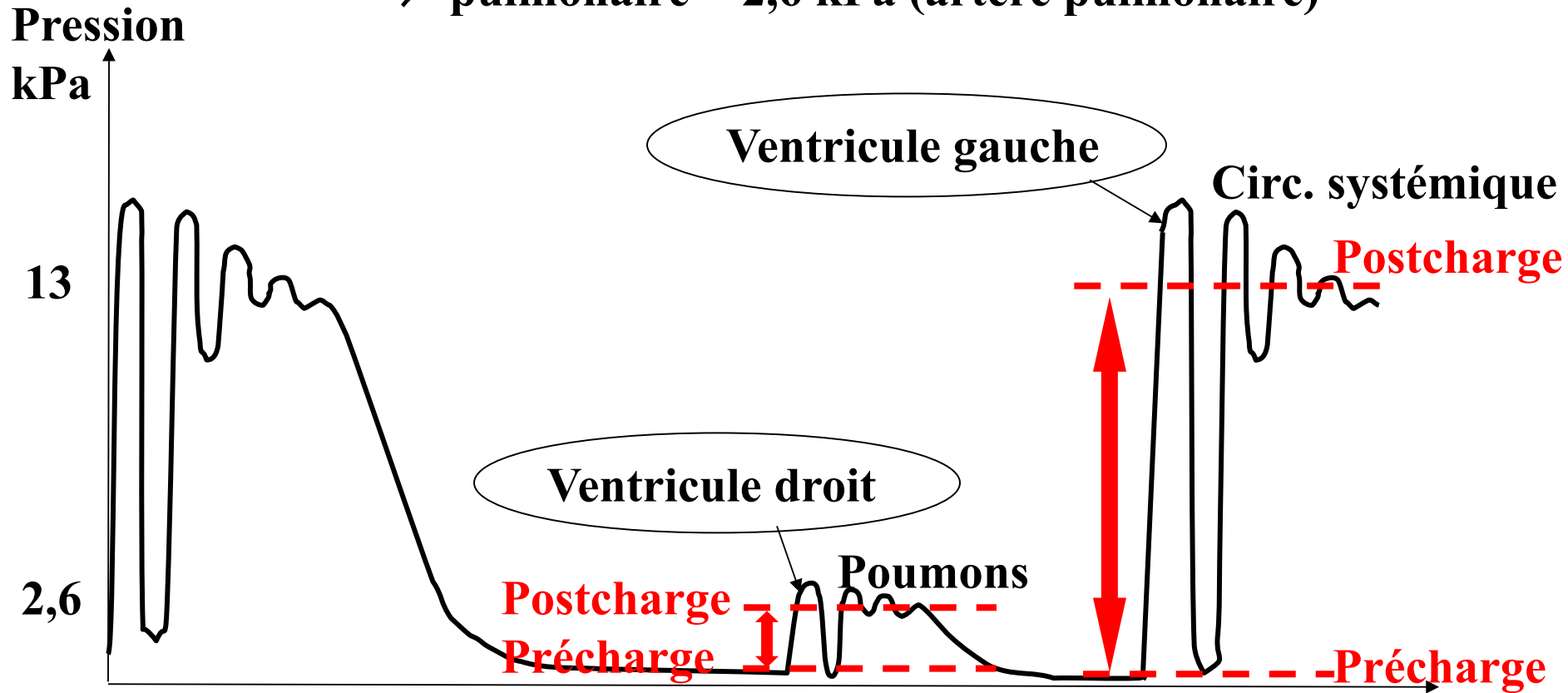
I- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

2 pompes en séries pour compenser la perte de charge entre le retour veineux (précharge) et le secteur artériel (postcharge).

➤ **précharge** 1 kPa (rappel : 1 kPa = 7.5 mmHg)

➤ **postcharge** → systémique = 13 kPa (aorte)

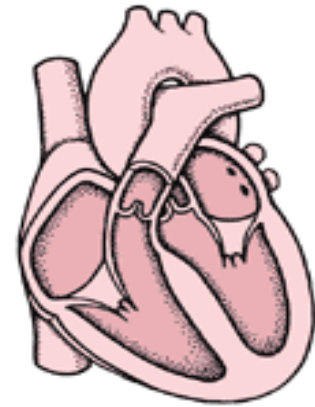
→ pulmonaire = 2,6 kPa (artère pulmonaire)



Remarque: système pulsatile amorti par l'élasticité des vaisseaux

Chaque pompe :

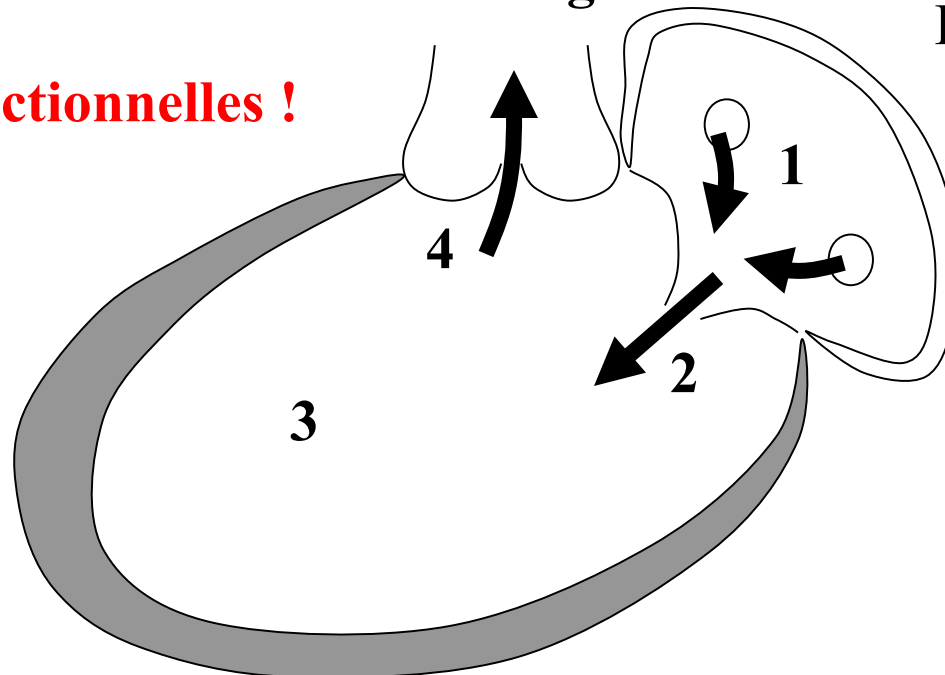
- 1 Chambre d'admission (basse pression)**
- 2 Valve d'admission (tricuspide, mitrale)**
- 3 Ventricule (droit, gauche)**
- 4 Valve d'éjection (pulmonaire, aortique)**



Post charge

Pré charge

Valves unidirectionnelles !



2 - COURBES PRESSION-TEMPS

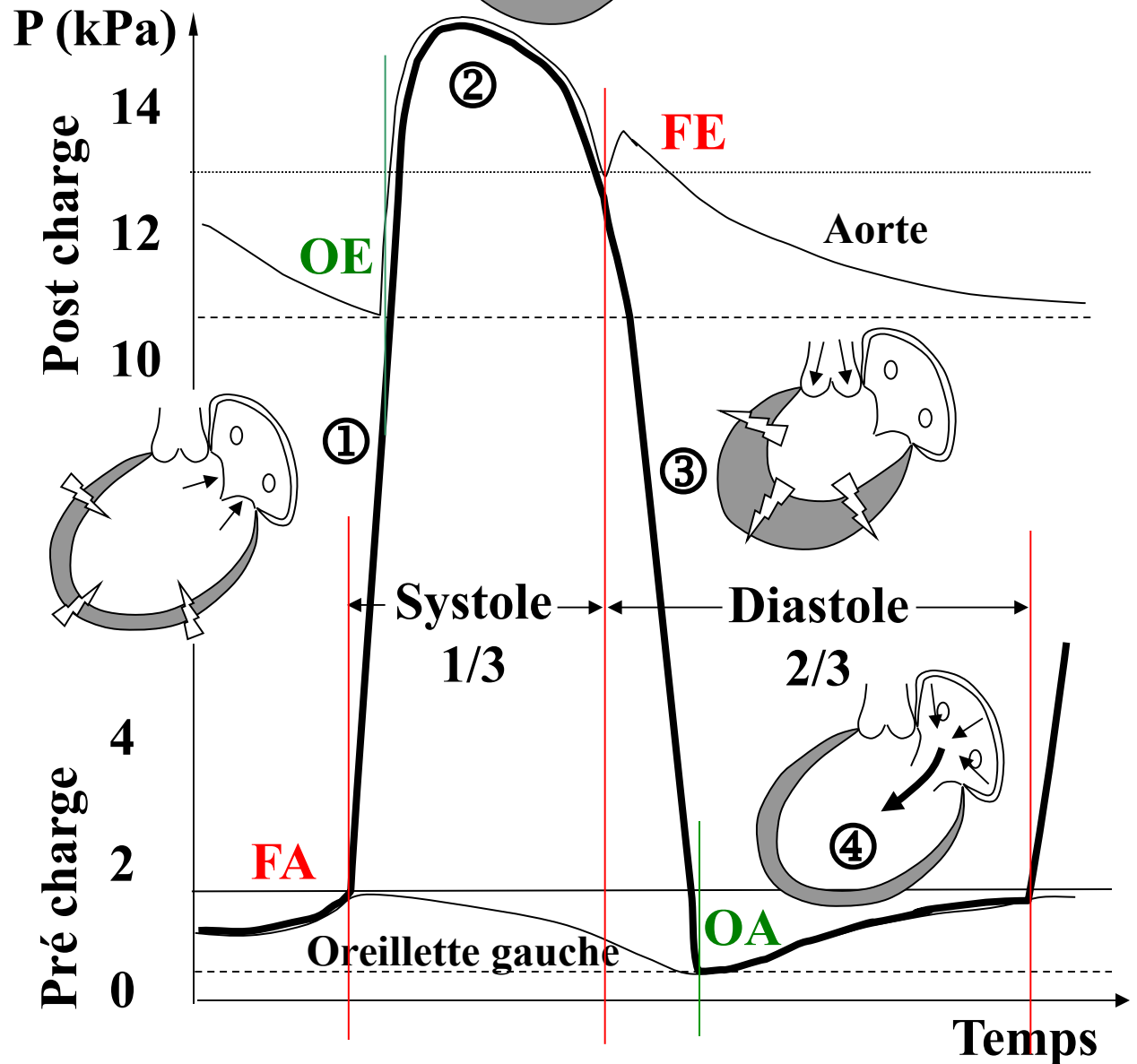
Ventricule gauche

① contraction isovolumétrique

② éjection

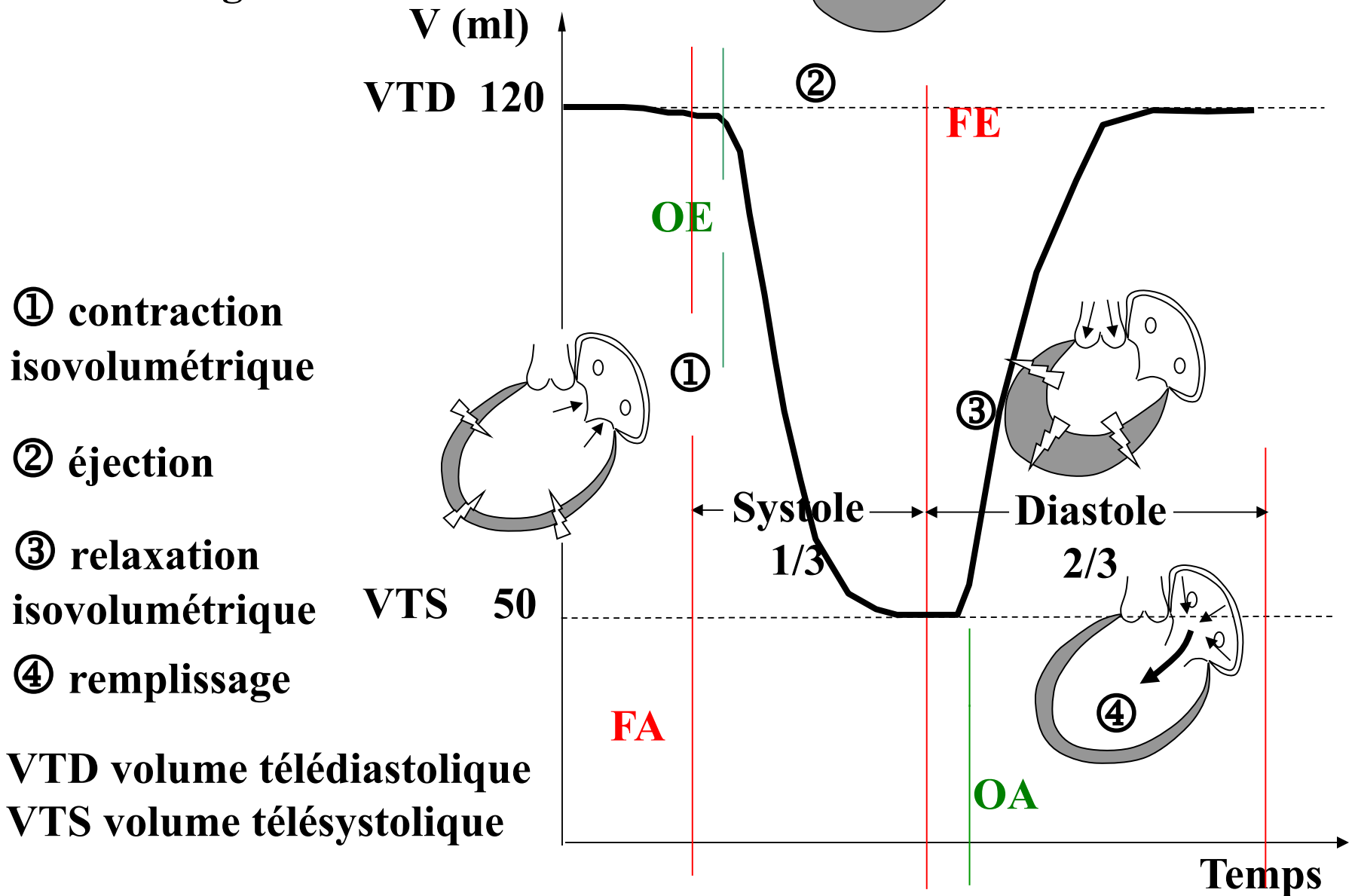
③ relaxation isovolumétrique

④ remplissage

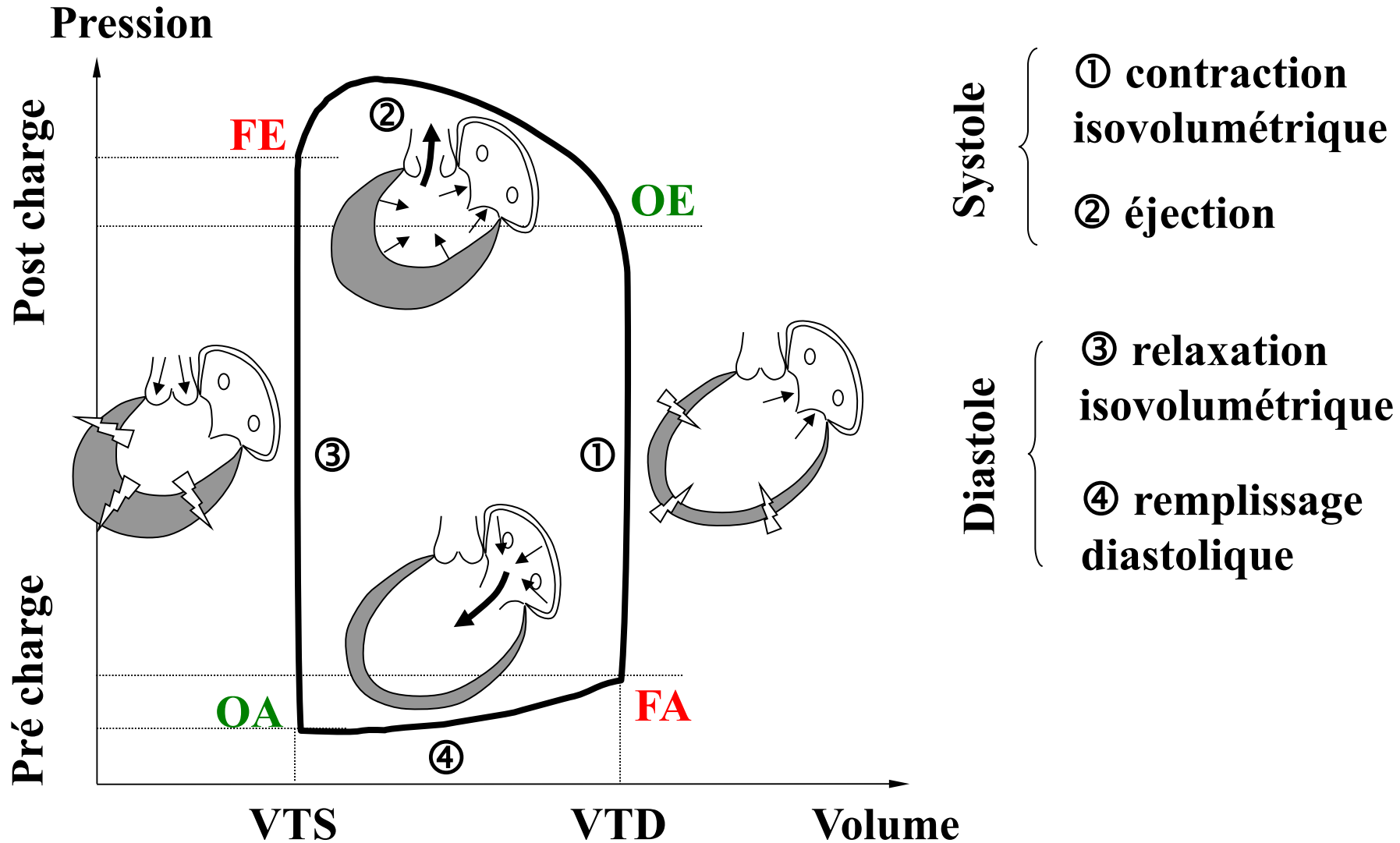


2 - COURBE VOLUME-TEMPS

Ventricule gauche



3 - COURBE PRESSION-VOLUME



4 - METHODES D'ETUDE DE L'HEMODYNAMIQUE CARDIAQUE

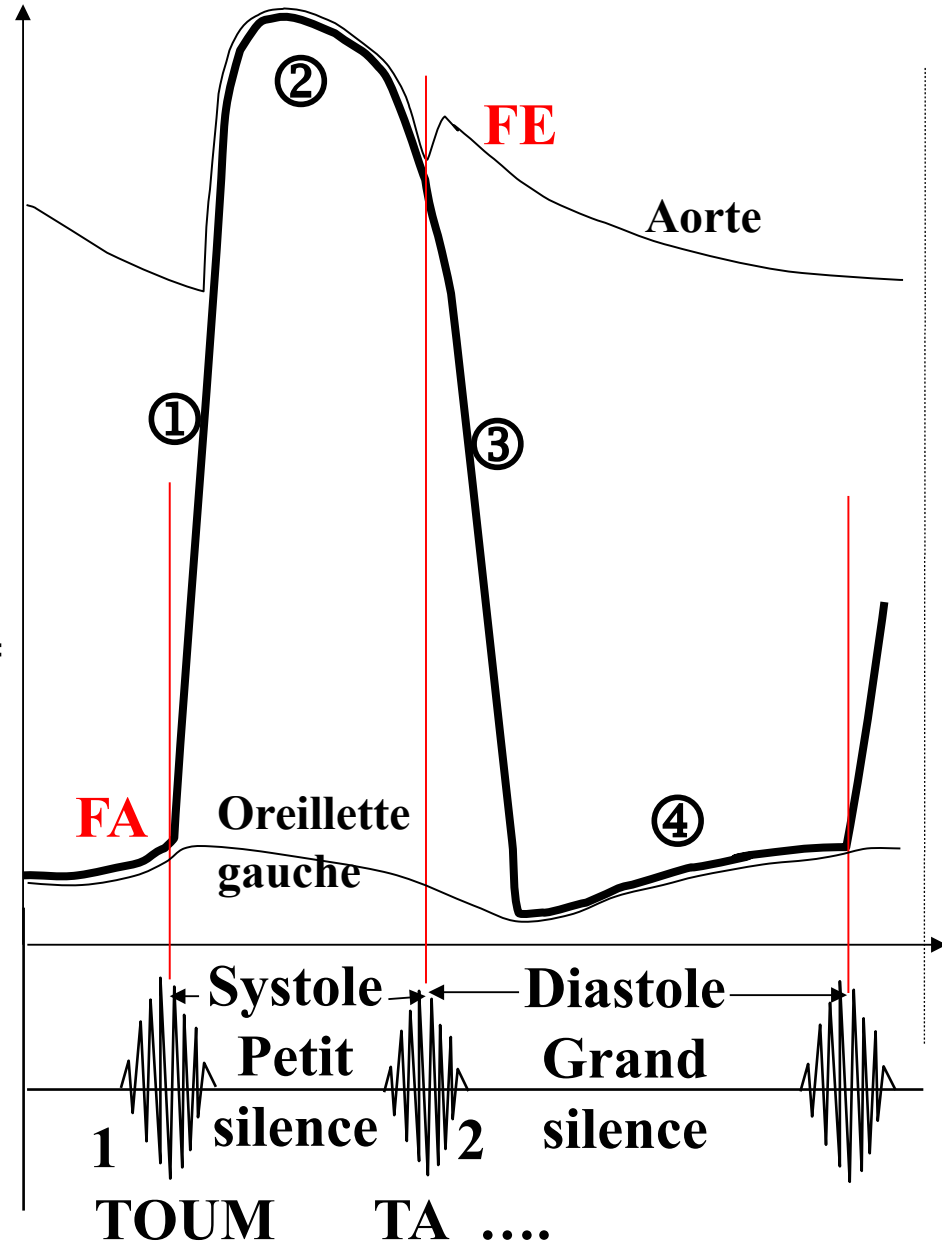
4.1- Auscultation

4.1.1- Physiologie :

Les bruits normaux du coeur correspondent aux **FERMETURES** des valves (vibrations des valves)

- d'admission (tricuspide, mitrale) = premier bruit "TOUM"
- d'éjection (pulmonaire, aortique) = deuxième bruit "TA"

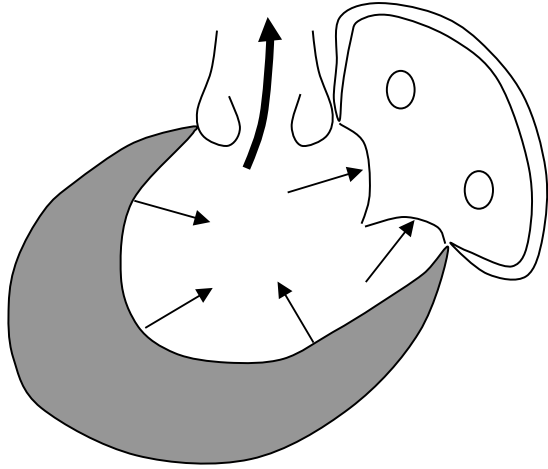
Séquence : TOUM - systole (« petit silence ») – TA – diastole (« grand silence ») ...



4.1.2- Pathologie : les souffles cardiaques = écoulements turbulents anormaux.

Systole: entre 1er et 2ème bruit

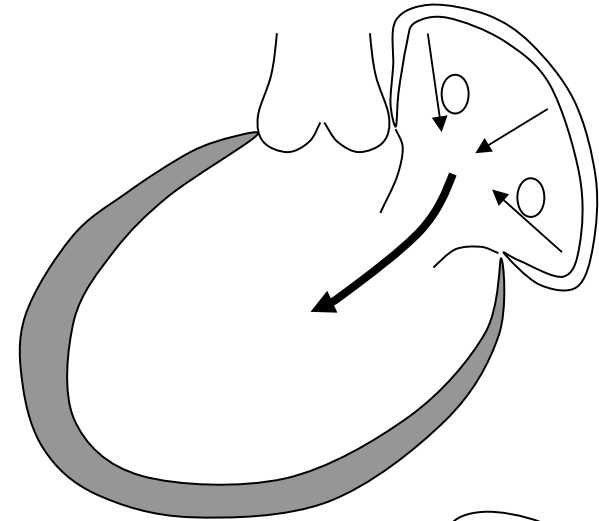
Diastole: entre 2ème et 1er bruit



*Normal
Laminaire*



Silence

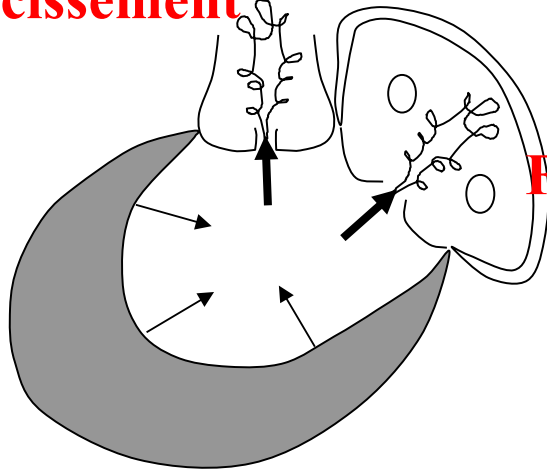


*Pathologique
Turbulent*



Souffle

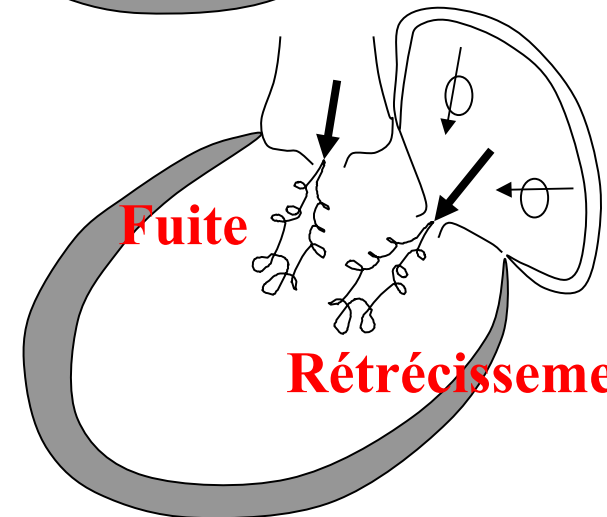
Rétrécissement



Fuite

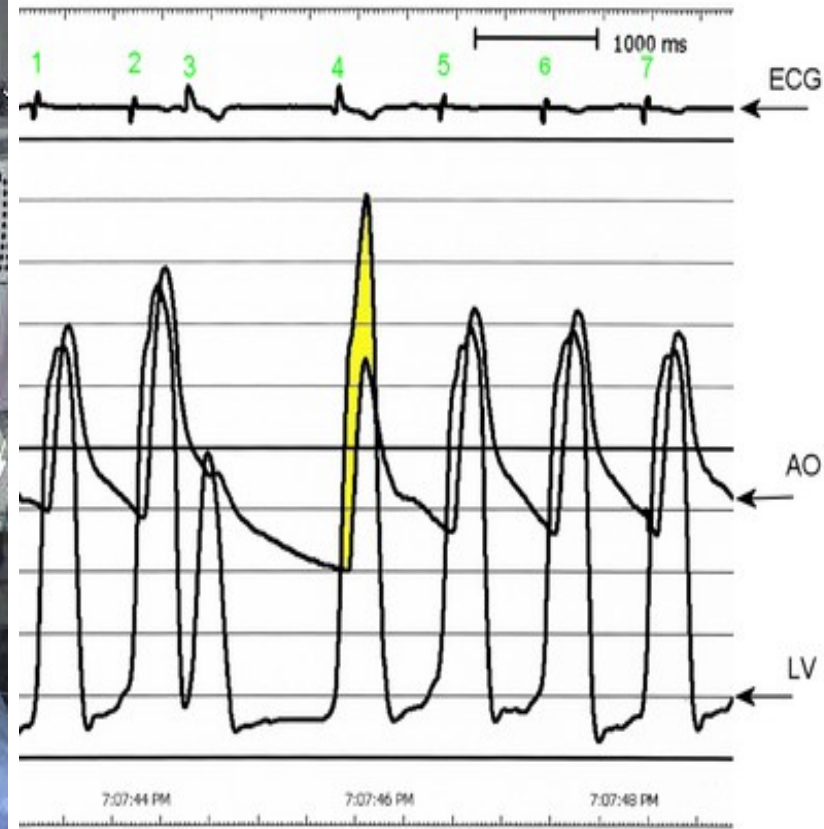
Fuite

Rétrécissement



4.2- Mesure des pressions intracardiaques :

Cathétérisme et montée de sondes manométriques : courbes pression-temps



4.3- Mesure des volumes

Volumes instantanés : VTD et VTS

- Echocardiographie
- IRM (séquences dynamiques)
- Cathétérisme + injection de produit de contraste + clichés RX dynamiques

Mesure des axes et calcul des volumes
Hypothèse géométrique: ellipsoïde de révolution

$$V = 4/3 \pi \ a \times b^2$$

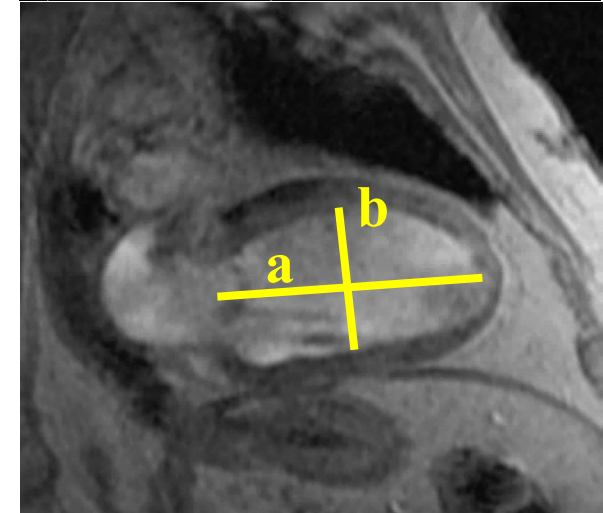
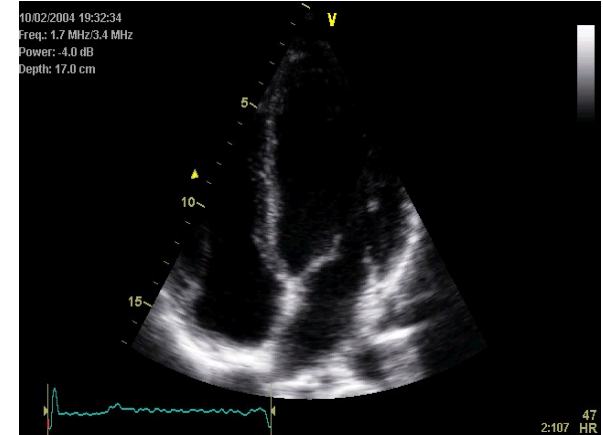


VTD - VTS = VES (vol éjection systolique)

VES x fréquence cardiaque = D (débit)

VES / VTD = FE (fraction d'éjection)

FE normale du VG = (ou >) 60 %



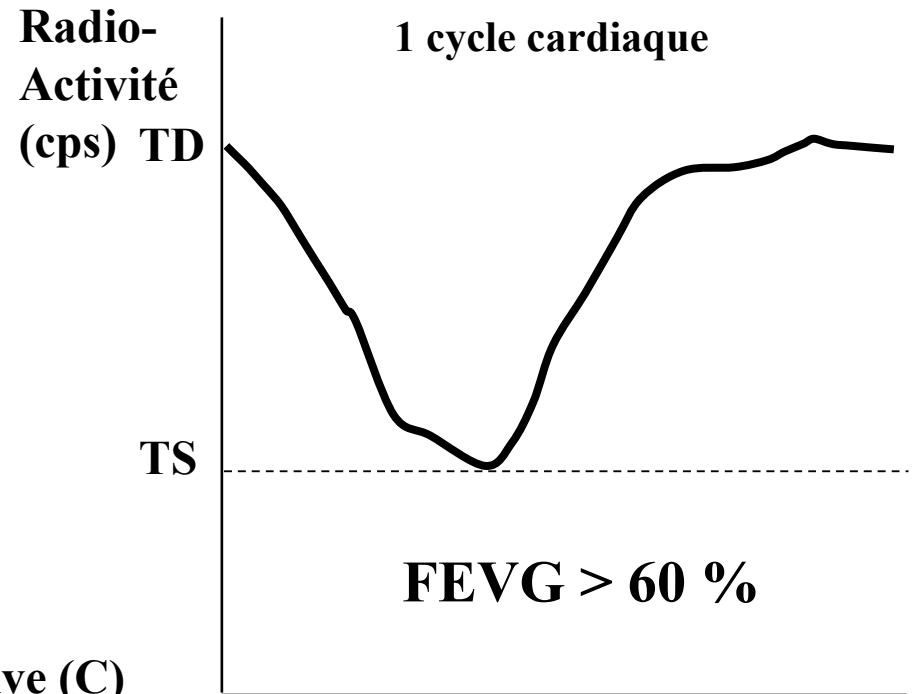
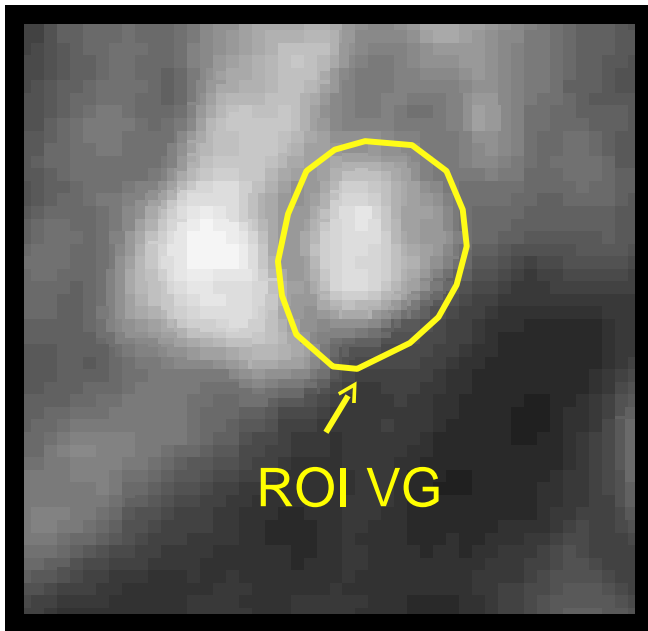
A530/01PR PELISTER 312/.FUAT 1204082
Ex: Study ID PELISTER*FUAT
Series Description F A530701PR00Q
Se: 1/1 Acc:
Im: 71/141 2002 Dec 12
No Comment Img Trn: 14:36:30



4.3- Mesure des volumes

Courbe volume - temps

Médecine nucléaire: marquage radioactif des globules rouges, images synchronisées et mesure de la radioactivité au cours du temps. La radioactivité (RA) mesurée dans la région d'intérêt (ROI) est directement proportionnelle au volume du ventricule gauche (VG).



$RA = Vol \times \text{Concentration Radioactive (C)}$

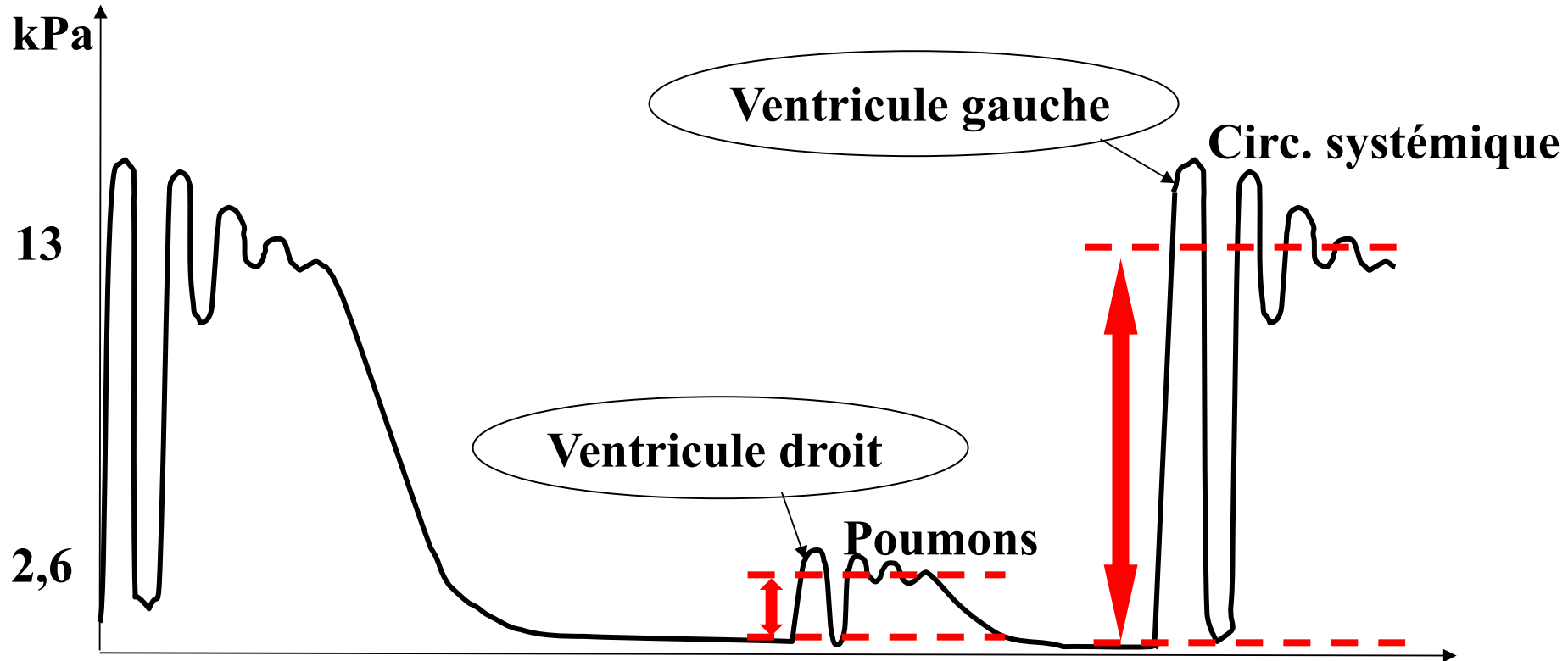
$$\frac{RA * TD - RA * TS}{RA * TD} = \frac{VTD \times C - VTS \times C}{VTD \times C} = \frac{VTD - VTS}{VTD} = FE$$

II TRAVAIL CARDIAQUE

Sang = liquide visqueux → perte de charge.

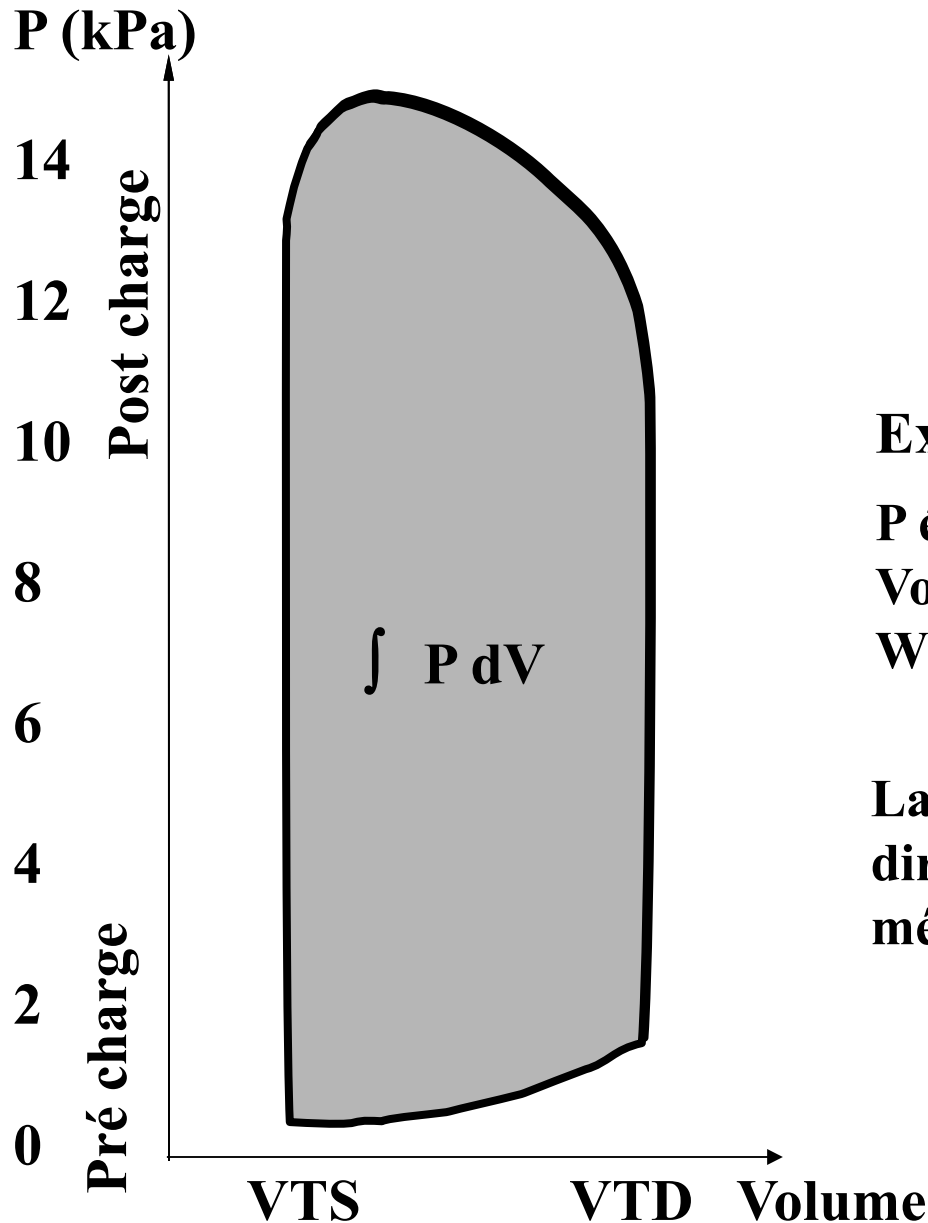
2 pompes en séries pour compenser la perte de charge entre le retour veineux (précharge) et le secteur artériel (postcharge).

Pression



Donc le cœur doit fournir un *travail mécanique* pour compenser cette perte de charge.

II TRAVAIL CARDIAQUE



Travail mécanique (W_M)

(force x déplacement)

$$W = P \times V$$

Exemple : Travail d'éjection VG

P éjection : 100 mmHg = 13,3 kPa (N/m^2)

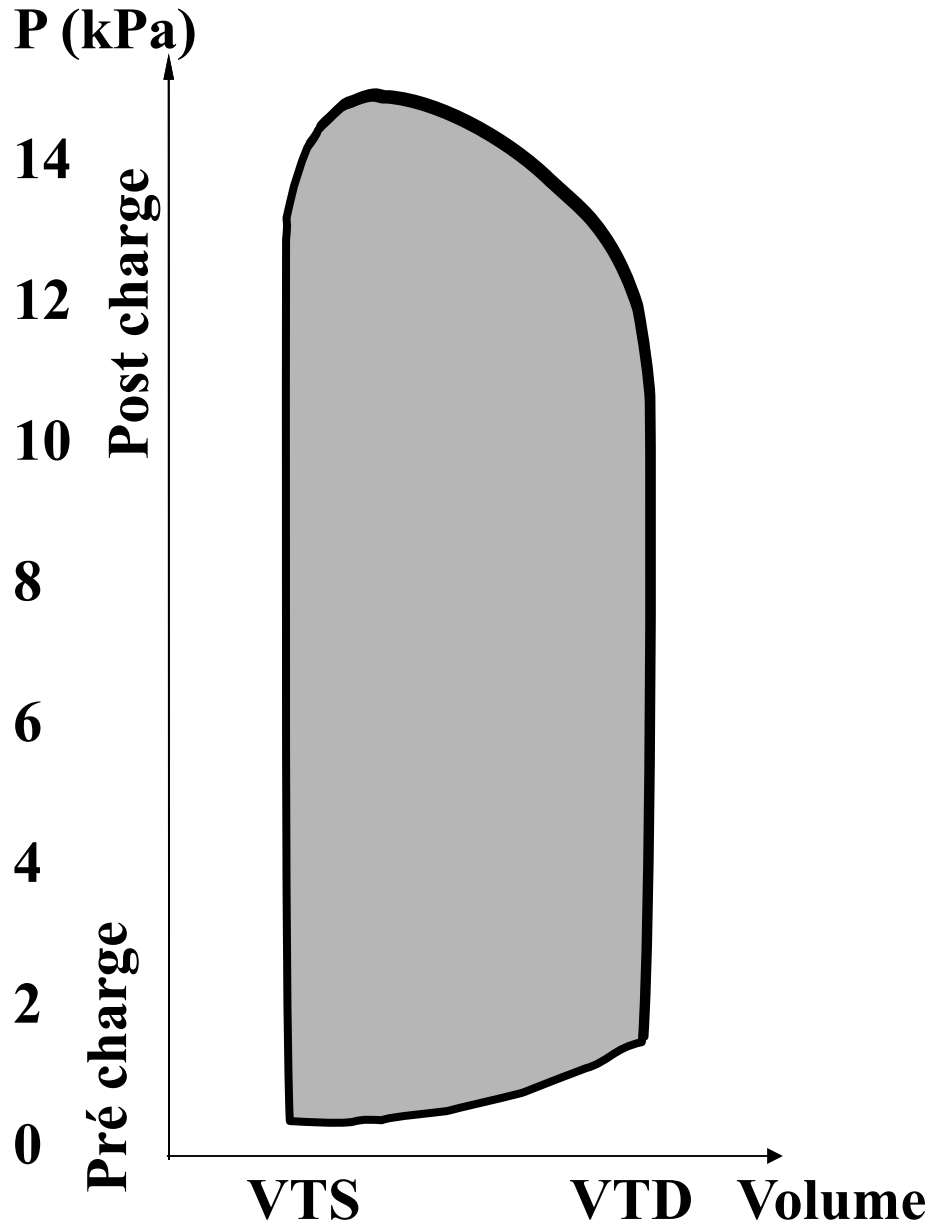
Vol éjecté : 80 ml = $8 \cdot 10^{-5} m^3$

$W = 1.06 N.m (J)$

**La surface de la boucle P-V est
directement proportionnelle au travail
mécanique du coeur**

$$W_M = \int P dV$$

II TRAVAIL CARDIAQUE



Travail mécanique (W_M)

$$W_M = \int P dV$$

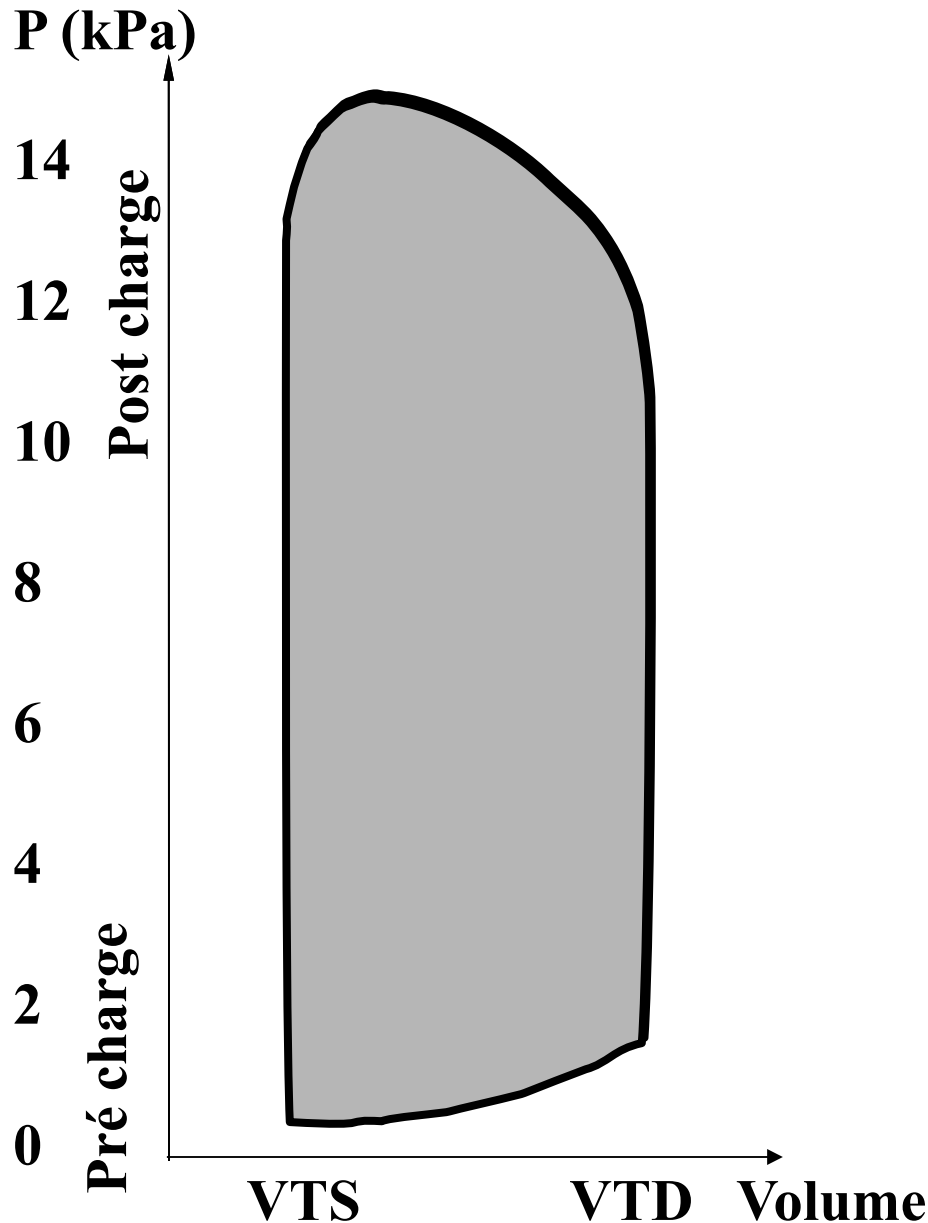
Travail de mise en tension du muscle cardiaque (W_T)

$$W_T = \oint T dt$$

loi de Laplace : $T = k P r / h$
T : tension pariétale ; *r* : rayon ;
P : pression ; *h* : épaisseur

Charge contre laquelle les cellules du myocarde doivent se contracter

II TRAVAIL CARDIAQUE



Travail mécanique (W_M)

$$W_M = \int P dV$$

Travail de mise en tension du muscle cardiaque (W_T)

$$W_T = \oint T dt$$

Travail total = $W_M + W_T$

$$\text{Rendement} = \frac{W_M}{W_M + W_T} = 5\%$$

III - DETERMINANTS BIOPHYSIQUES DE LA PERFORMANCE VENTRICULAIRE

Performance ventriculaire : capacité à assurer un débit circulatoire et des conditions de pression suffisantes pour répondre aux besoins de l'organisme avec un rendement maximum.

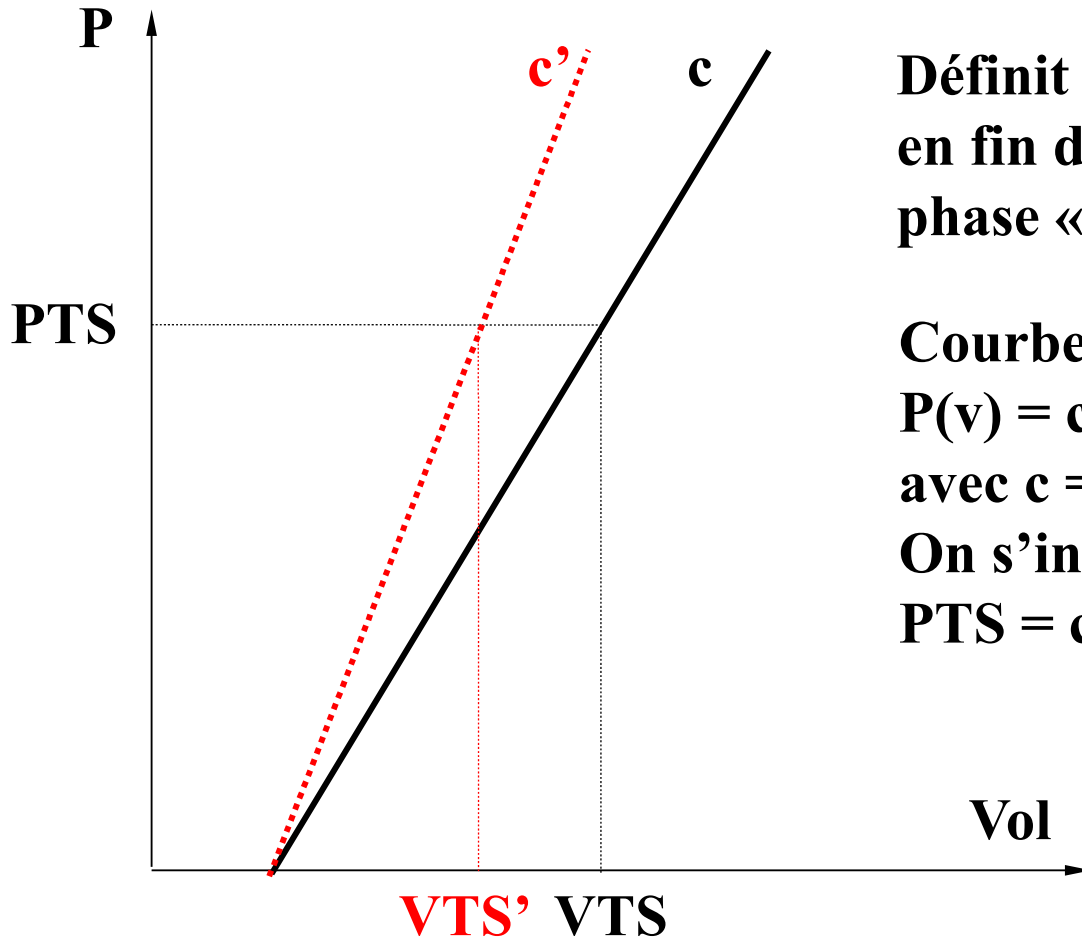
Le débit : $D = VES \times FC$ (FC = fréquence cardiaque)

Les performances dépendent de 5 paramètres :

- 1- Contractilité myocardique**
 - 2- Compliance myocardique**
 - 3- Précharge ventriculaire**
 - 4- Postcharge ventriculaire**
 - 5- Fréquence cardiaque**
- } **VES**

(VES = volume d'éjection systolique)

1- Contractilité ou relations pression-volume en fin de systole :



Définit la relation pression-volume en fin de systole (résultat de la phase « active » de la contraction).

Courbes de type:

$$P(v) = c.v - d$$

avec c = contractilité

On s'intéresse surtout au point

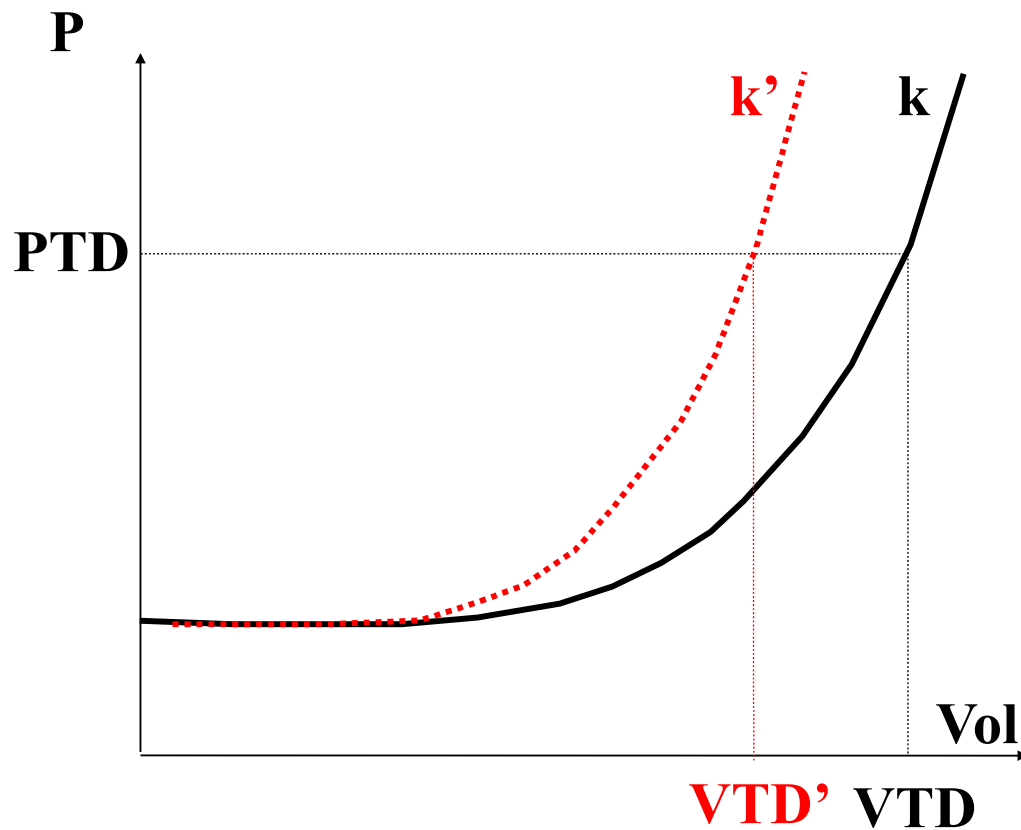
$$PTS = c.VTS - d$$

Pour $c' > c$

$VTS' \searrow$

$VES \nearrow$

2- Compliance ou relation pression-volume en diastole :



Définit la façon dont le ventricule se laisse distendre passivement en diastole

Courbe de type:

$$P(v) = a \exp(k.v) + b$$

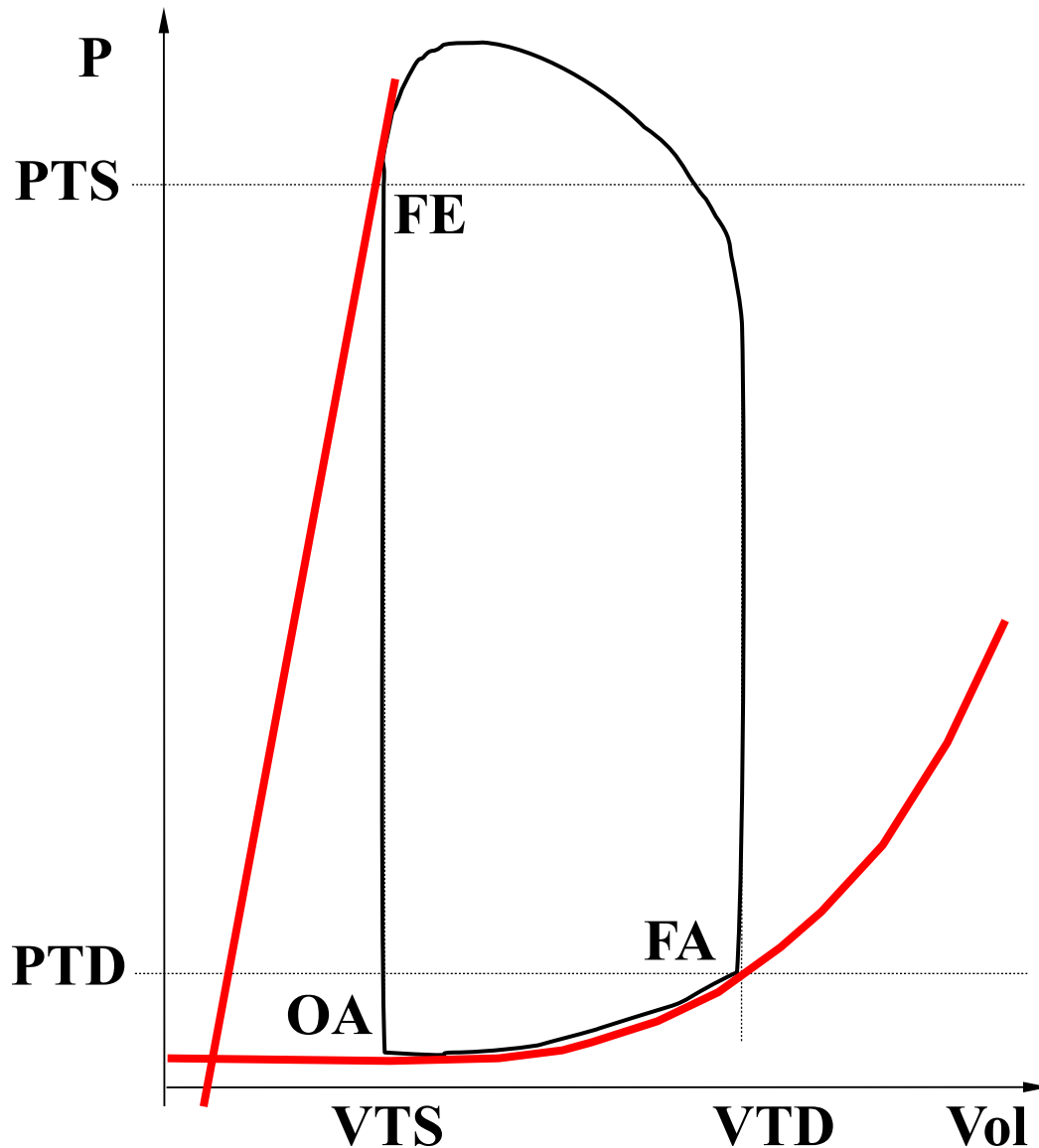
avec $k = \text{élastance} = 1/\text{compliance}$

Pour $k' > k$

$VTD' \searrow$

$VES \searrow$

Relations contractilité et compliance avec la boucle pression-volume



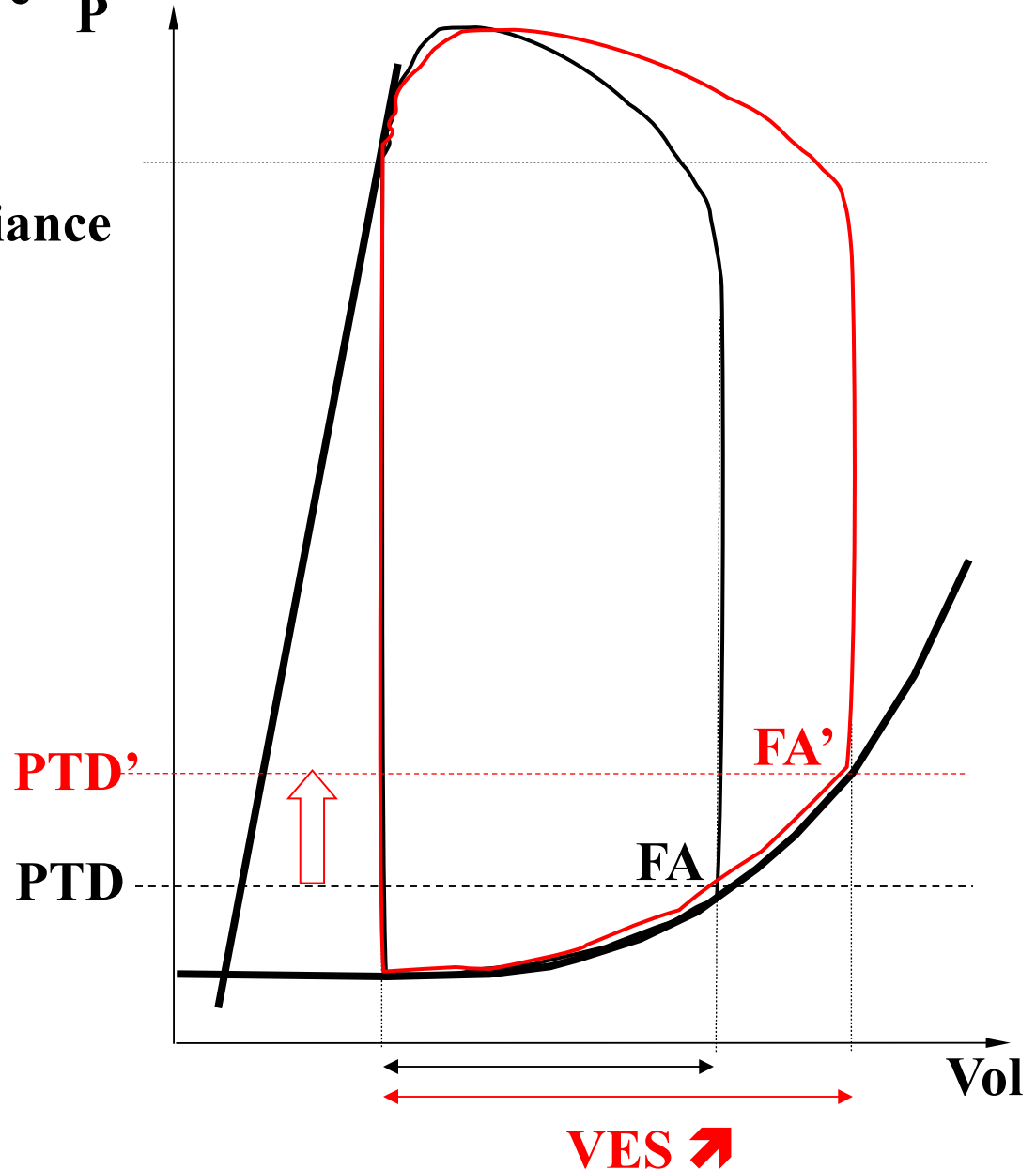
La **contractilité** définit le point FE: point (PTS,VTS) entre la phase d'éjection et celle de relaxation isovolumétrique.

La **compliance** est responsable de la forme de la courbe P/V lors du remplissage diastolique

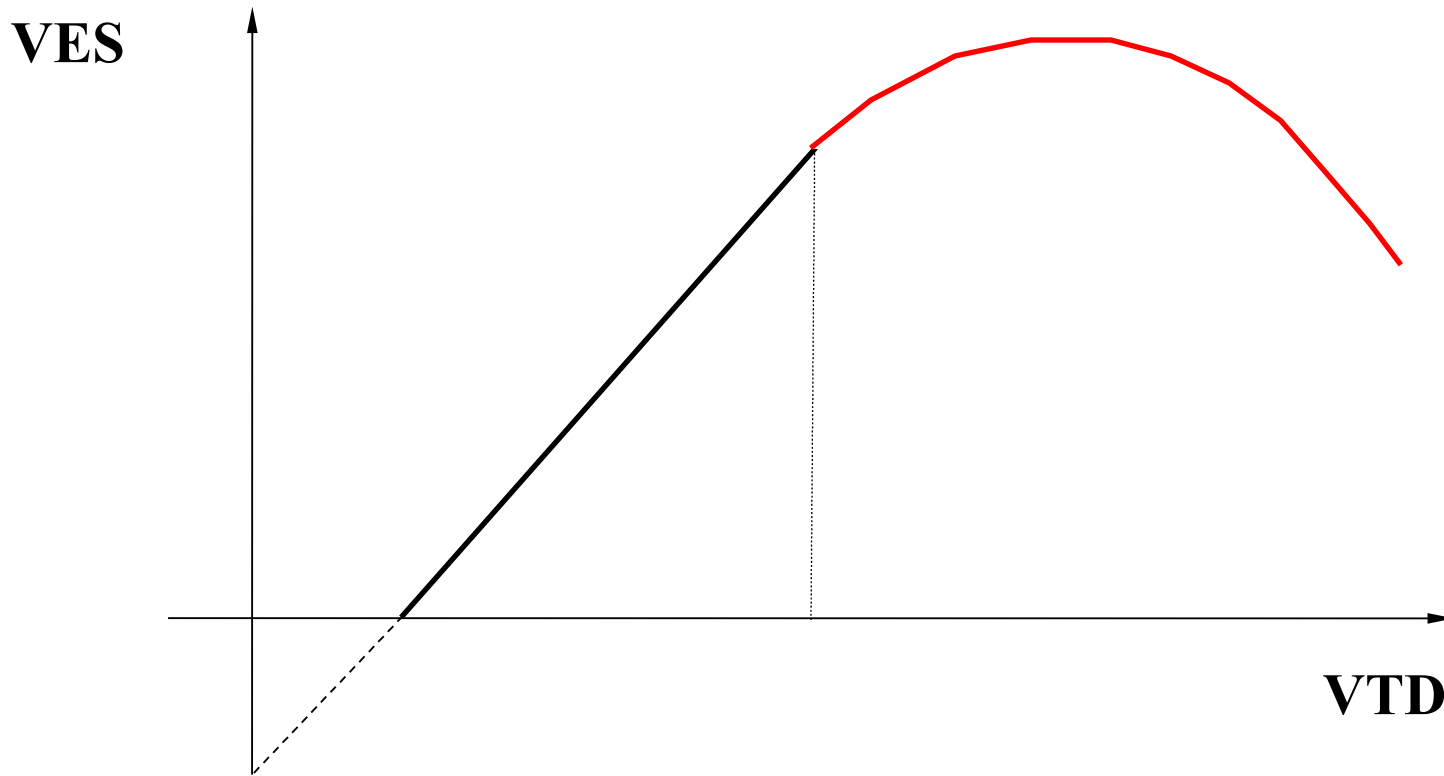
3- Précharge ventriculaire P

P du retour veineux ↗
VTD ↗ suivant la compliance
jusqu'à la pression de
fermeture de la valve
d'admission (PTD').

VTD ↗ ⇒ VES ↗
⇒ débit ↗
mais W_M ↗ aussi



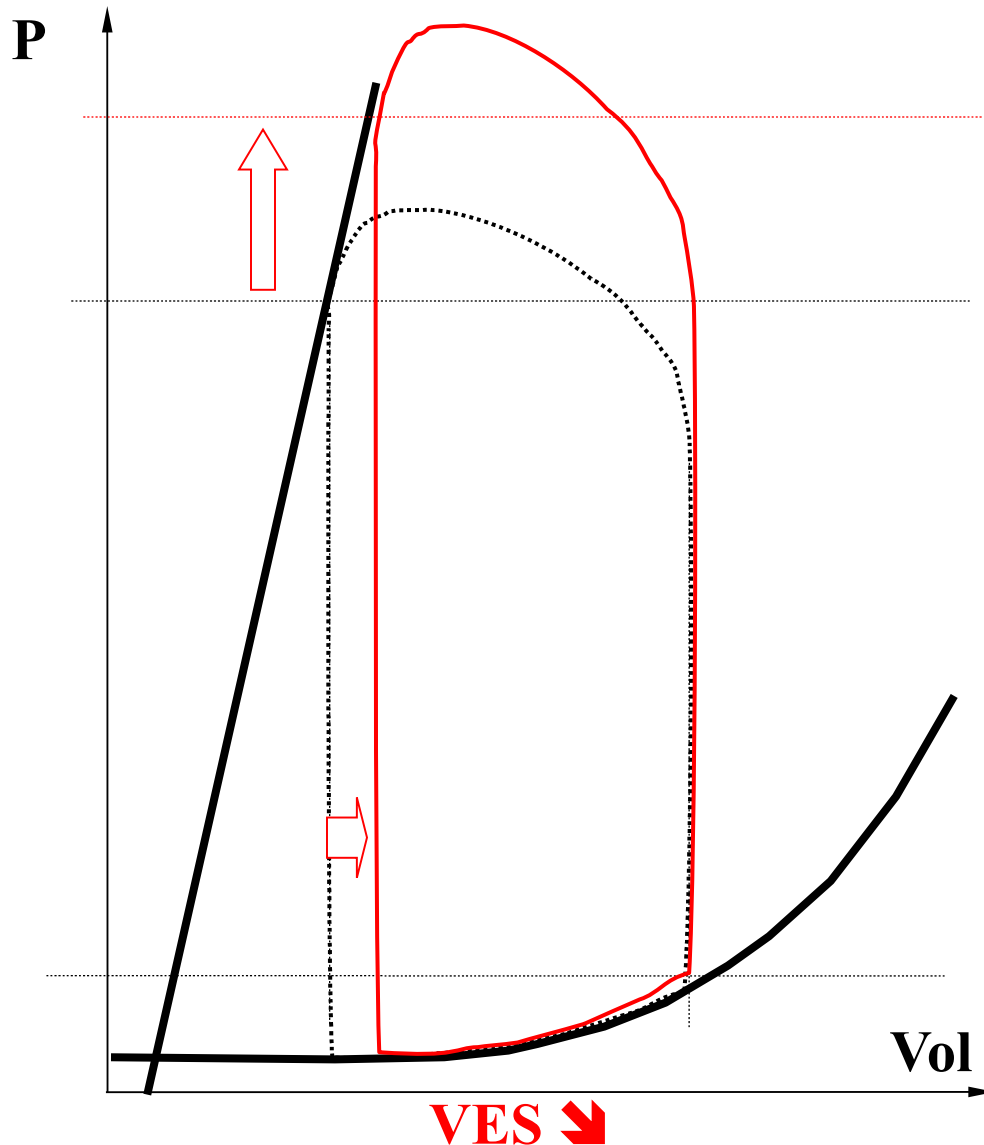
Loi de Starling : *rappel* $VES = VTD - VTS$



Le volume d'éjection en systole (VES) est une fonction directe de l'étirement des fibres myocardiques en diastole jusqu'à une distension maximale.

4- Postcharge ventriculaire

Liée aux résistances à l'éjection du ventricule (Poiseuille $\Delta P = RD$)



Postcharge ↗

VTS ↗

VES ↘

débit ↘

W_M et W_T ↗

5- Fréquence cardiaque

Agit directement et rapidement sur le débit :

$$**D = FC \times VES**$$

Remarque :

Plus il y a de contractions par unité de temps, plus il y a de consommation d'énergie (mécanique W_M et de mise en tension W_T) et moins bon est le rendement.

Fréquence cardiaque maximale théorique: $FC_{\max} = 220 - \hat{\text{âge}}$