

BIOPHYSIQUE DE LA CIRCULATION

Biophysique cardiaque

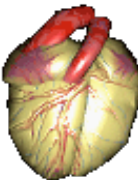
I - HEMODYNAMIQUE INTRA-CARDIAQUE

- 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**

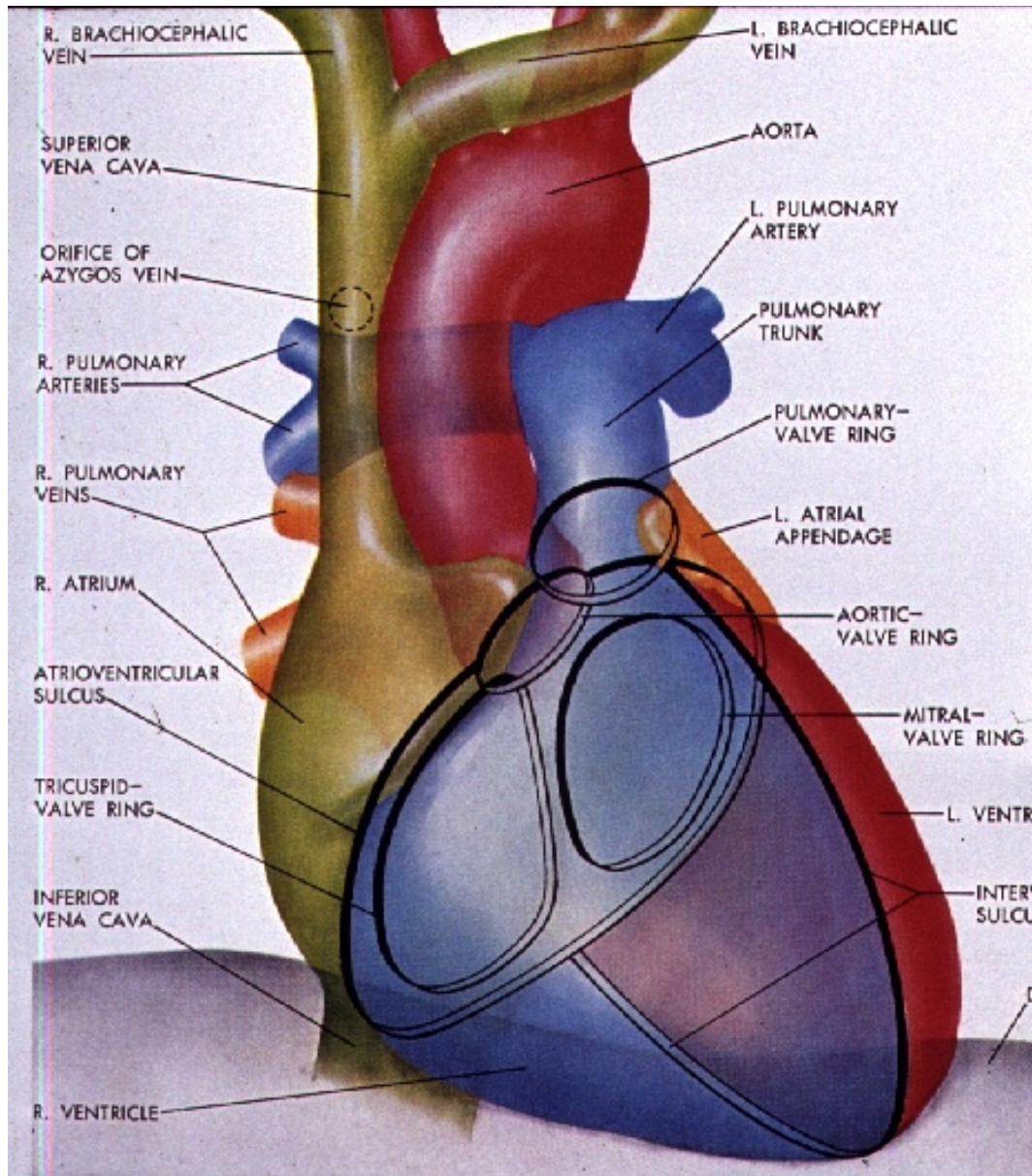
II - TRAVAIL CARDIAQUE

III - DETERMINANTS BIOPHYSIQUES DE LA PERFORMANCE VENTRICULAIRE

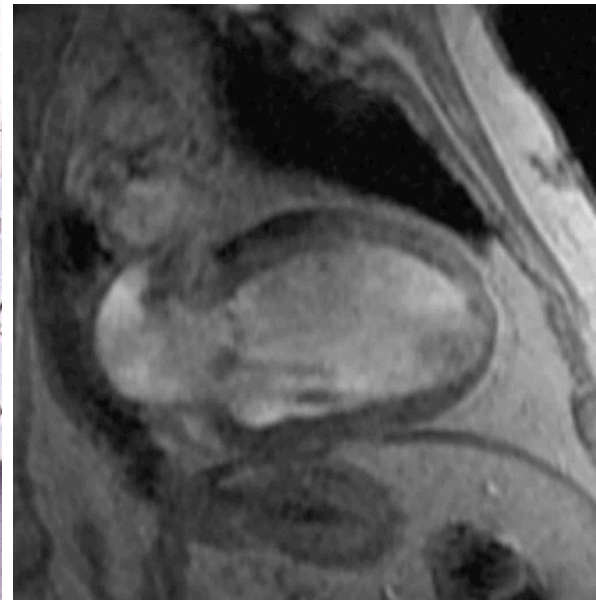
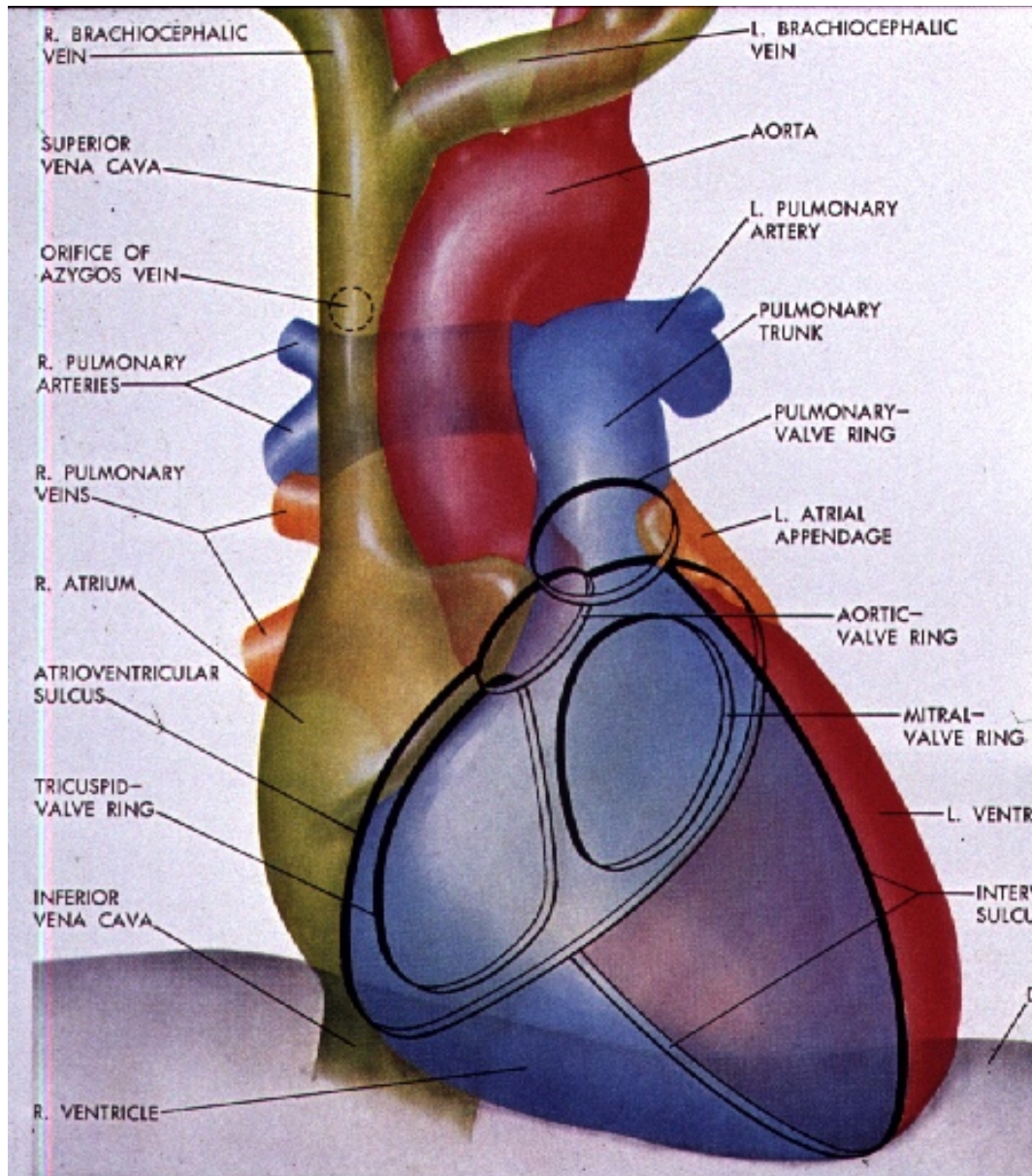
- 1 - Contractilité et compliance myocardiques**
- 2 - Précharge (loi de Starling)**
- 3 - Postcharge**
- 4 - Fréquence cardiaque**

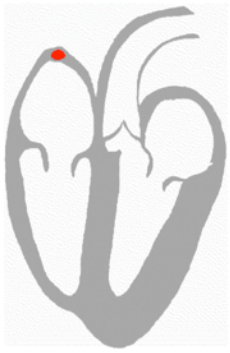


Anatomie du coeur



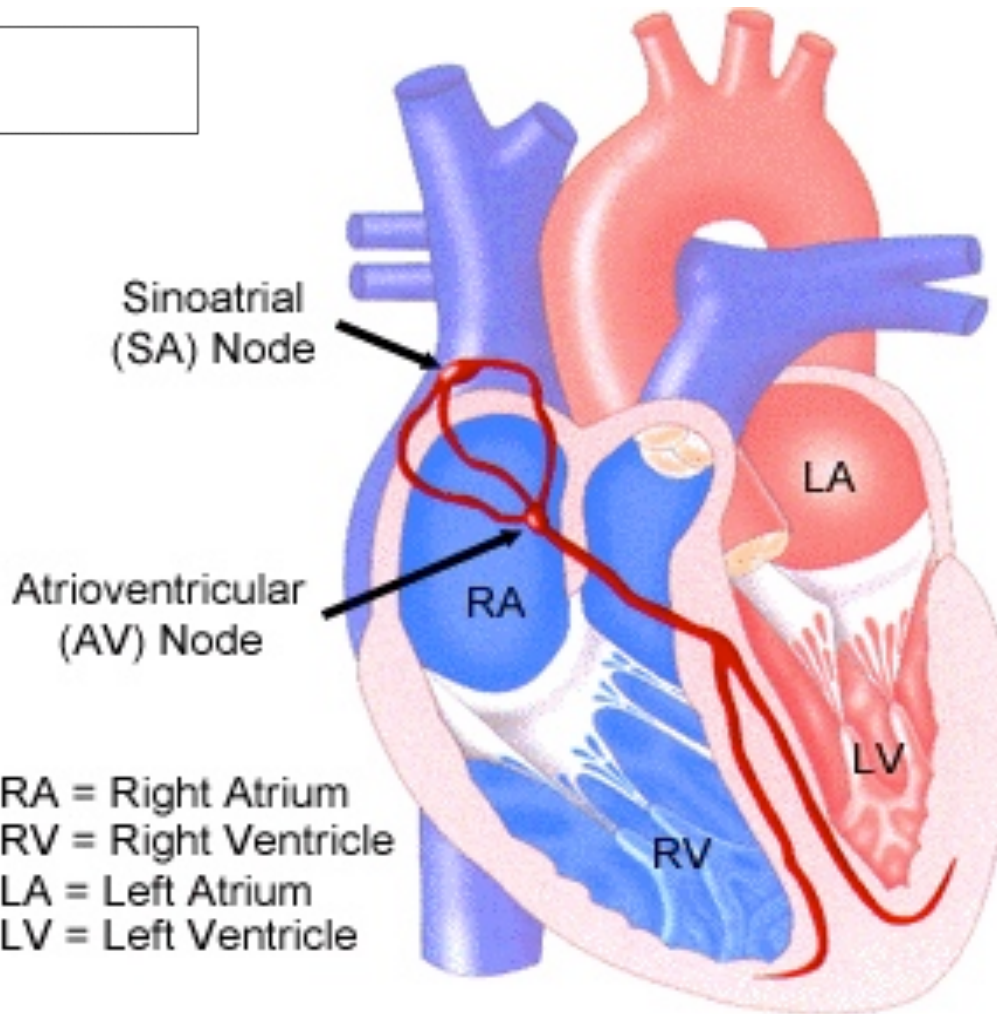
Anatomie du coeur



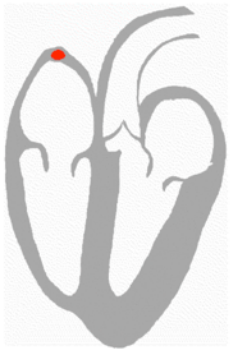


Activité électrique du coeur

Automatisme Synchronisation

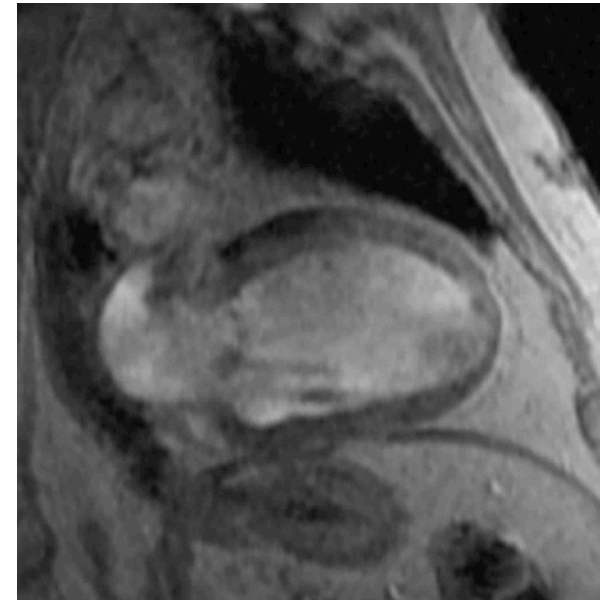
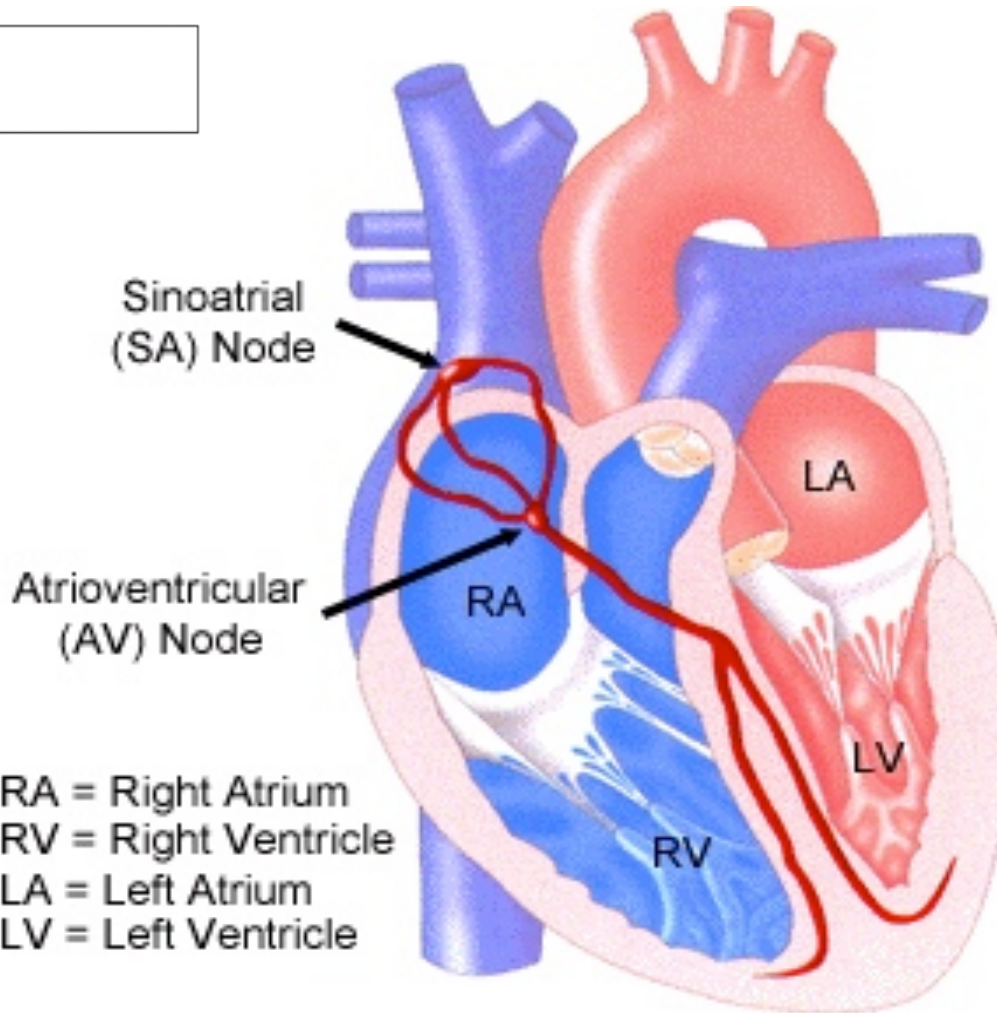


RA = Right Atrium
RV = Right Ventricle
LA = Left Atrium
LV = Left Ventricle



Activité électrique du coeur

Automatisme Synchronisation



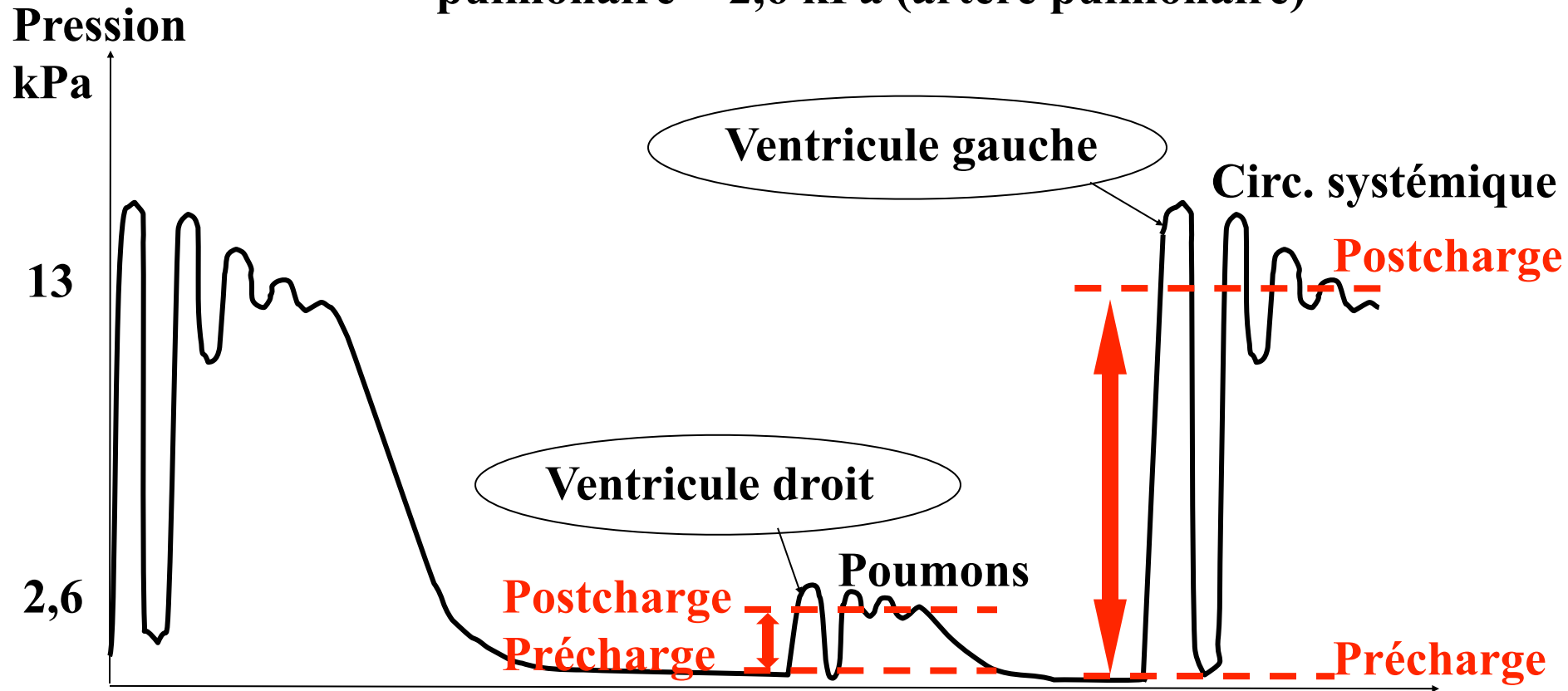
I- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

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)

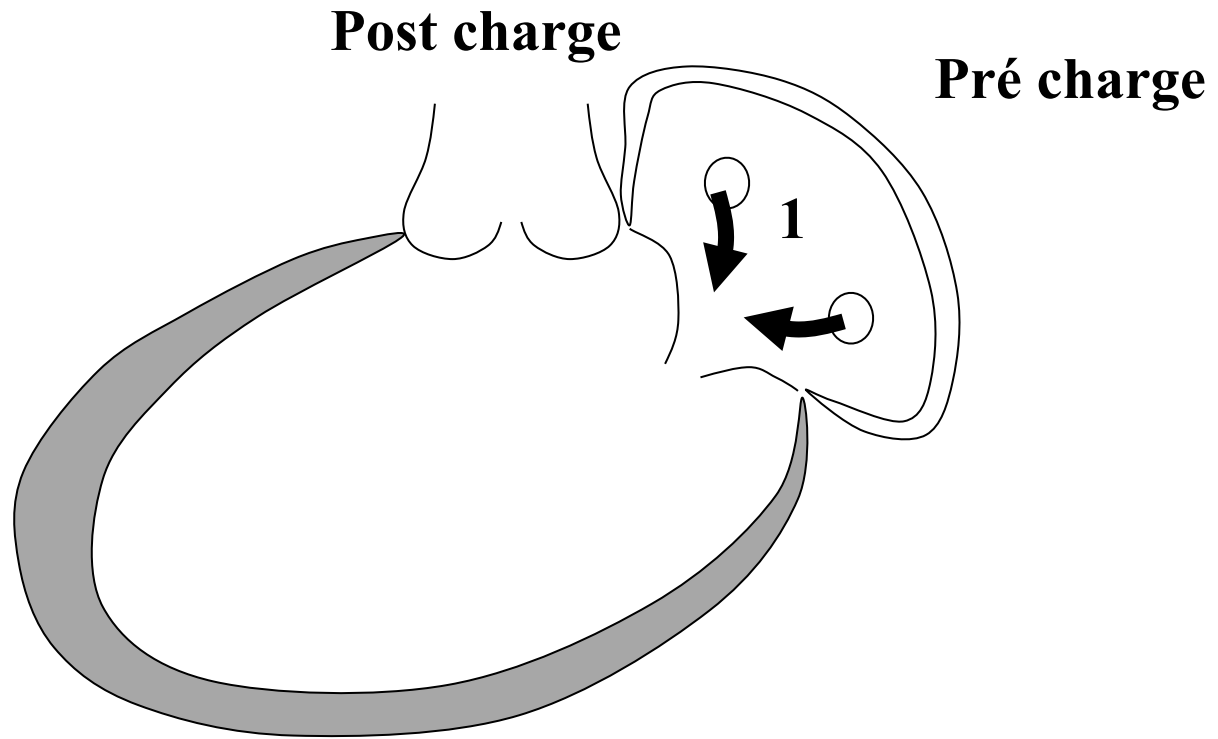
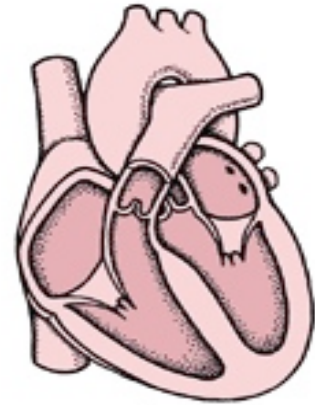
→ pulmonaire = 2,6 kPa (artère pulmonaire)



Remarque: système pulsatile amorti par l'élasticité des vaisseaux

Chaque pompe :

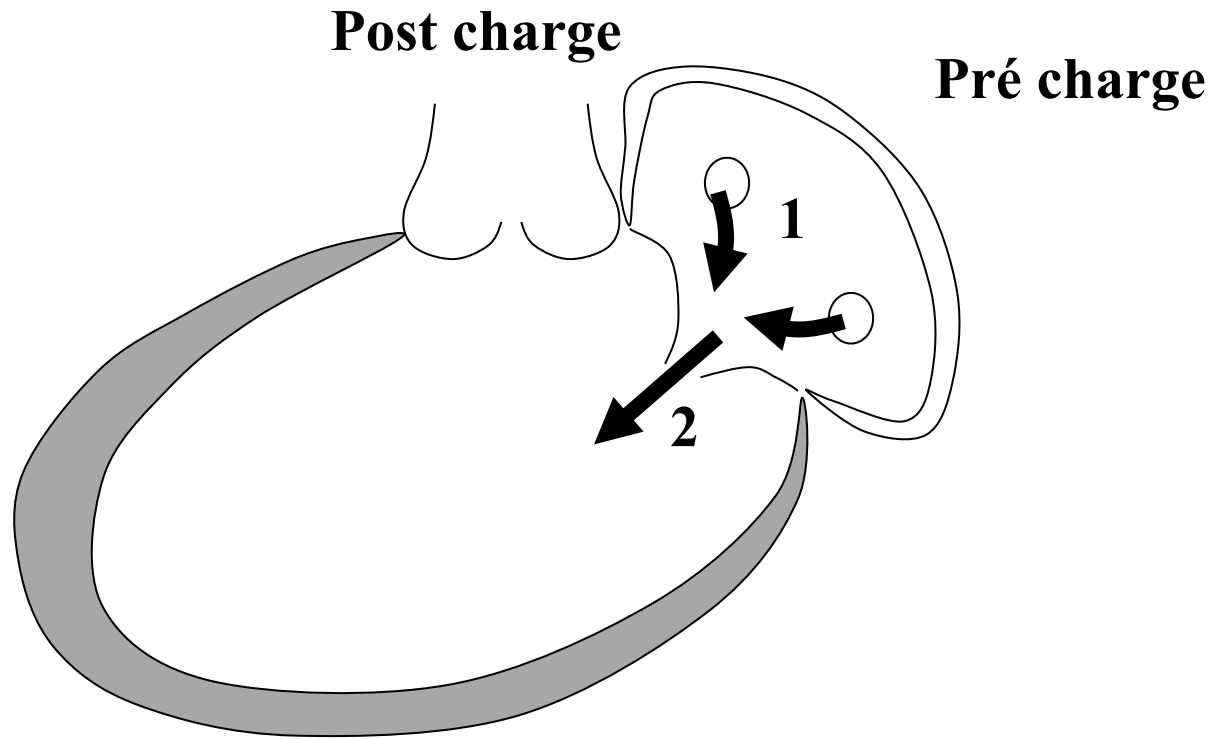
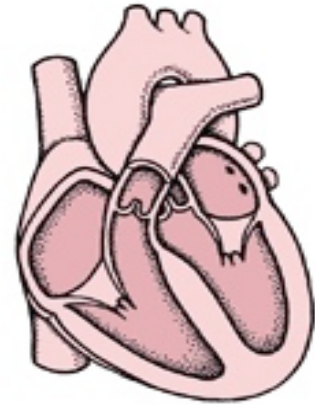
1 Chambre d'admission (basse pression)



Chaque pompe :

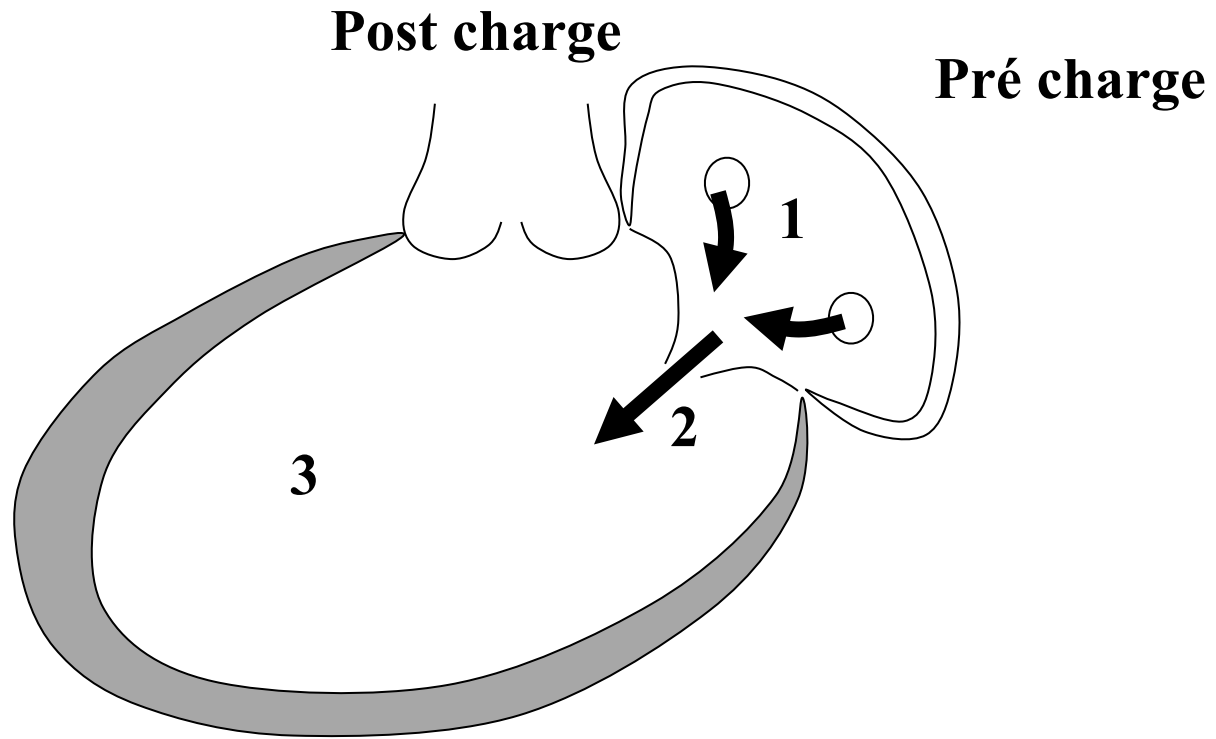
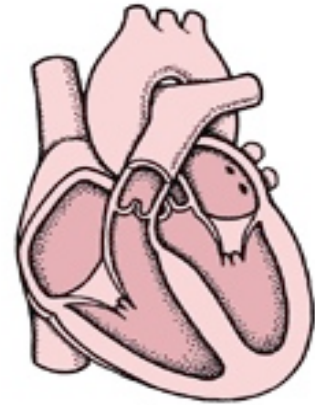
1 Chambre d'admission (basse pression)

2 Valve d'admission (tricuspide, mitrale)



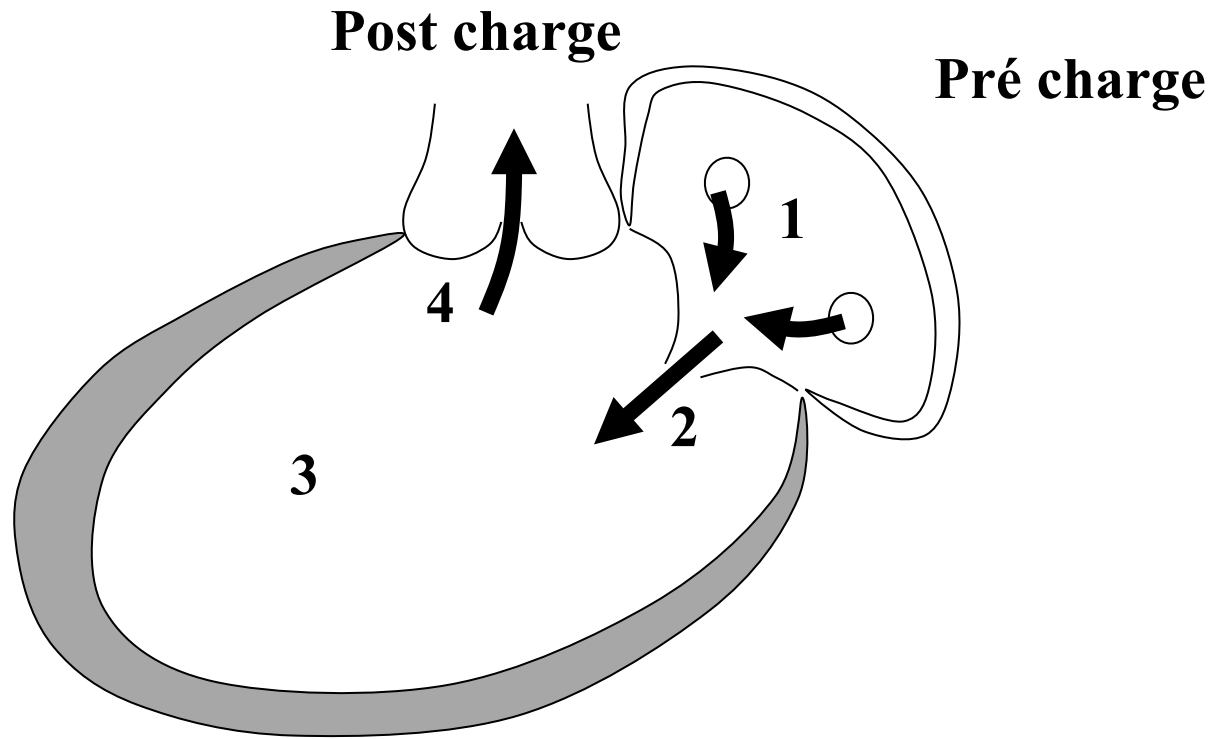
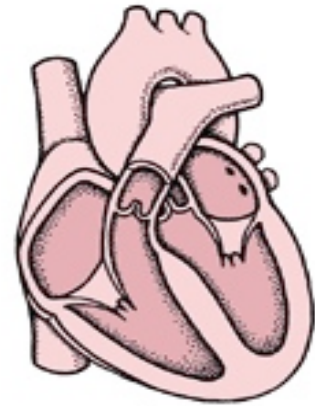
Chaque pompe :

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



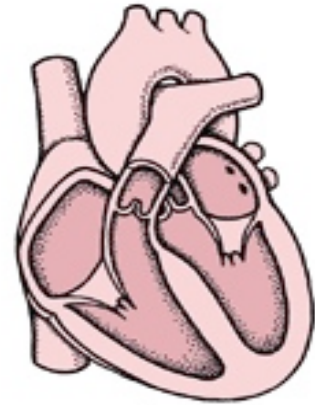
Chaque pompe :

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

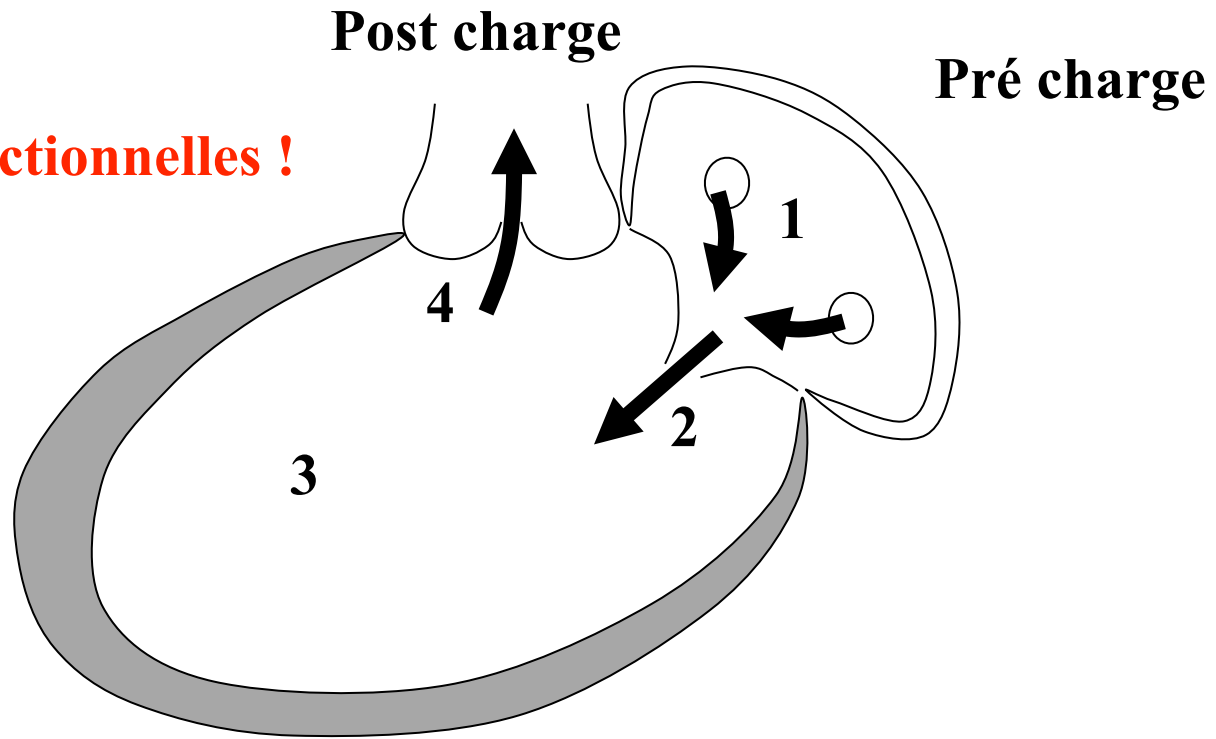


Chaque pompe :

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



Valves unidirectionnelles !



Imagerie cardiaque par ultrasons : Echocardiogramme

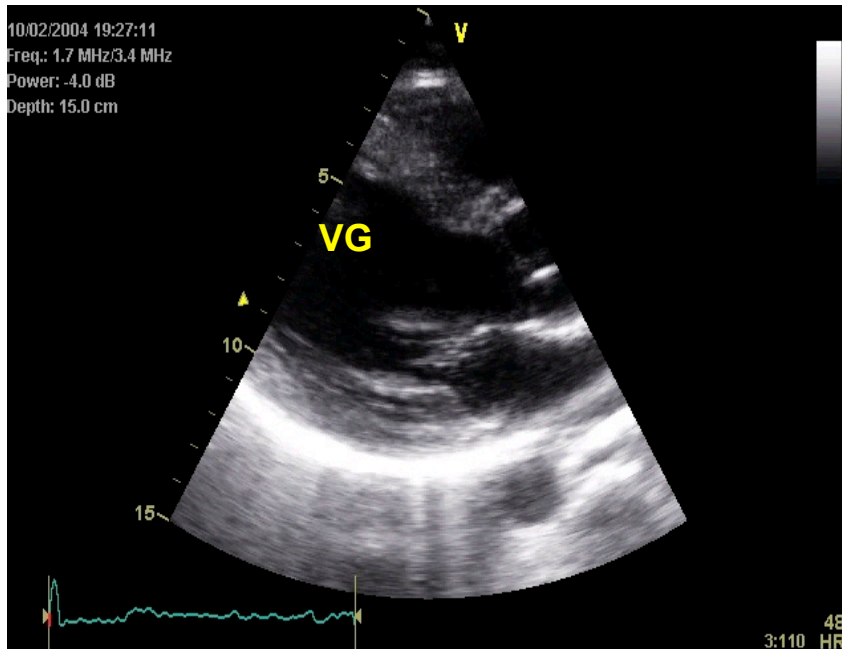
Vue parasternale gauche

Vue apicale

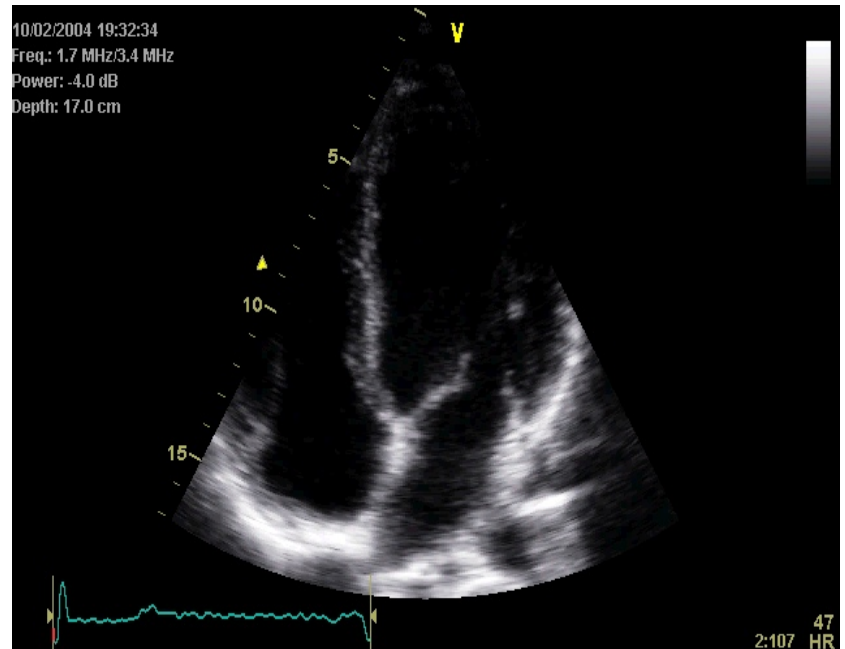
VG : ventricule gauche ; VD : ventricule droit

OG : oreillette gauche ; OD : oreillette droite

Imagerie cardiaque par ultrasons : Echocardiogramme



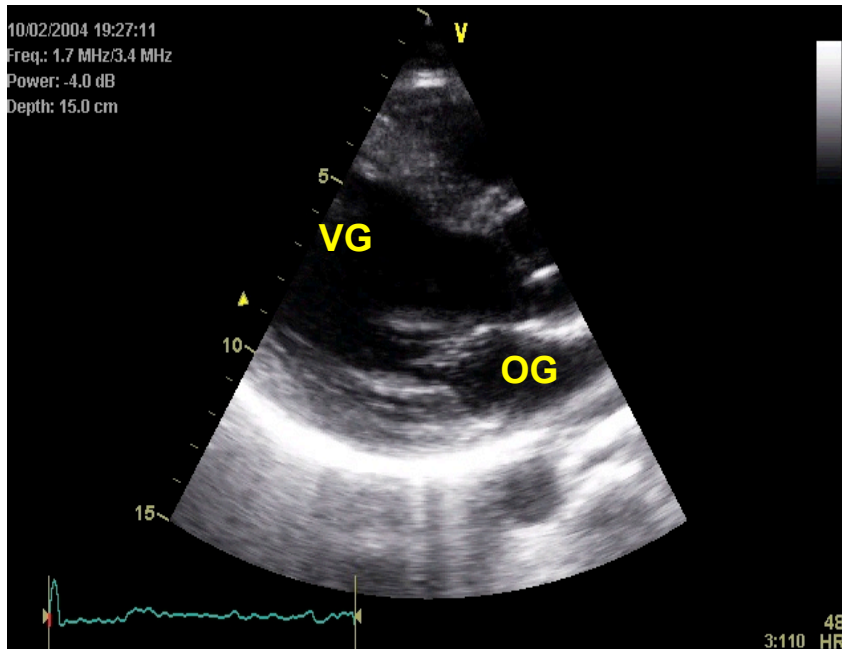
Vue parasternale gauche



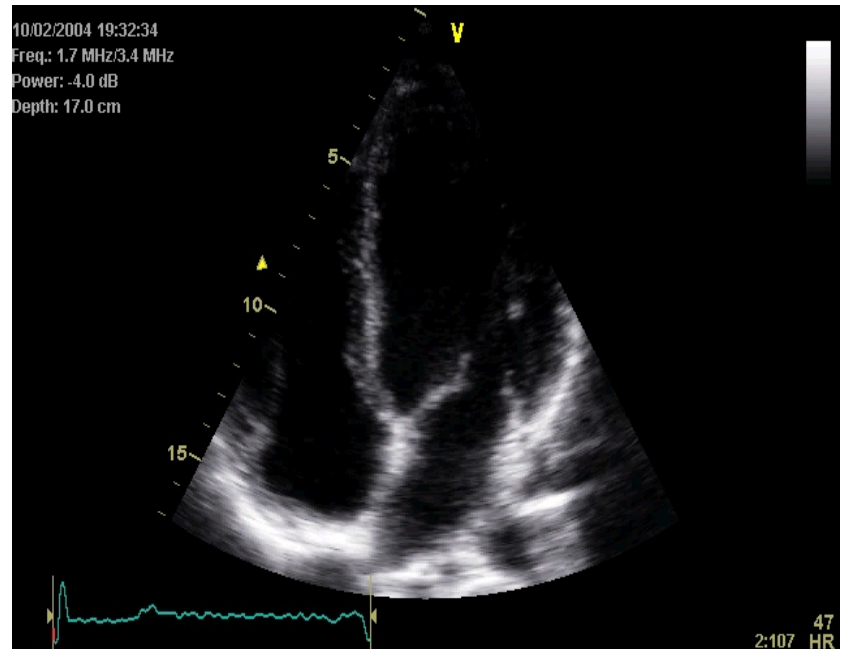
Vue apicale

VG : ventricule gauche ; VD : ventricule droit
OG : oreillette gauche ; OD : oreillette droite

Imagerie cardiaque par ultrasons : Echocardiogramme



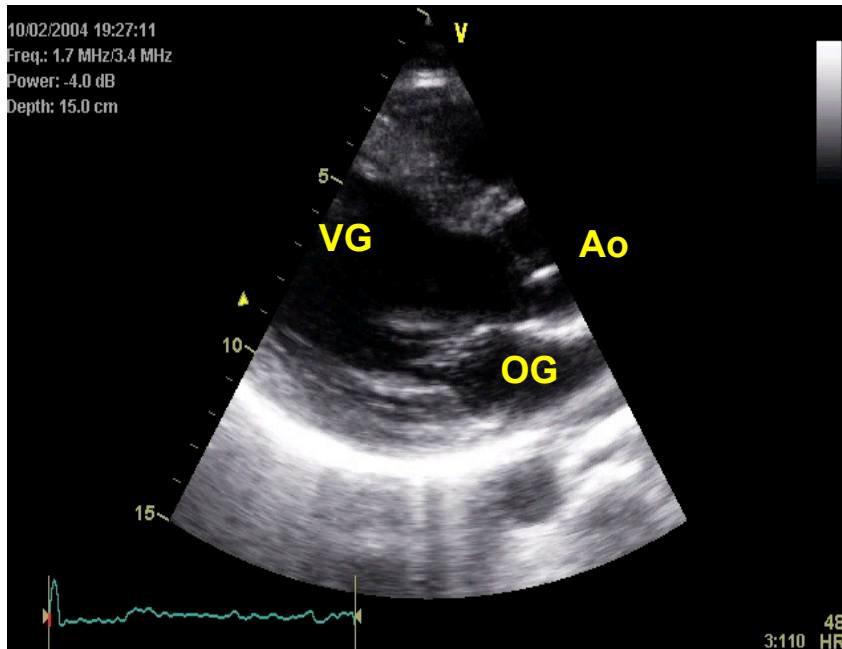
Vue parasternale gauche



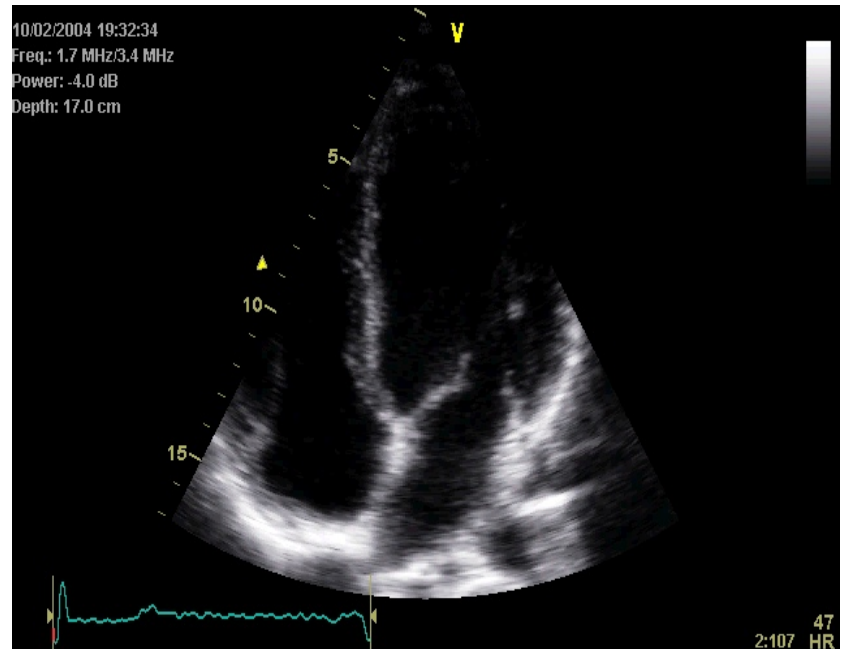
Vue apicale

VG : ventricule gauche ; VD : ventricule droit
OG : oreillette gauche ; OD : oreillette droite

Imagerie cardiaque par ultrasons : Echocardiogramme



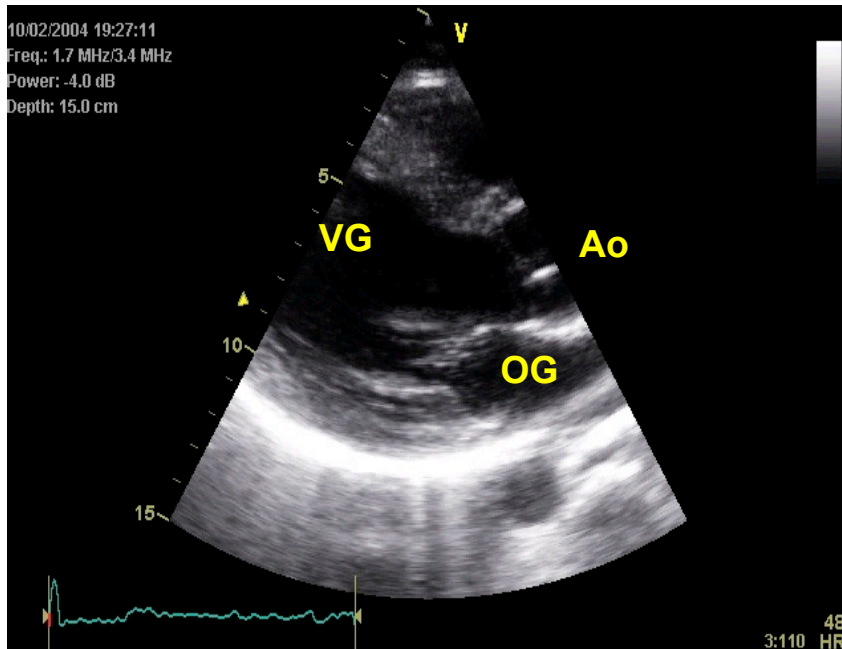
Vue parasternale gauche



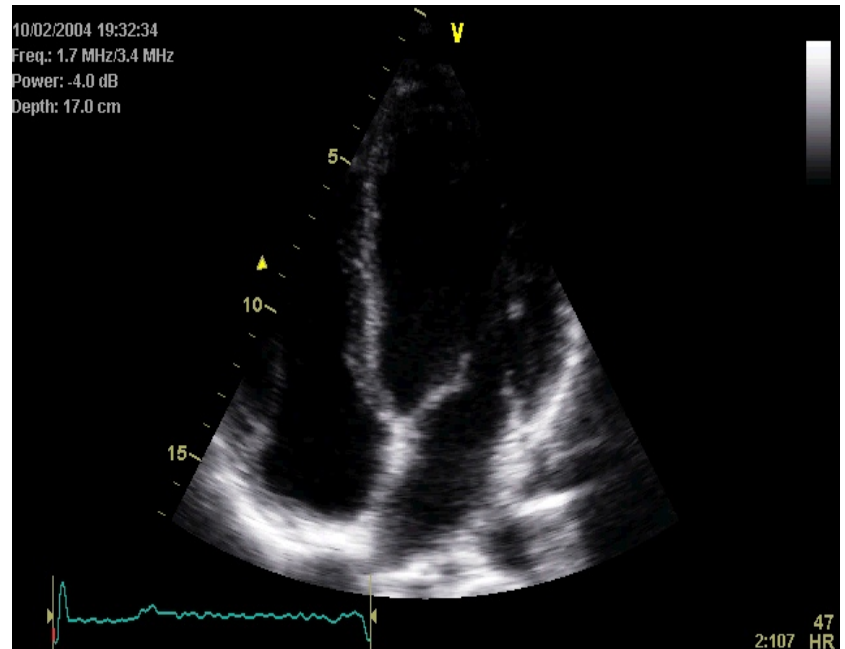
Vue apicale

VG : ventricule gauche ; VD : ventricule droit
OG : oreillette gauche ; OD : oreillette droite

Imagerie cardiaque par ultrasons : Echocardiogramme



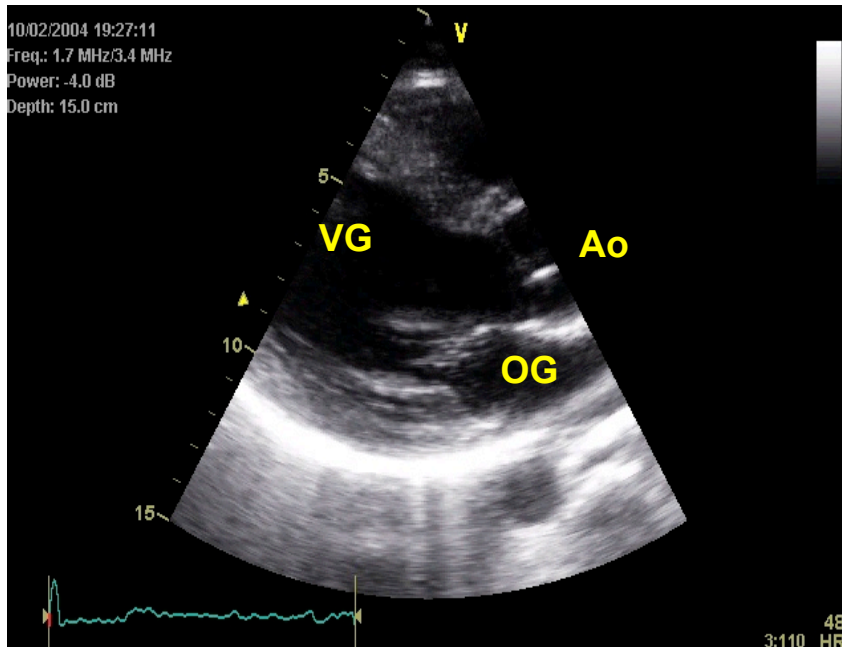
Vue parasternale gauche



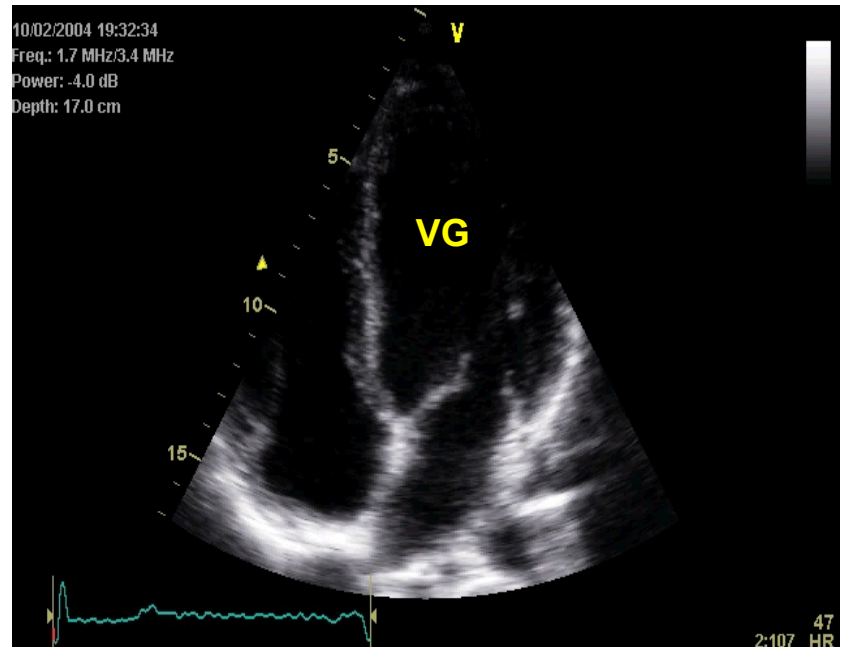
Vue apicale

VG : ventricule gauche ; VD : ventricule droit
OG : oreillette gauche ; OD : oreillette droite

Imagerie cardiaque par ultrasons : Echocardiogramme



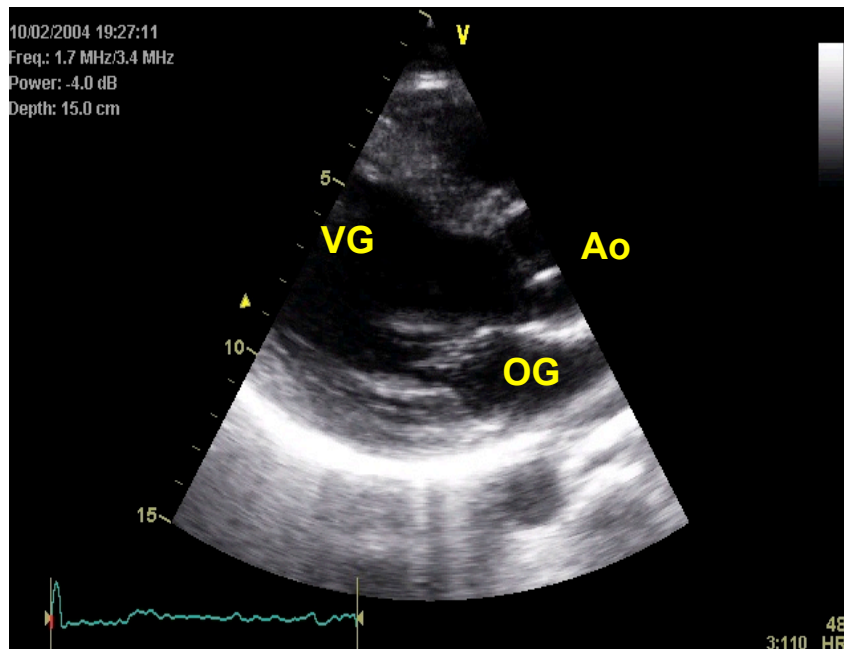
Vue parasternale gauche



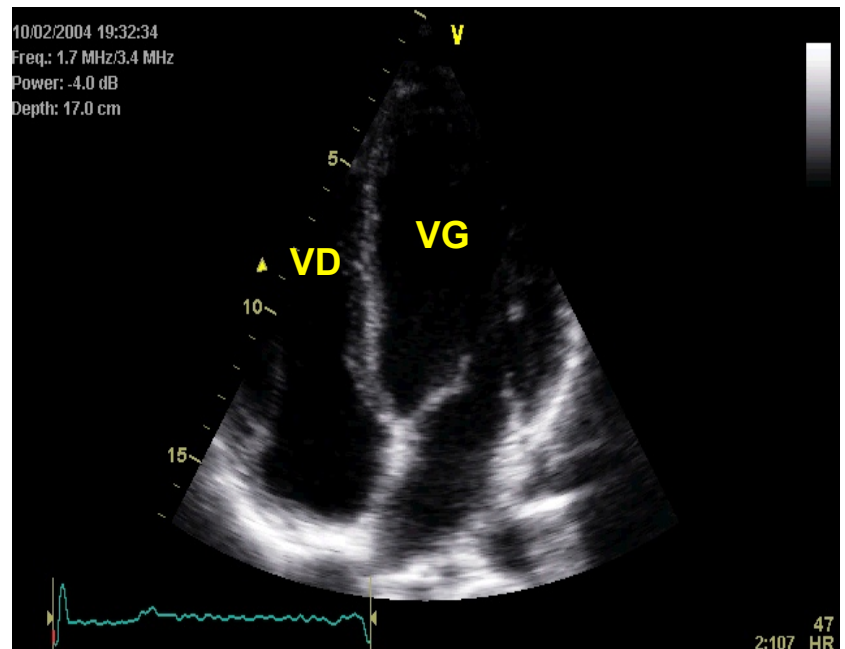
Vue apicale

VG : ventricule gauche ; VD : ventricule droit
OG : oreillette gauche ; OD : oreillette droite

Imagerie cardiaque par ultrasons : Echocardiogramme



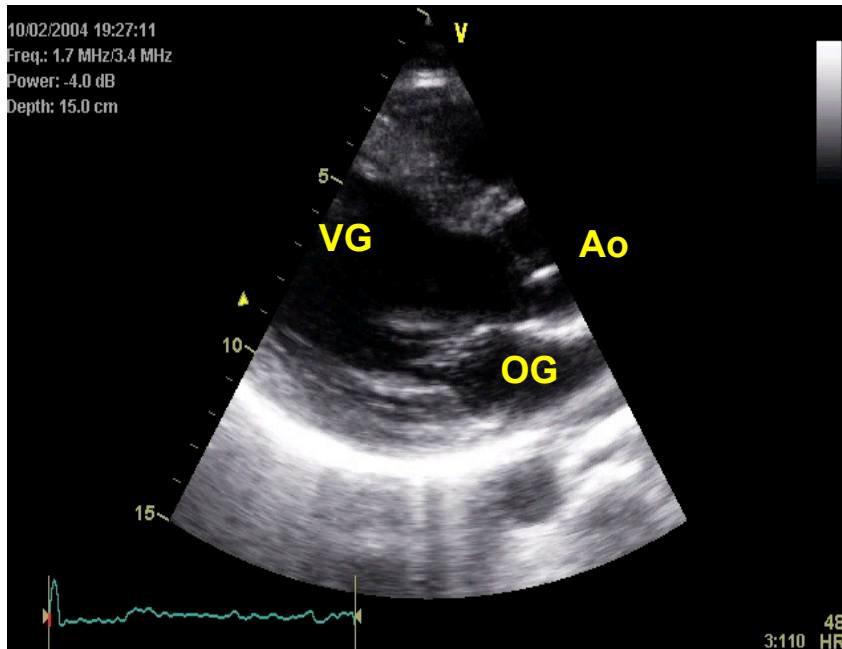
Vue parasternale gauche



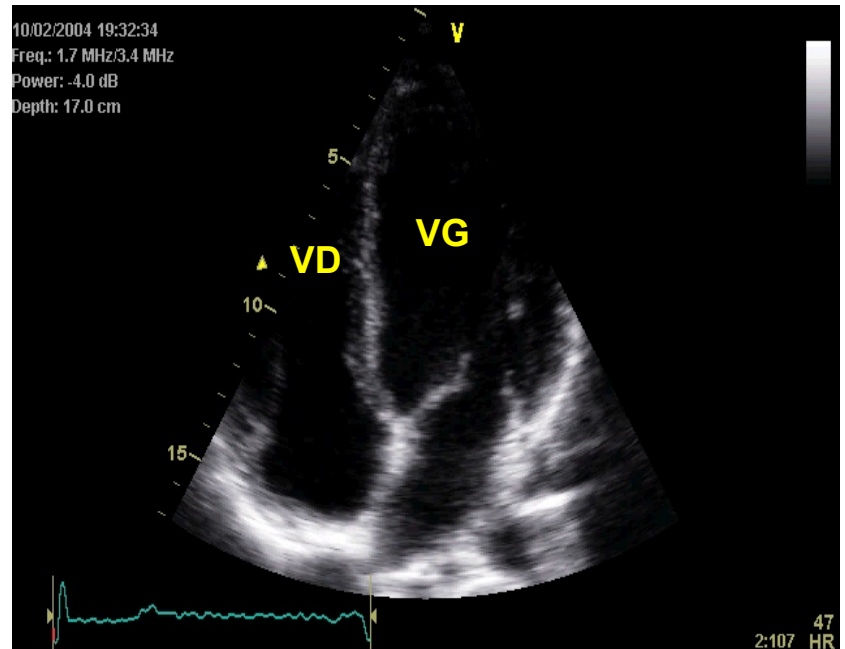
Vue apicale

VG : ventricule gauche ; VD : ventricule droit
OG : oreillette gauche ; OD : oreillette droite

Imagerie cardiaque par ultrasons : Echocardiogramme



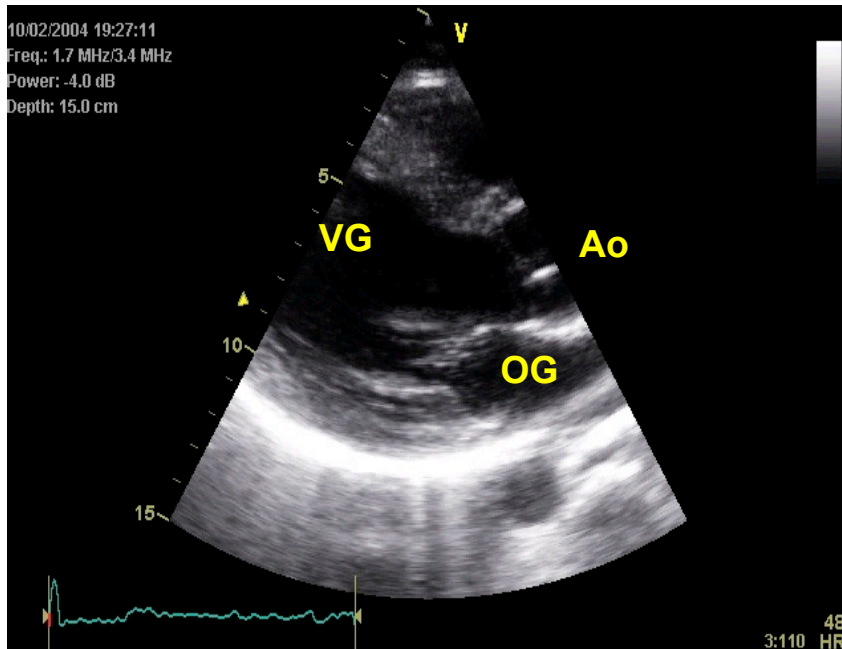
Vue parasternale gauche



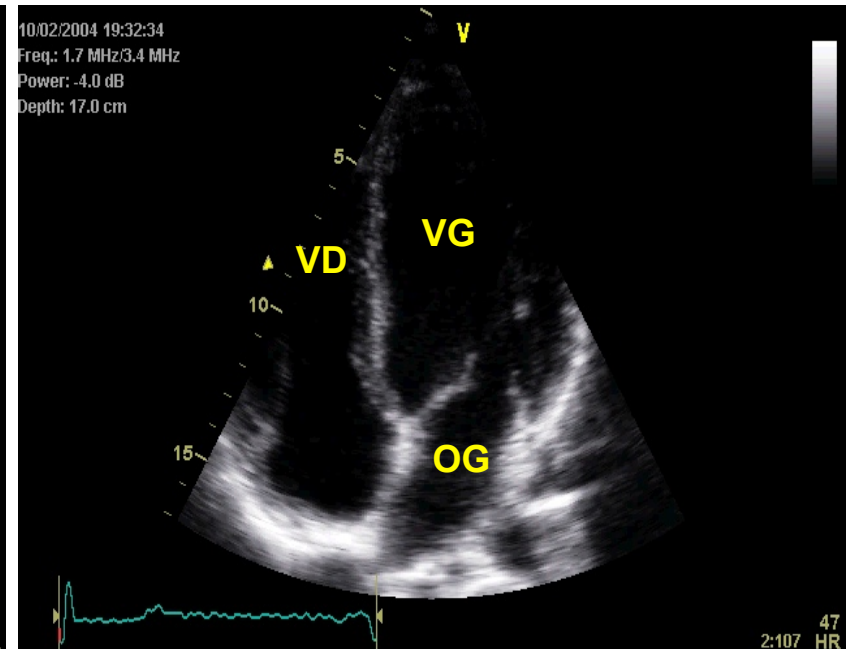
Vue apicale

VG : ventricule gauche ; VD : ventricule droit
OG : oreillette gauche ; OD : oreillette droite

Imagerie cardiaque par ultrasons : Echocardiogramme



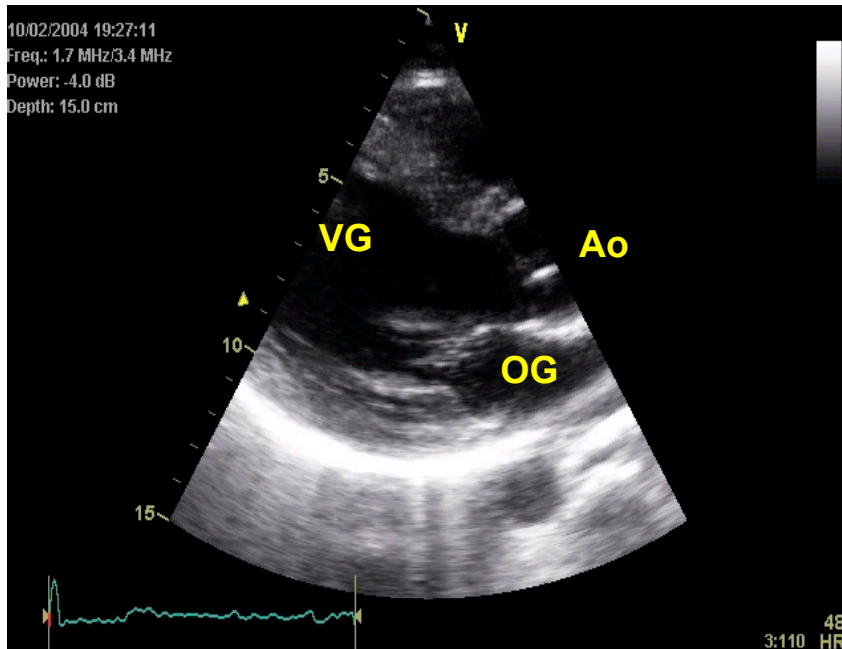
Vue parasternale gauche



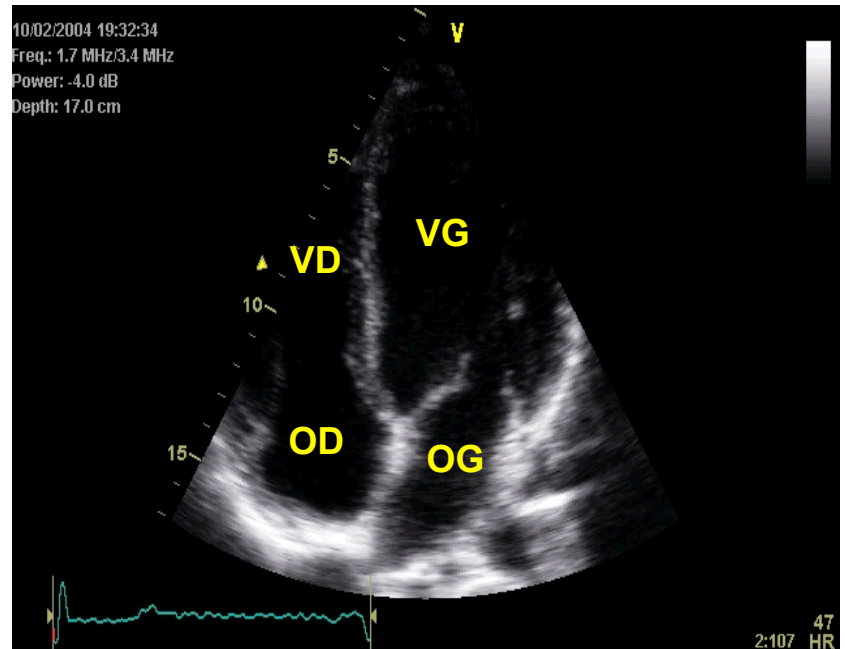
Vue apicale

VG : ventricule gauche ; VD : ventricule droit
OG : oreillette gauche ; OD : oreillette droite

Imagerie cardiaque par ultrasons : Echocardiogramme



Vue parasternale gauche

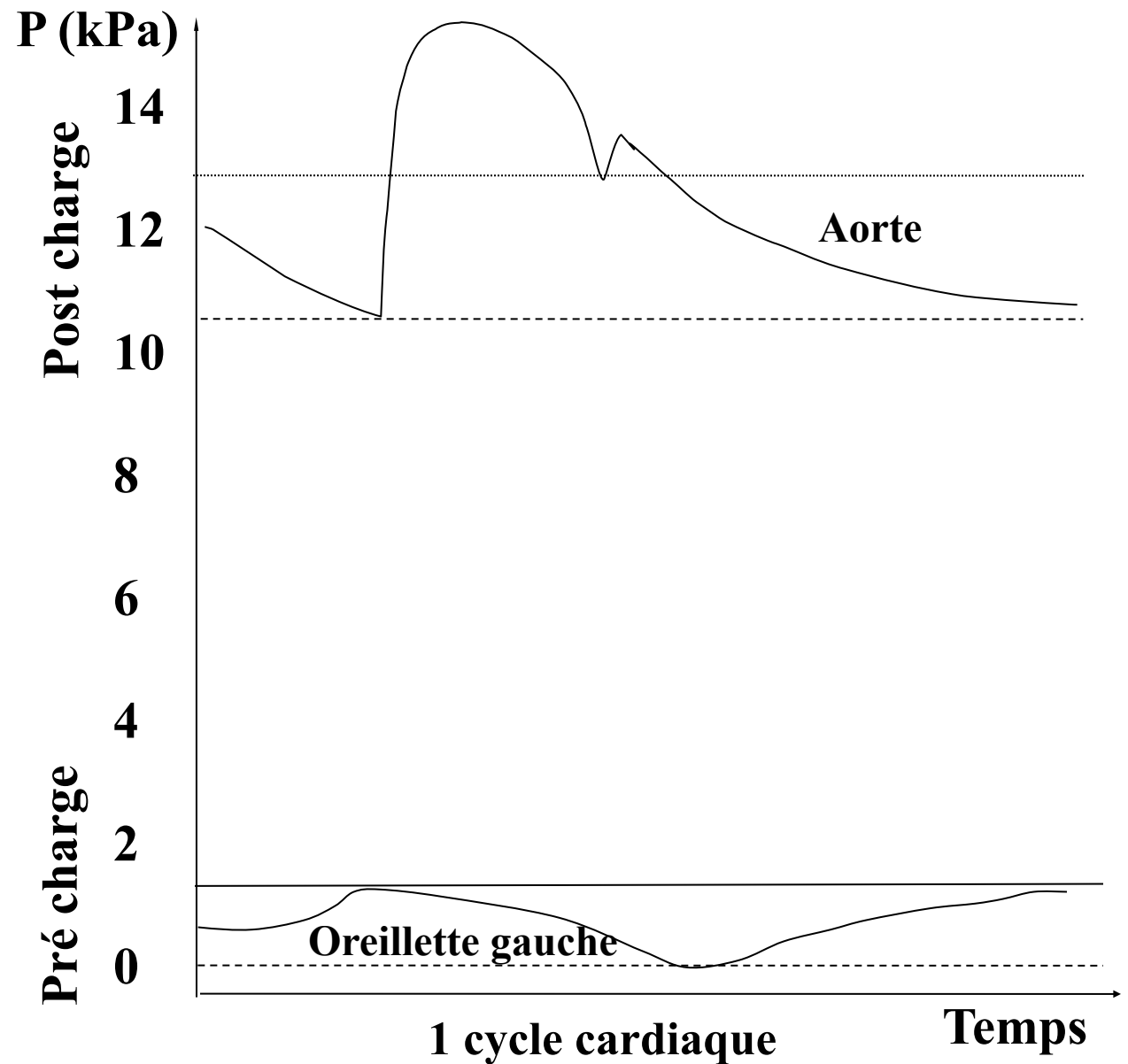


Vue apicale

VG : ventricule gauche ; VD : ventricule droit
OG : oreillette gauche ; OD : oreillette droite

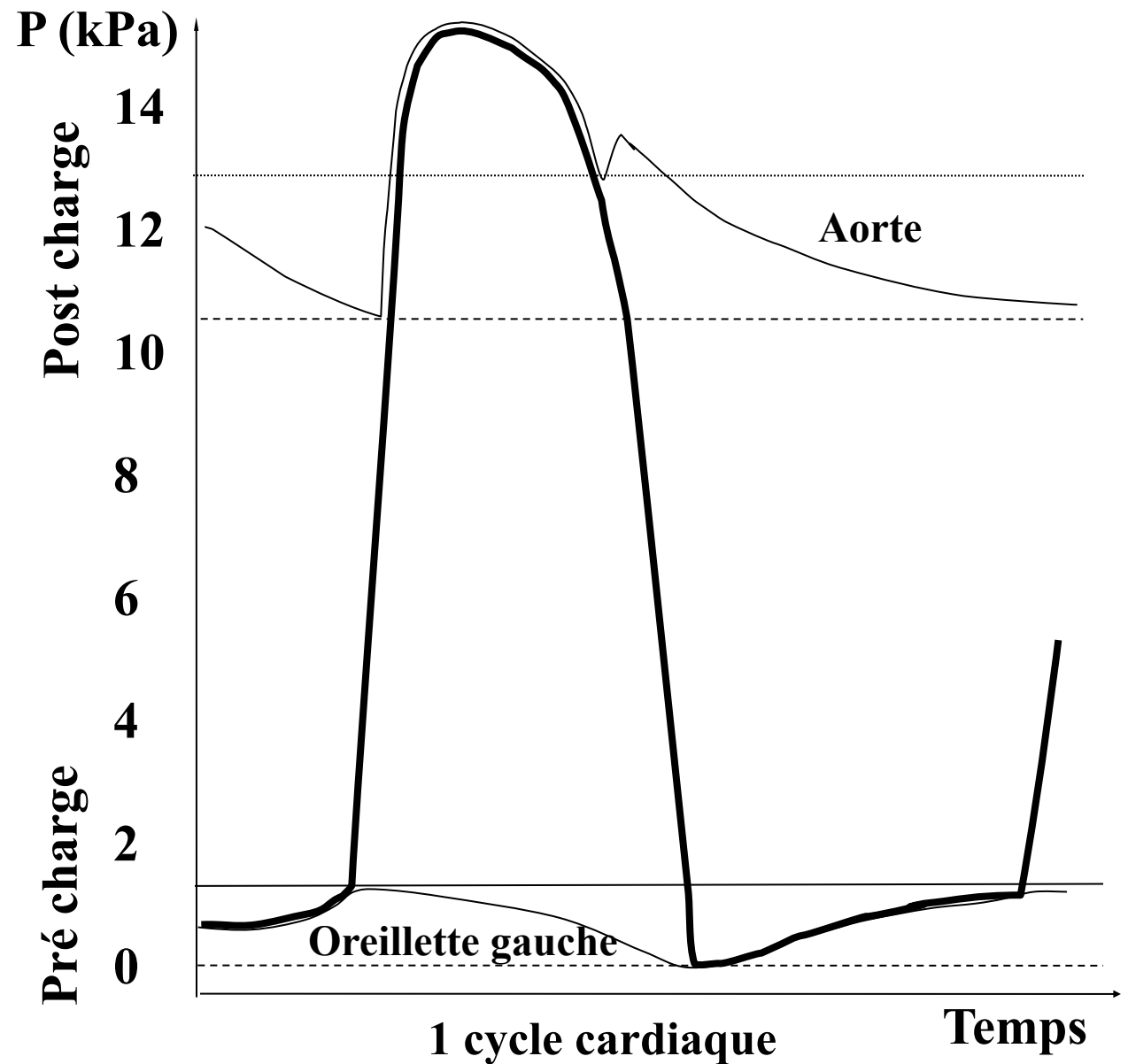
2 - COURBES PRESSION-TEMPS

Ventricule gauche



2 - COURBES PRESSION-TEMPS

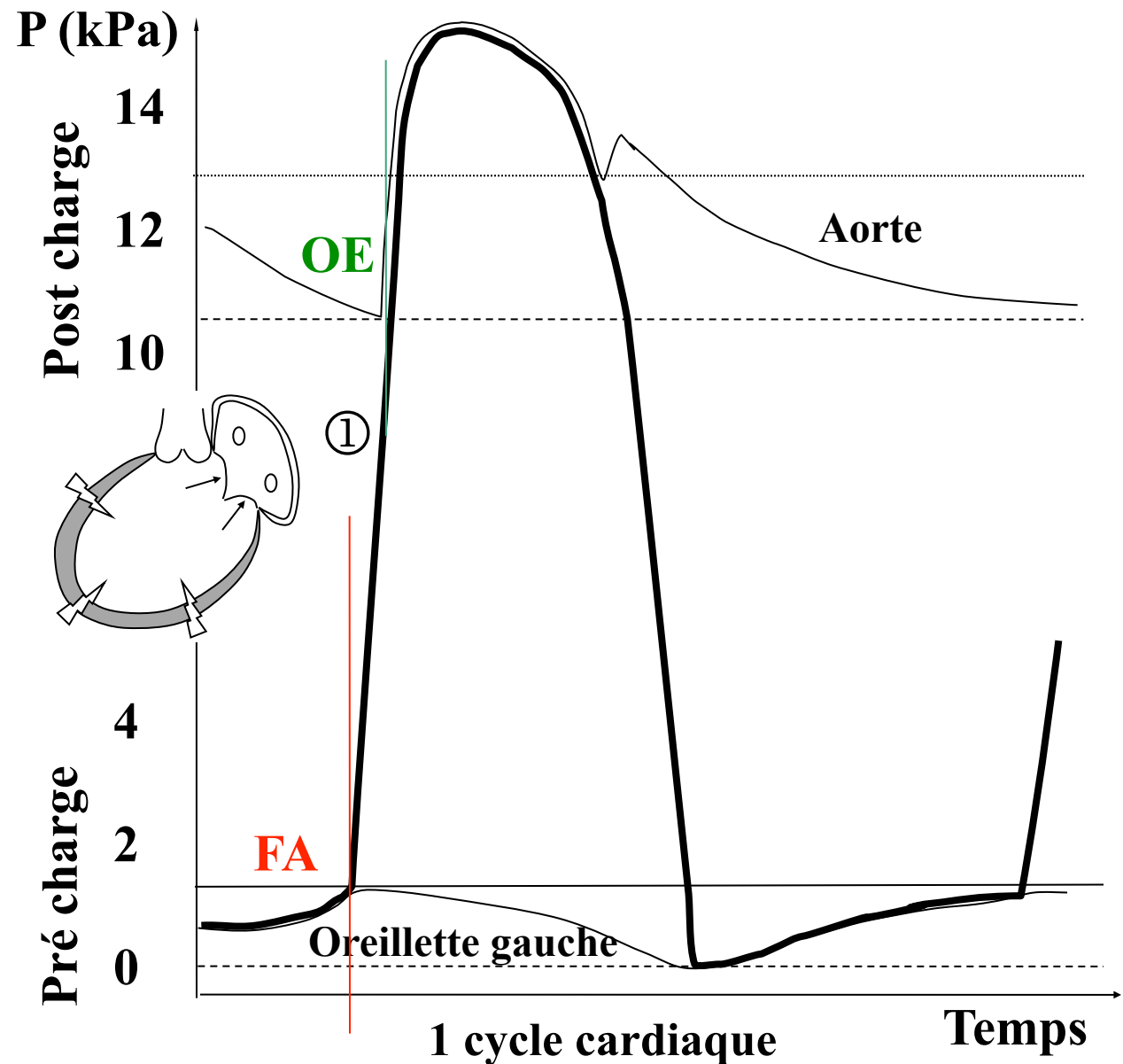
Ventricule gauche



2 - COURBES PRESSION-TEMPS

Ventricule gauche

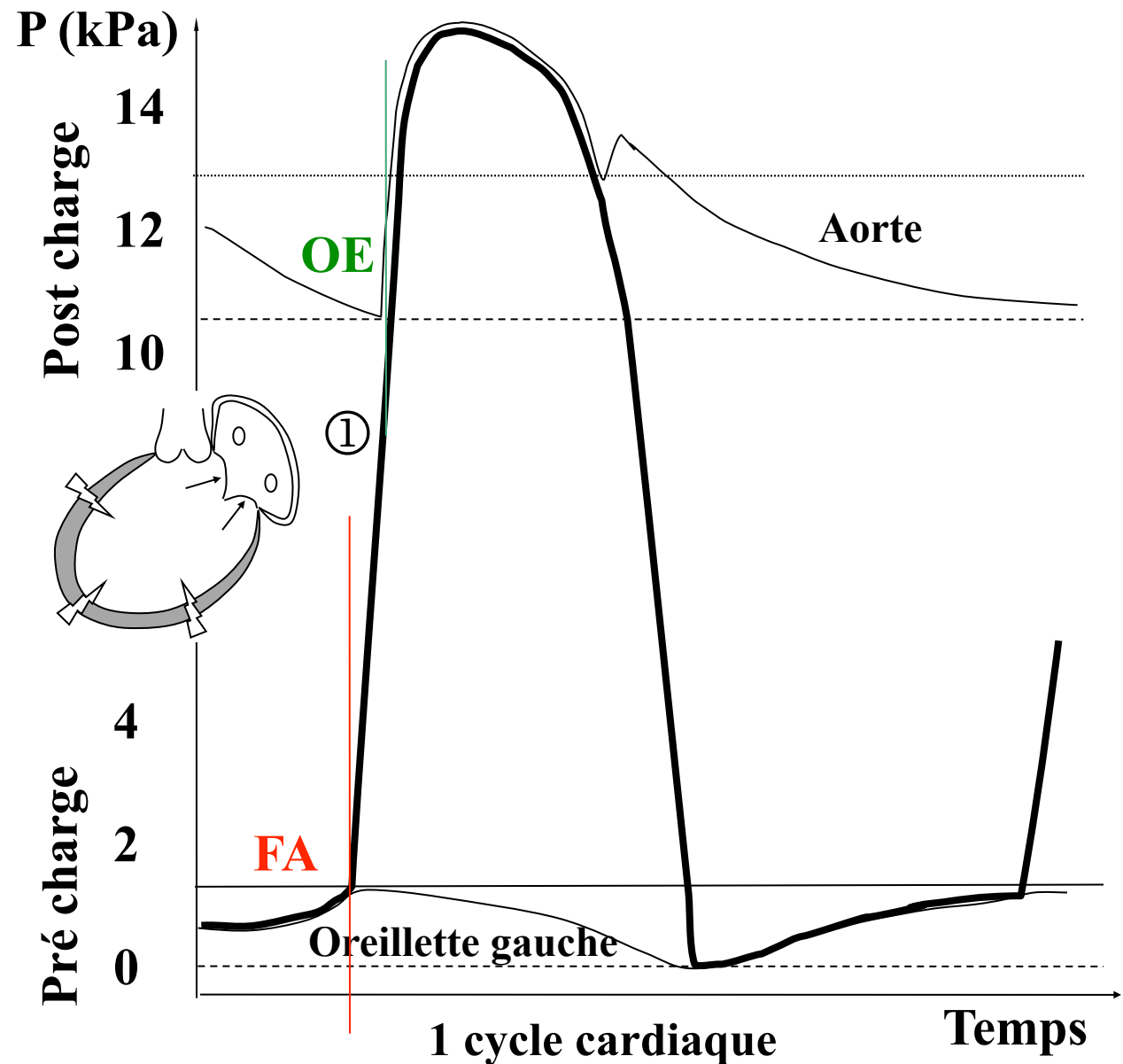
① contraction
isovolumétrique



2 - COURBES PRESSION-TEMPS

Ventricule gauche

① contraction
isovolumétrique

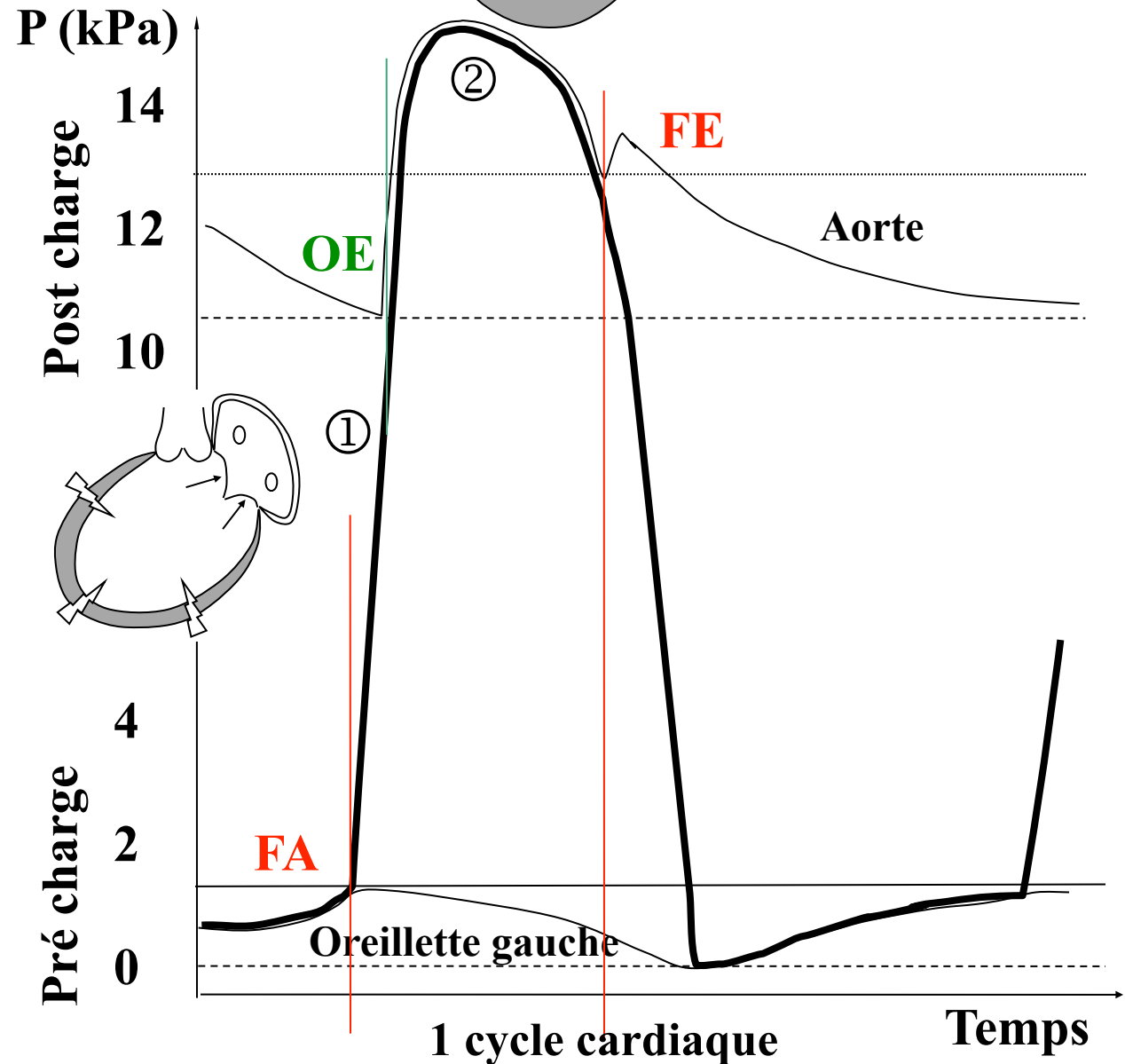


2 - COURBES PRESSION-TEMPS

Ventricule gauche

① contraction
isovolumétrique

② éjection



FA : fermeture valve admission
OE : ouverture valve d'éjection
FE : fermeture valve d'éjection
OA : ouverture valve admission

2 - COURBES PRESSION-TEMPS

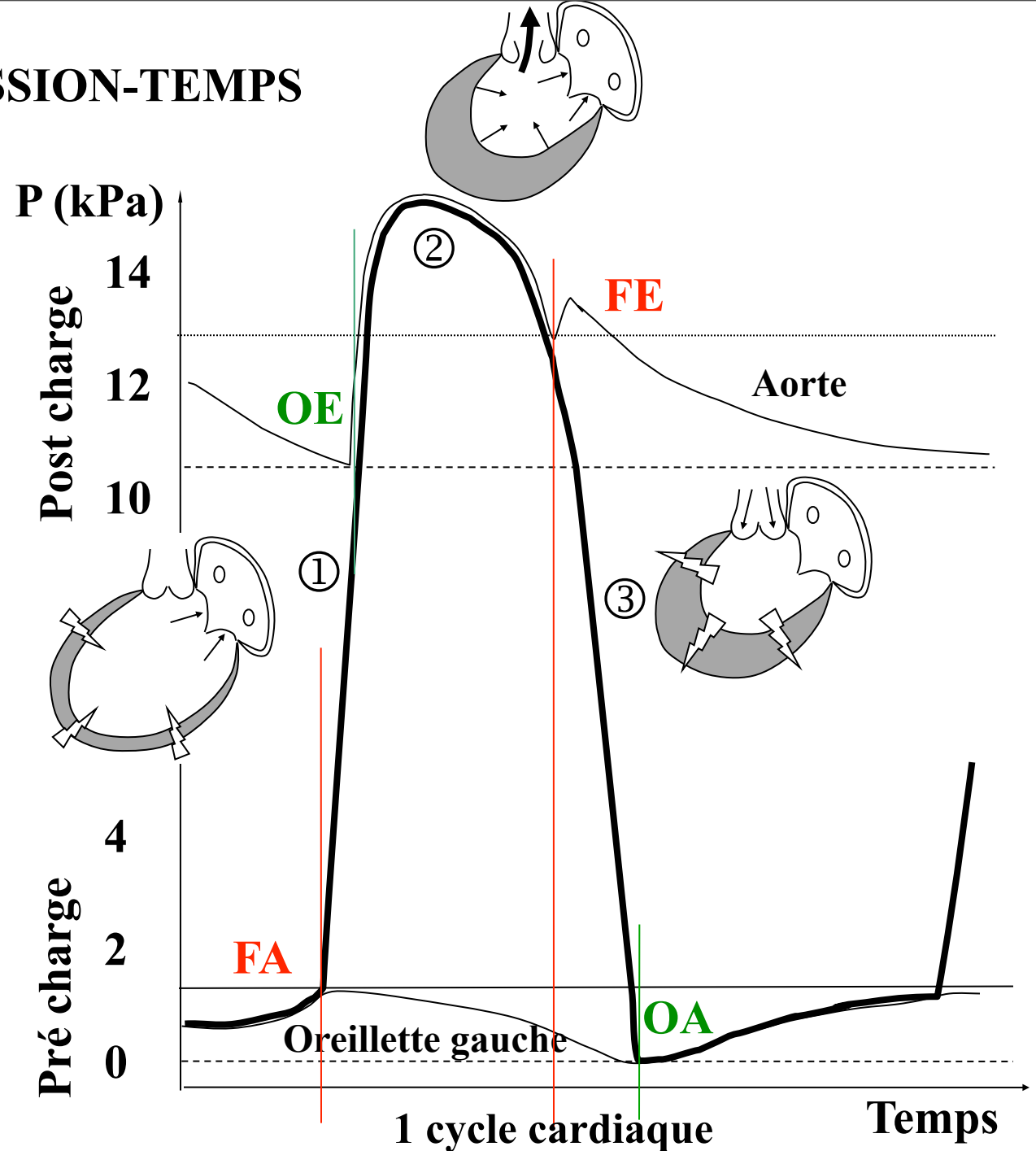
Ventricule gauche

① contraction
isovolumétrique

② éjection

③ relaxation
isovolumétrique

FA : fermeture valve admission
OE : ouverture valve d'éjection
FE : fermeture valve d'éjection
OA : ouverture valve admission



2 - COURBES PRESSION-TEMPS

Ventricule gauche

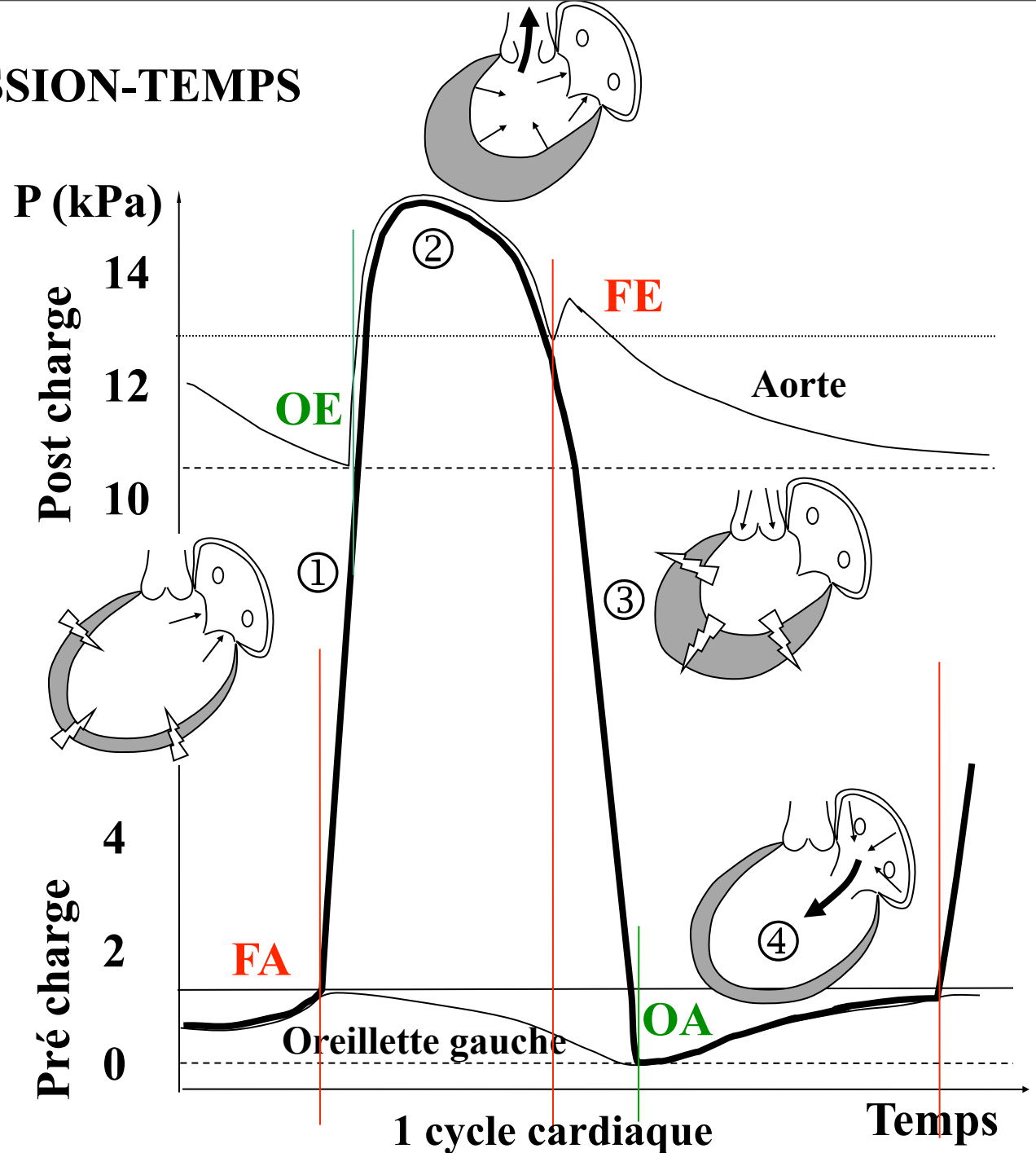
① contraction
isovolumétrique

② éjection

③ relaxation
isovolumétrique

④ remplissage

FA : fermeture valve admission
OE : ouverture valve d'éjection
FE : fermeture valve d'éjection
OA : ouverture valve admission



2 - COURBES PRESSION-TEMPS

Ventricule gauche

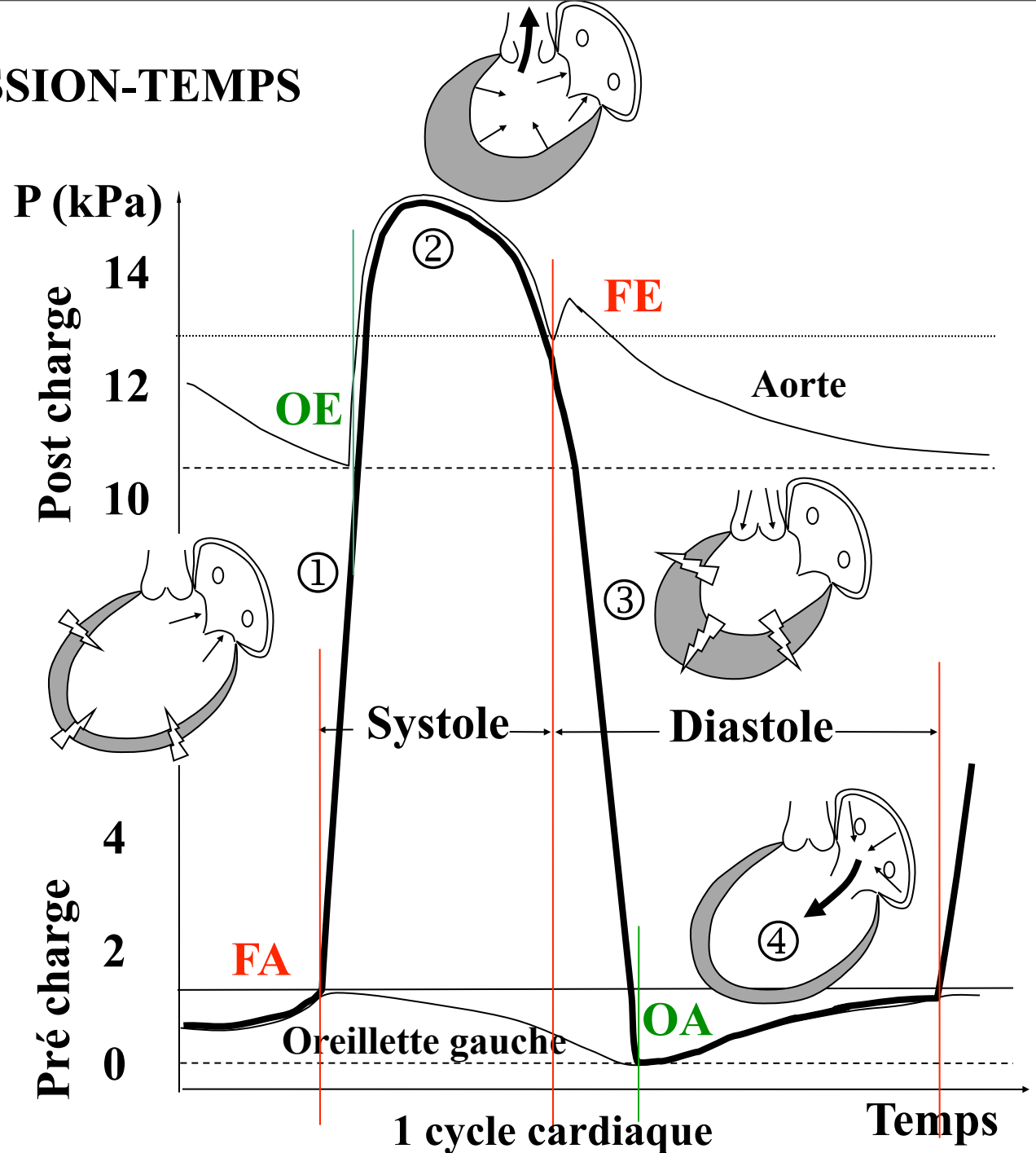
① contraction
isovolumétrique

② éjection

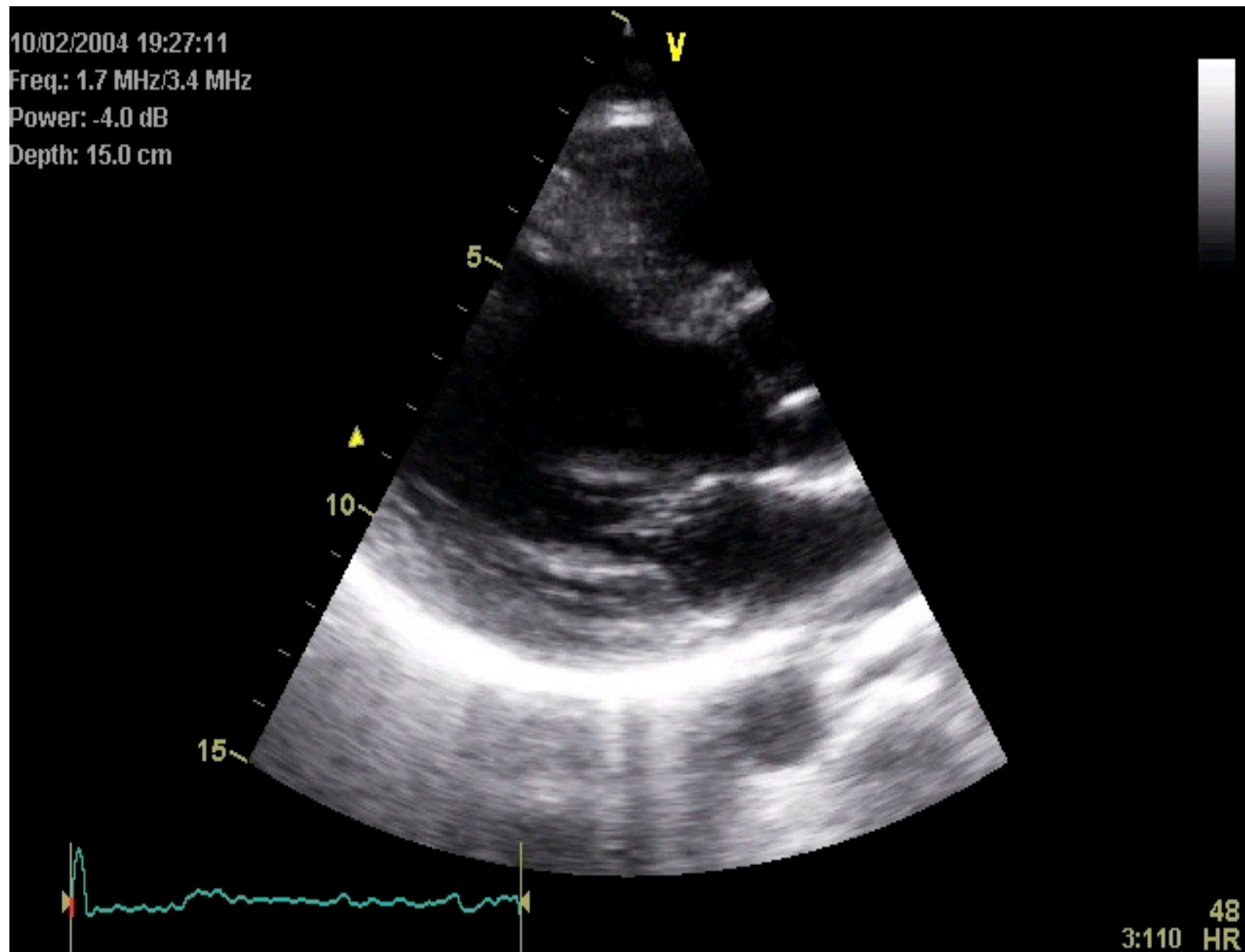
③ relaxation
isovolumétrique

④ remplissage

FA : fermeture valve admission
OE : ouverture valve d'éjection
FE : fermeture valve d'éjection
OA : ouverture valve admission



Vue parasternale gauche



Vue parasternale gauche

2 - COURBE VOLUME-TEMPS

Ventricule gauche

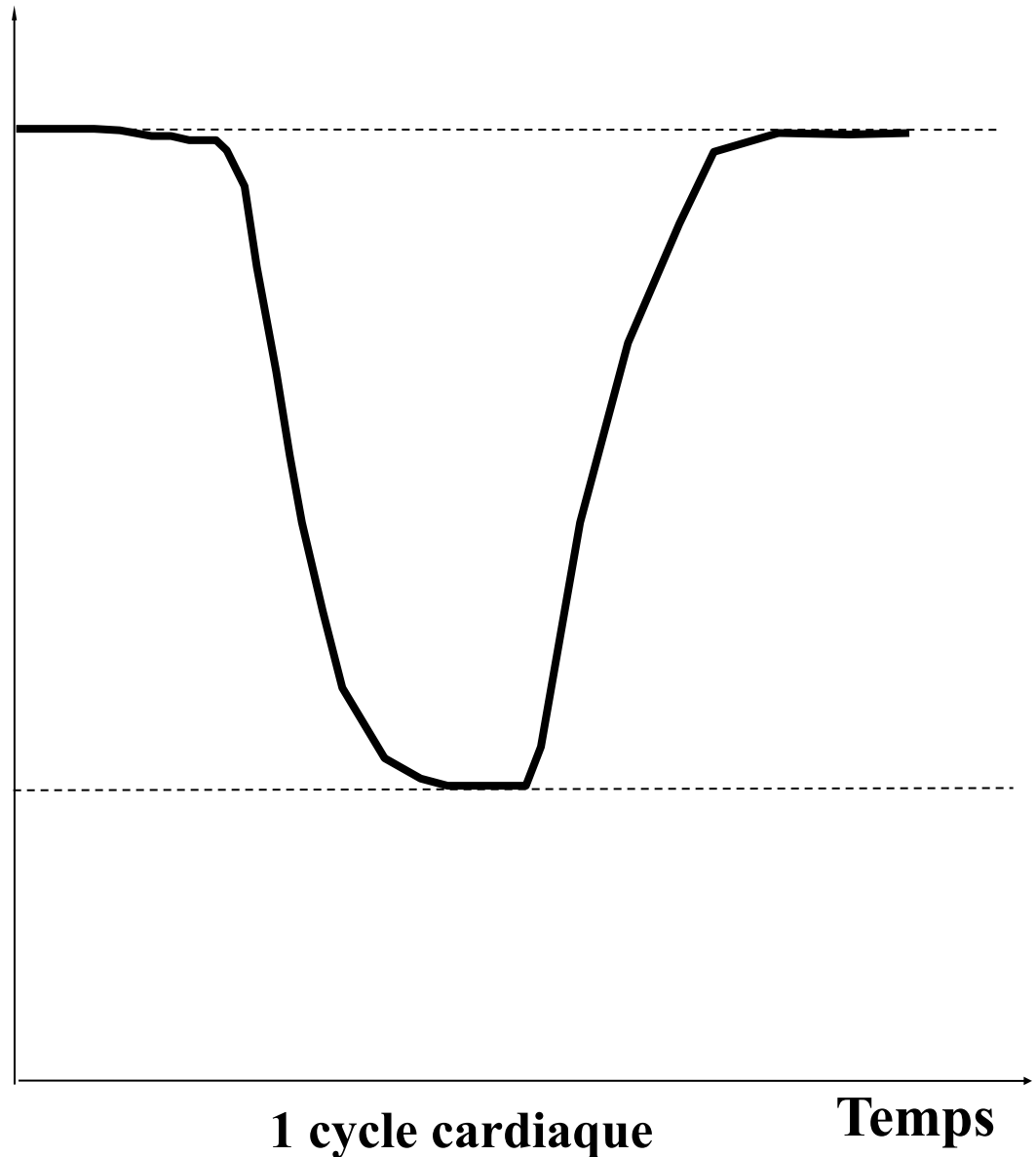
V (ml)

VTD 120

VTS 50

VTD volume télédiastolique

VTS volume télésystolique

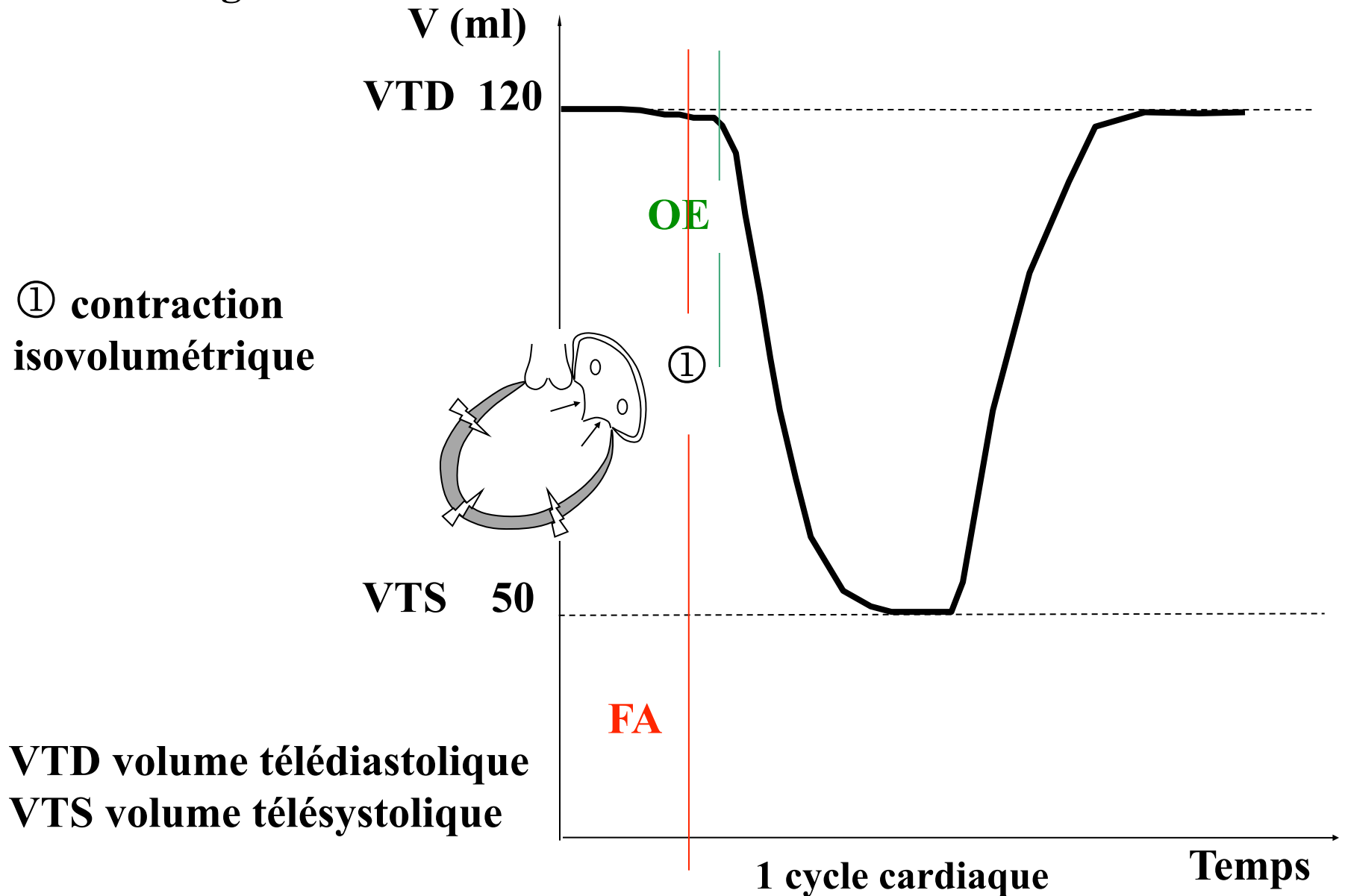


1 cycle cardiaque

Temps

2 - COURBE VOLUME-TEMPS

Ventricule gauche



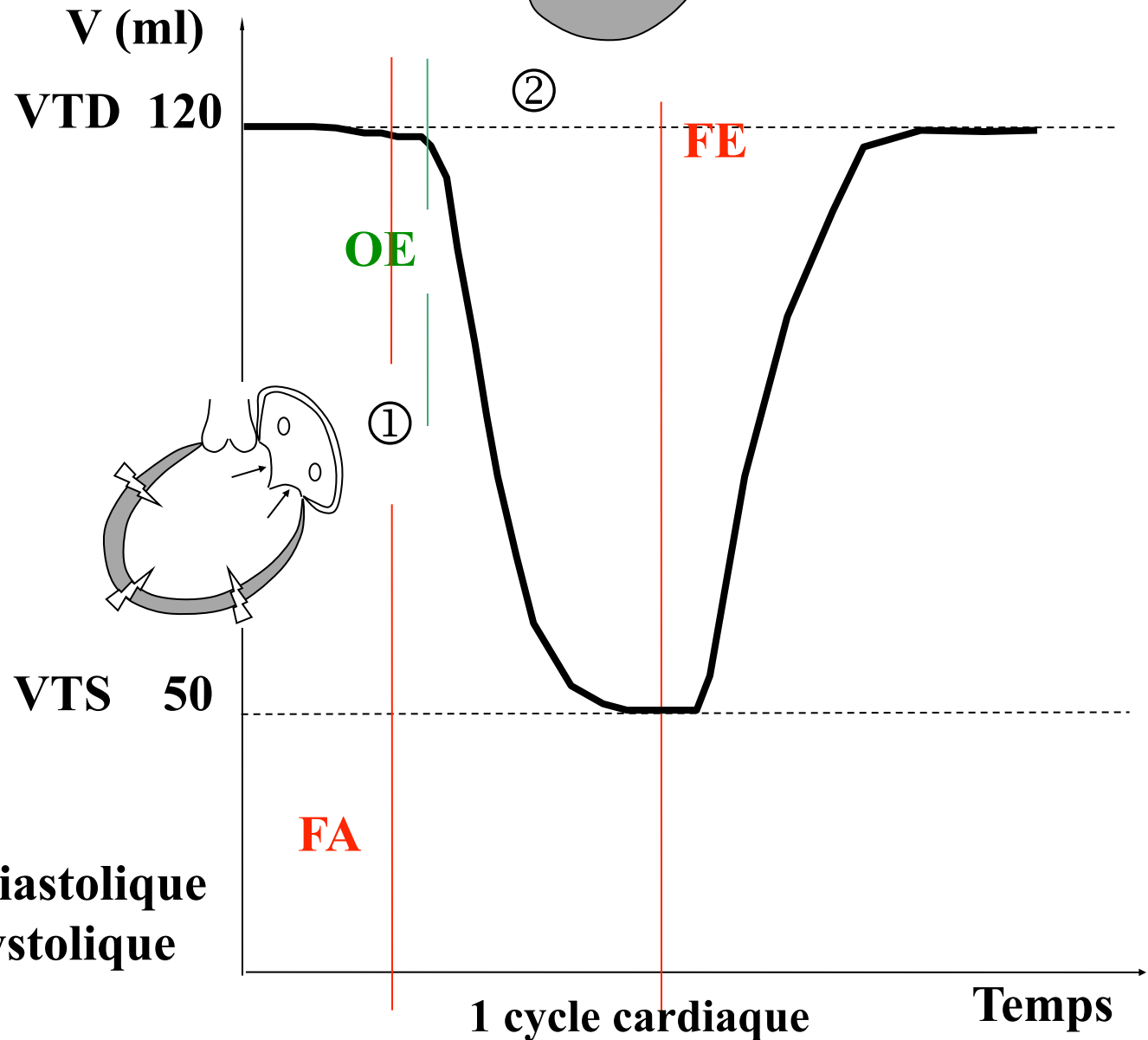
2 - COURBE VOLUME-TEMPS

Ventricule gauche

① contraction
isovolumétrique

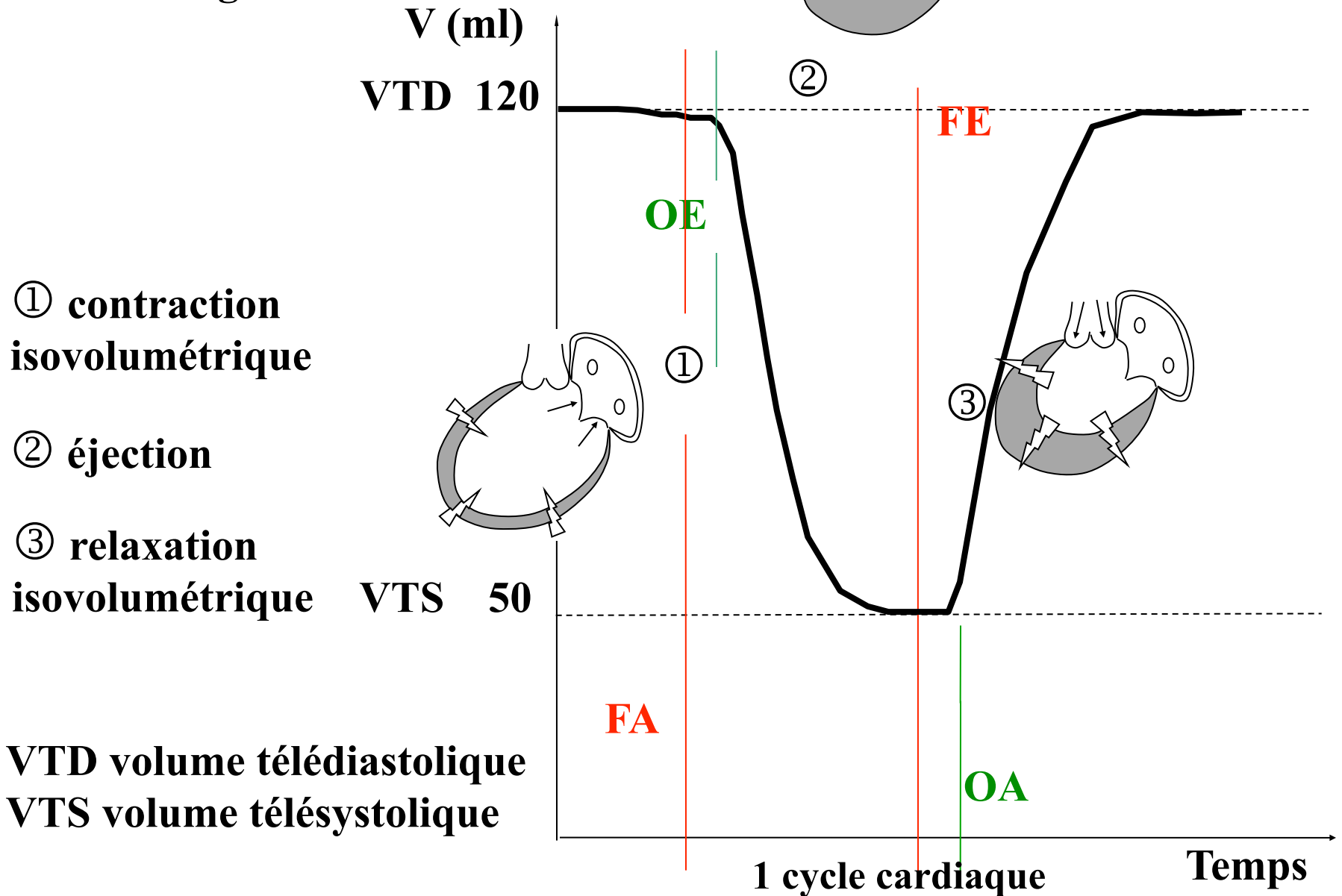
② éjection

VTD volume télédiastolique
VTS volume télésystolique



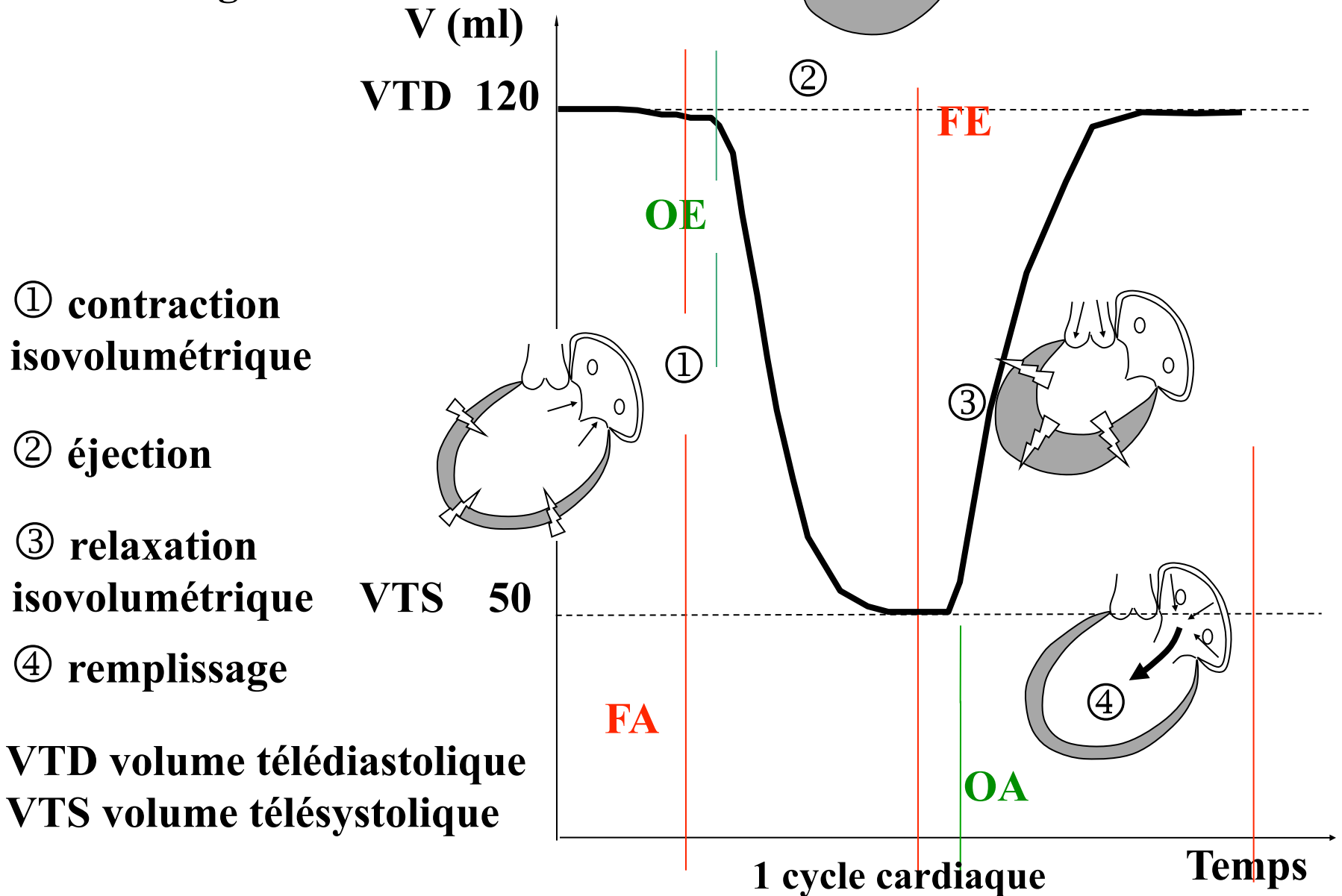
2 - COURBE VOLUME-TEMPS

Ventricule gauche



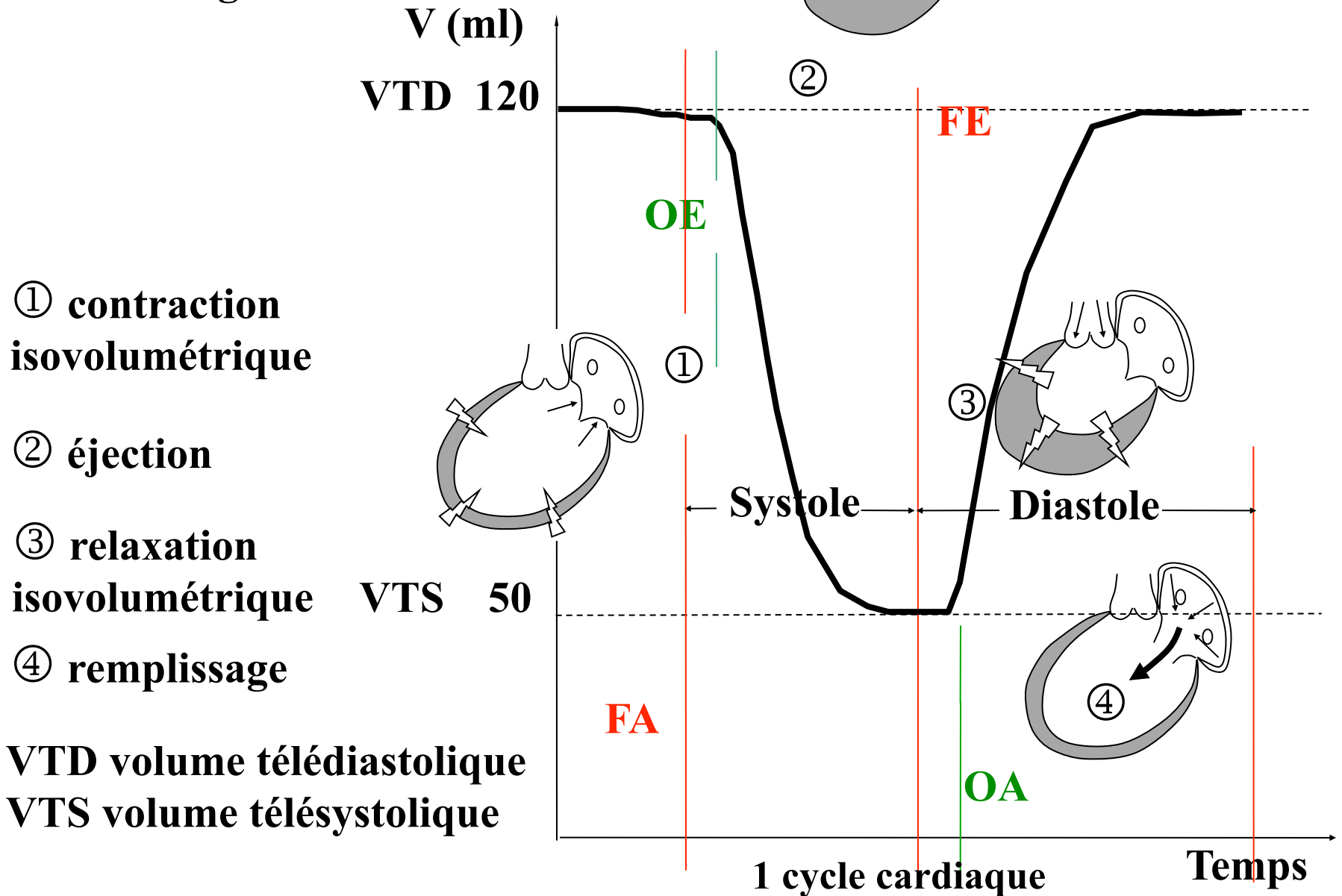
2 - COURBE VOLUME-TEMPS

Ventricule gauche

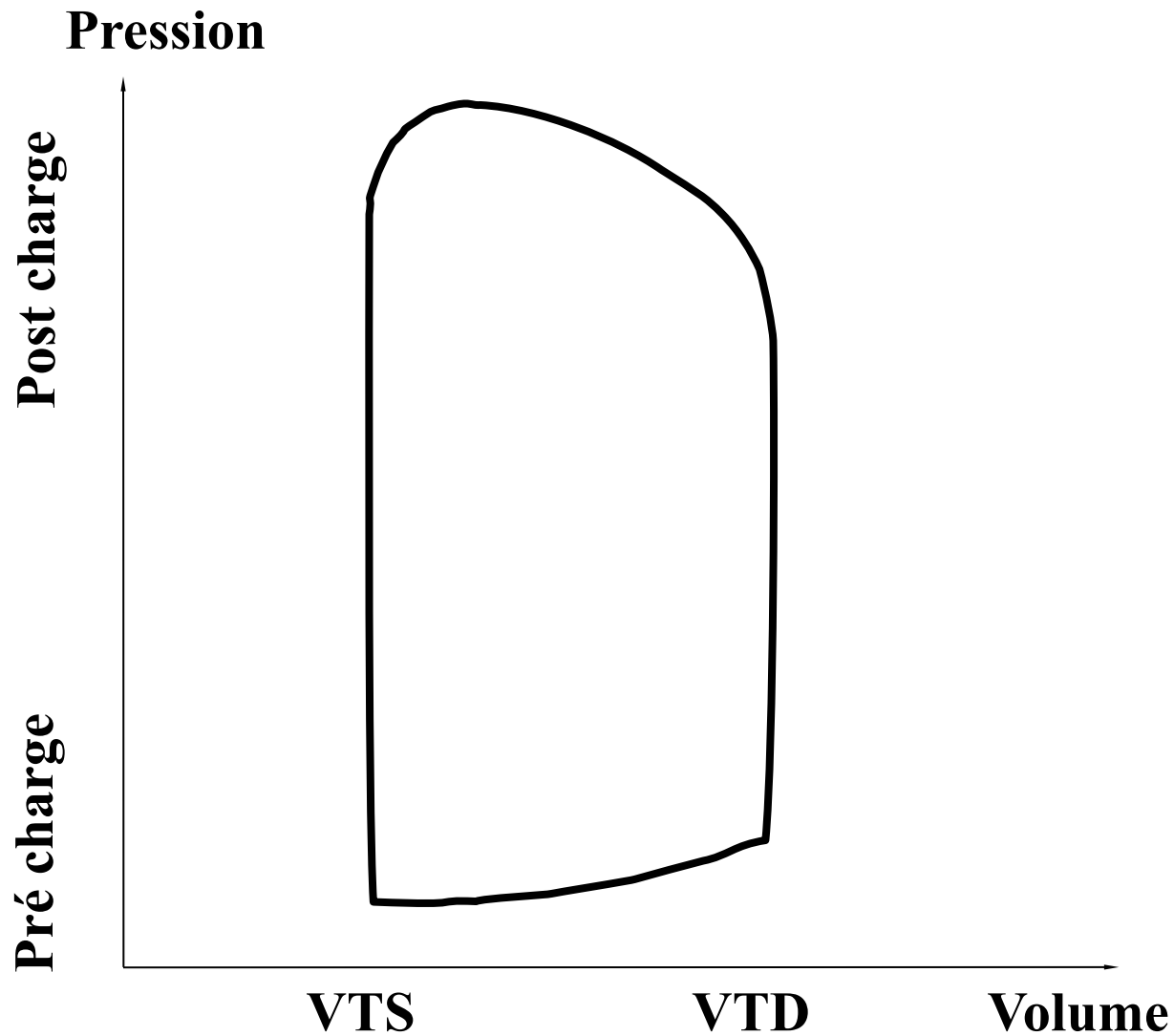


2 - COURBE VOLUME-TEMPS

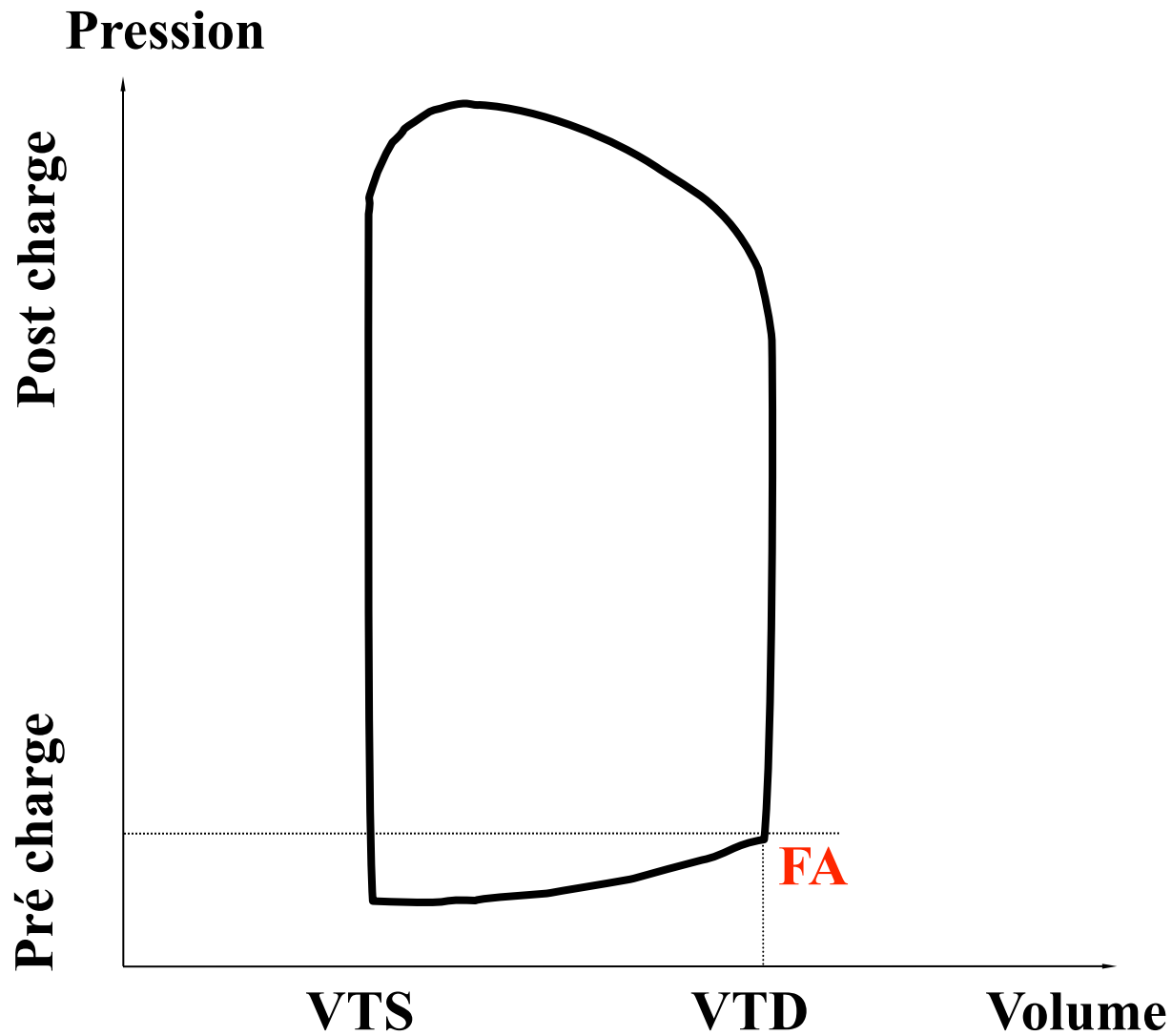
Ventricule gauche



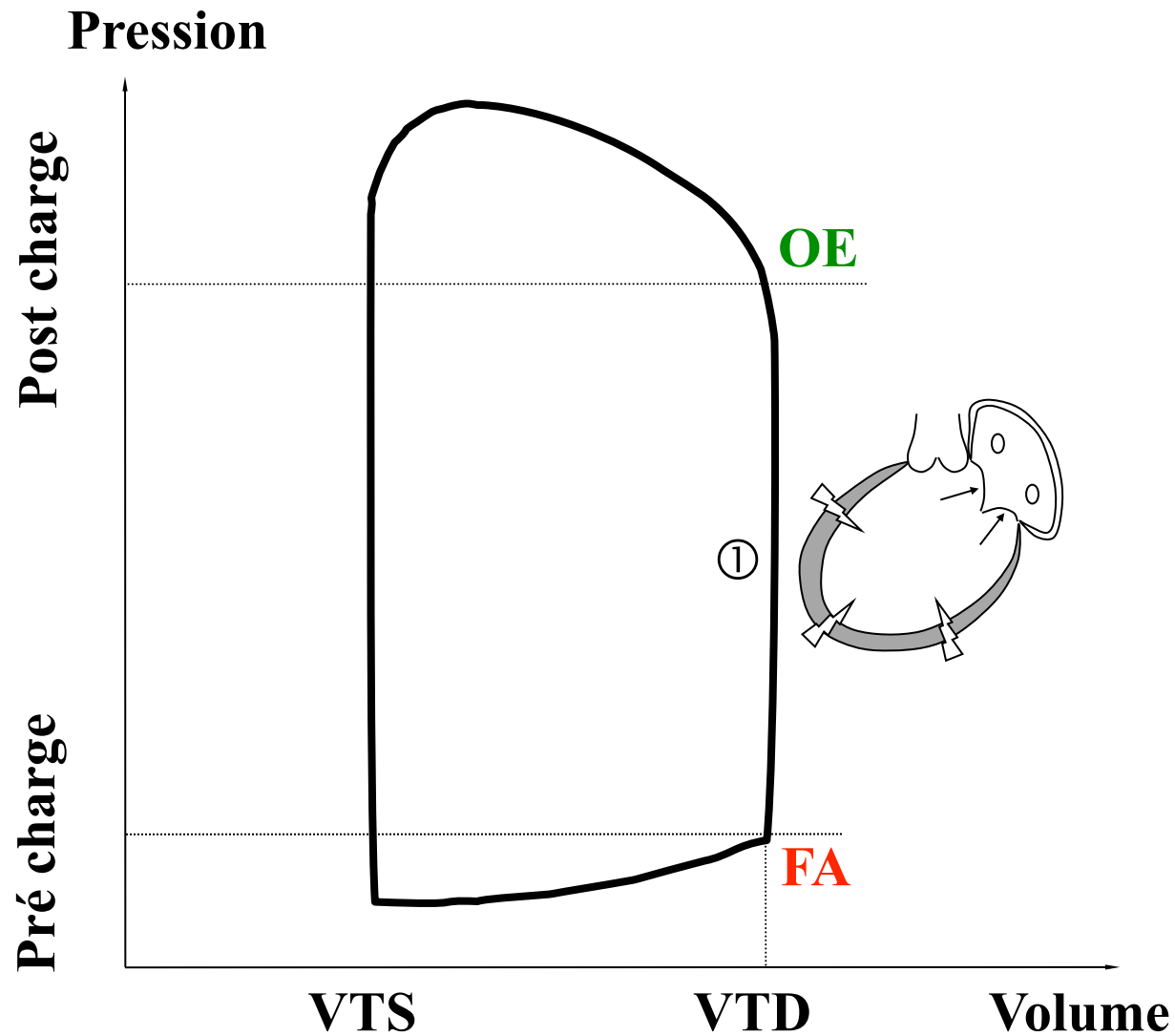
3 - COURBE PRESSION-VOLUME



3 - COURBE PRESSION-VOLUME

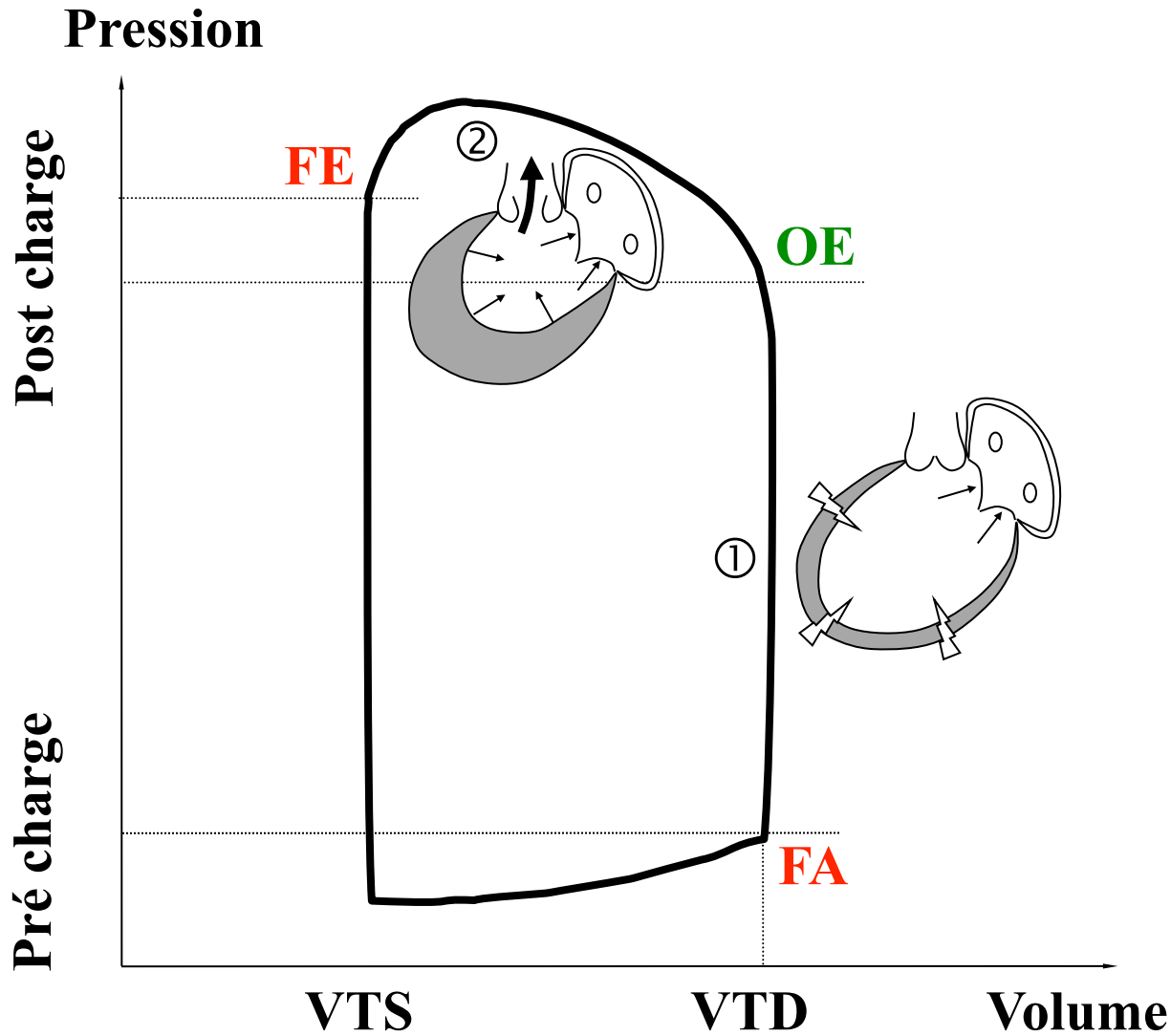


3 - COURBE PRESSION-VOLUME



① contraction
isovolumétrique

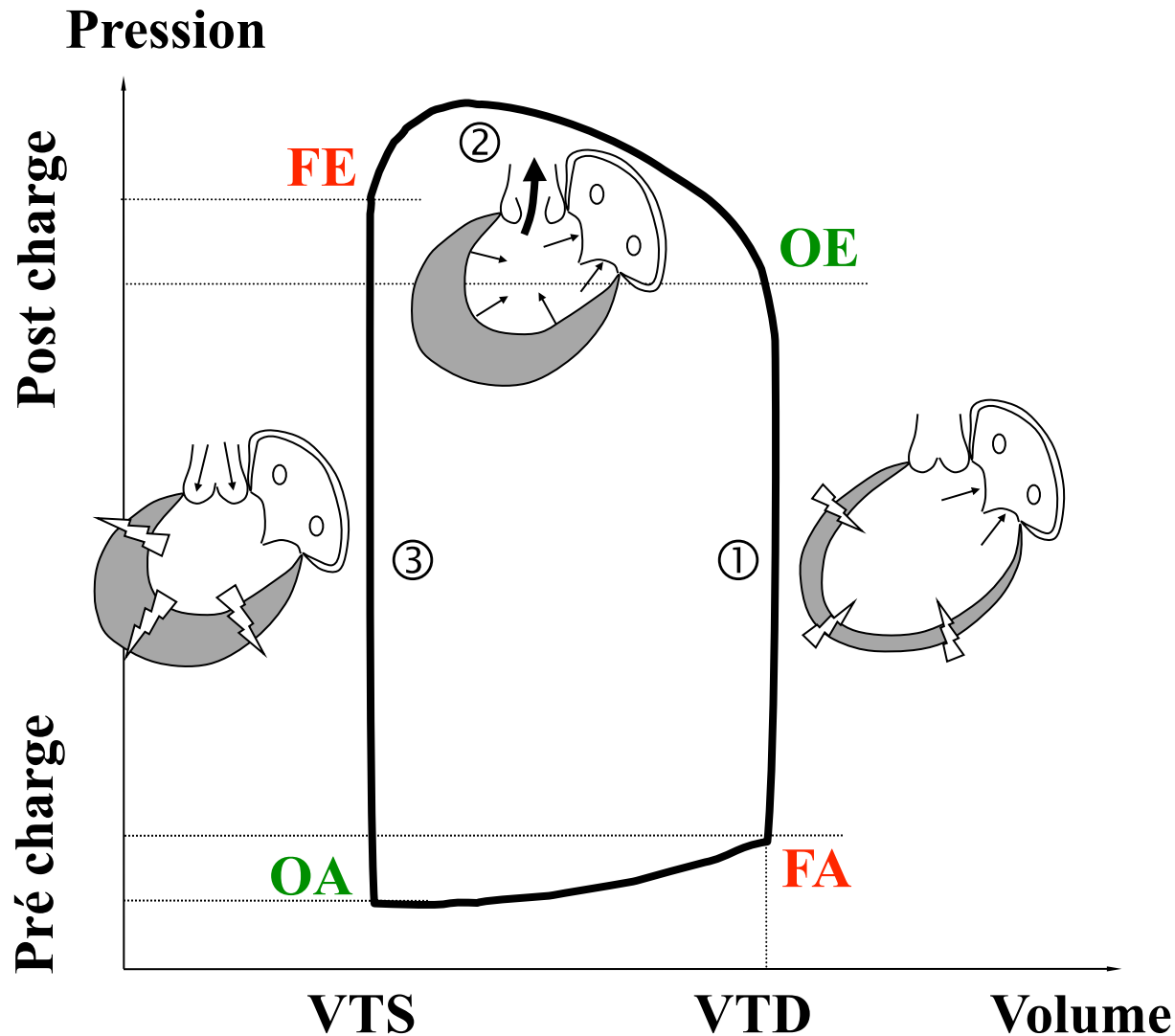
3 - COURBE PRESSION-VOLUME



① contraction isovolumétrique

② **éjection**

3 - COURBE PRESSION-VOLUME

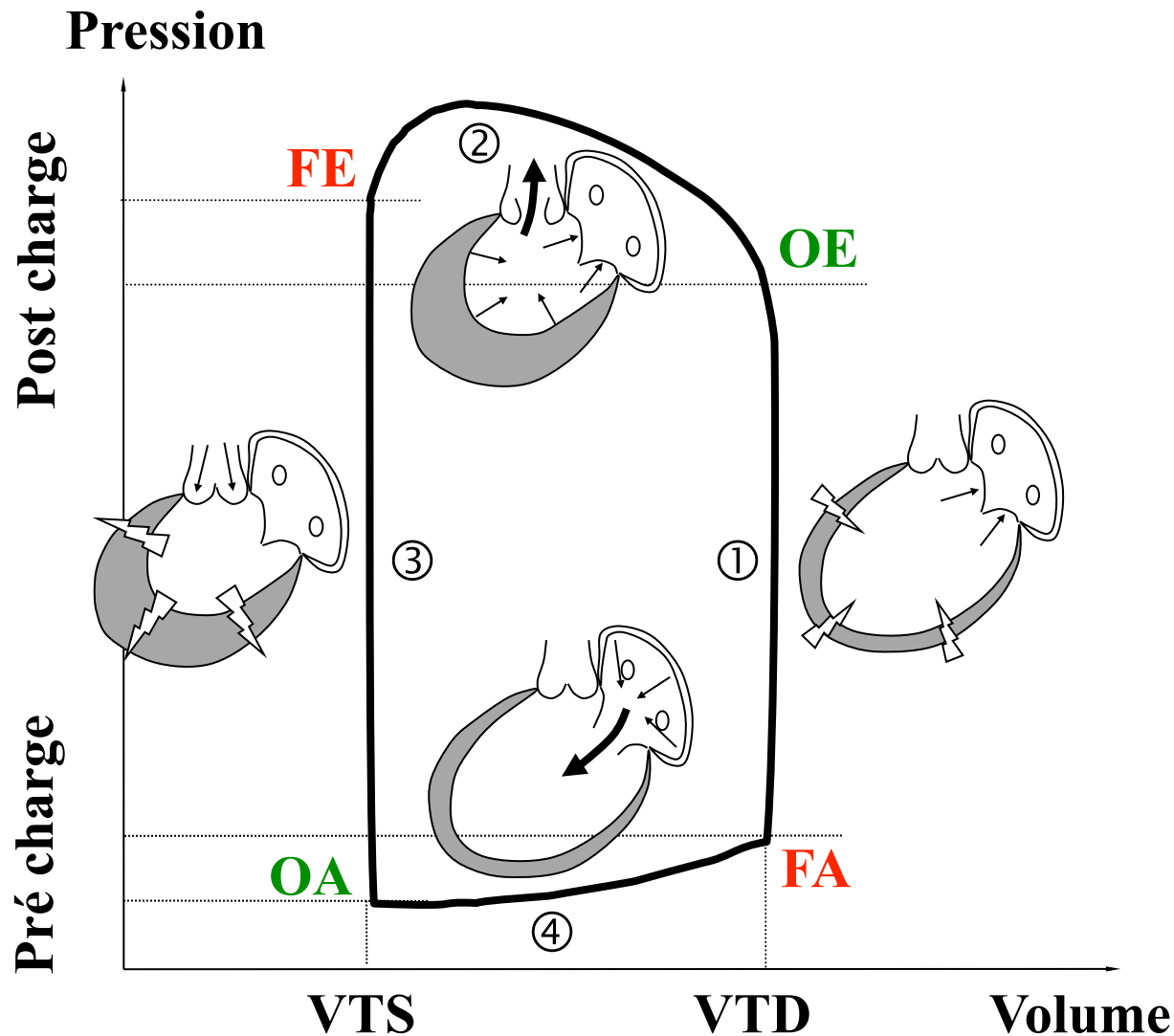


① contraction
isovolumétrique

② éjection

③ relaxation
isovolumétrique

3 - COURBE PRESSION-VOLUME



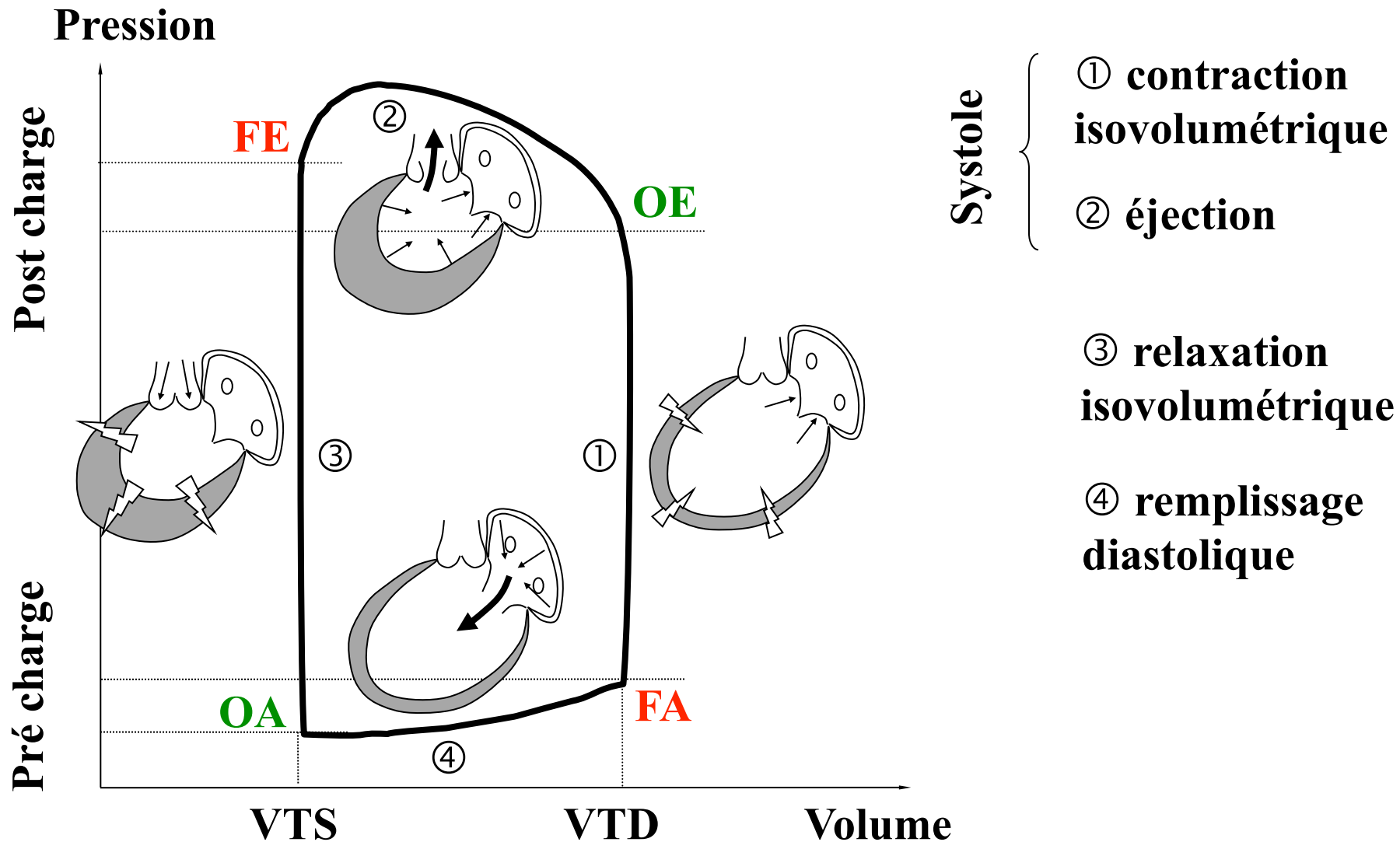
① contraction
isovolumétrique

② éjection

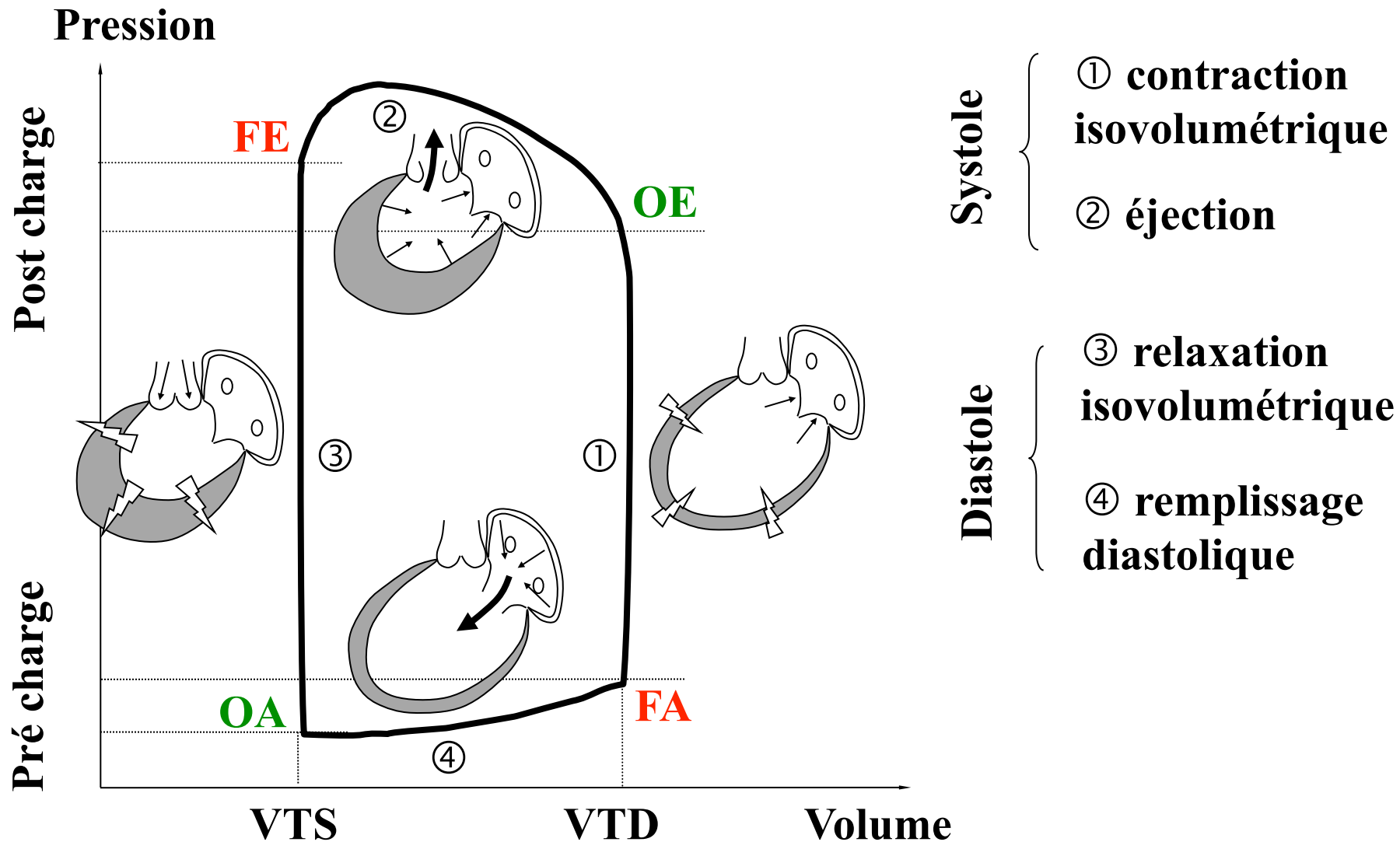
③ relaxation
isovolumétrique

④ remplissage
diastolique

3 - COURBE PRESSION-VOLUME



3 - COURBE PRESSION-VOLUME



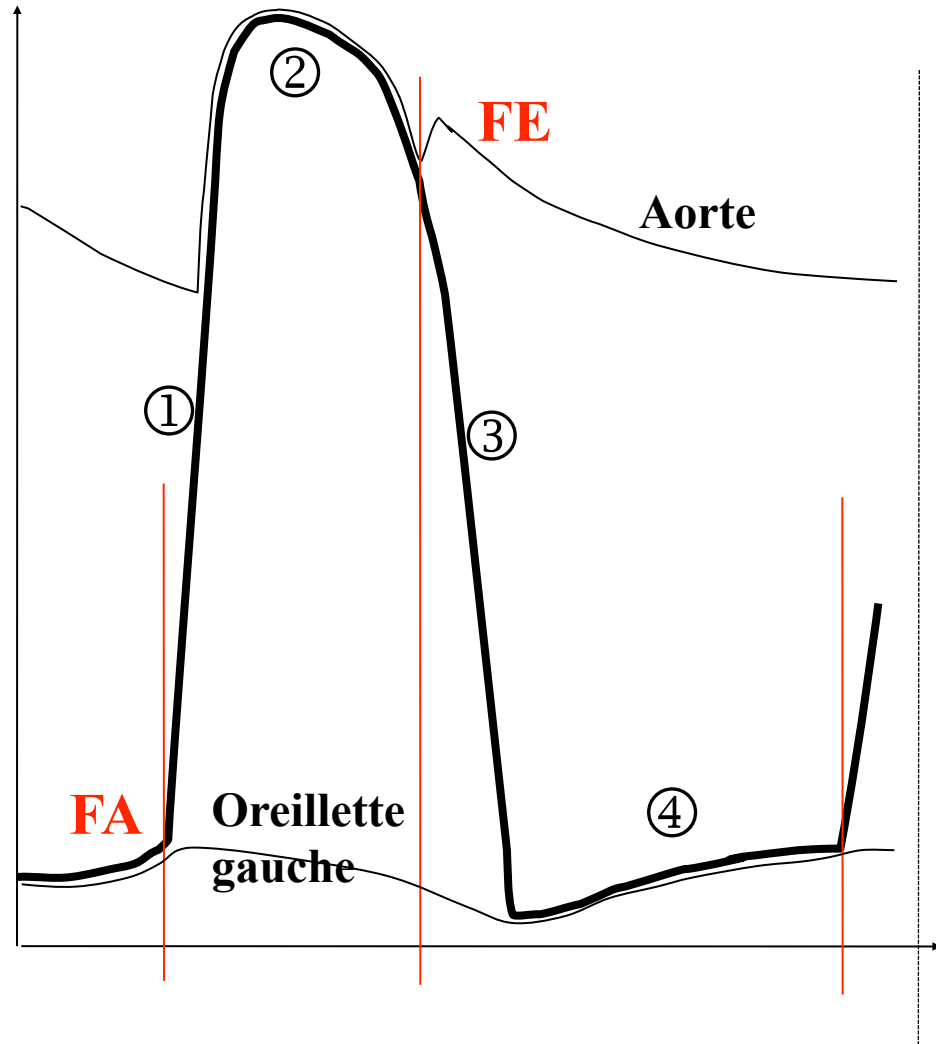
4 - METHODES D'ETUDE DE L'HEMODYNAMIQUE CARDIAQUE

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"



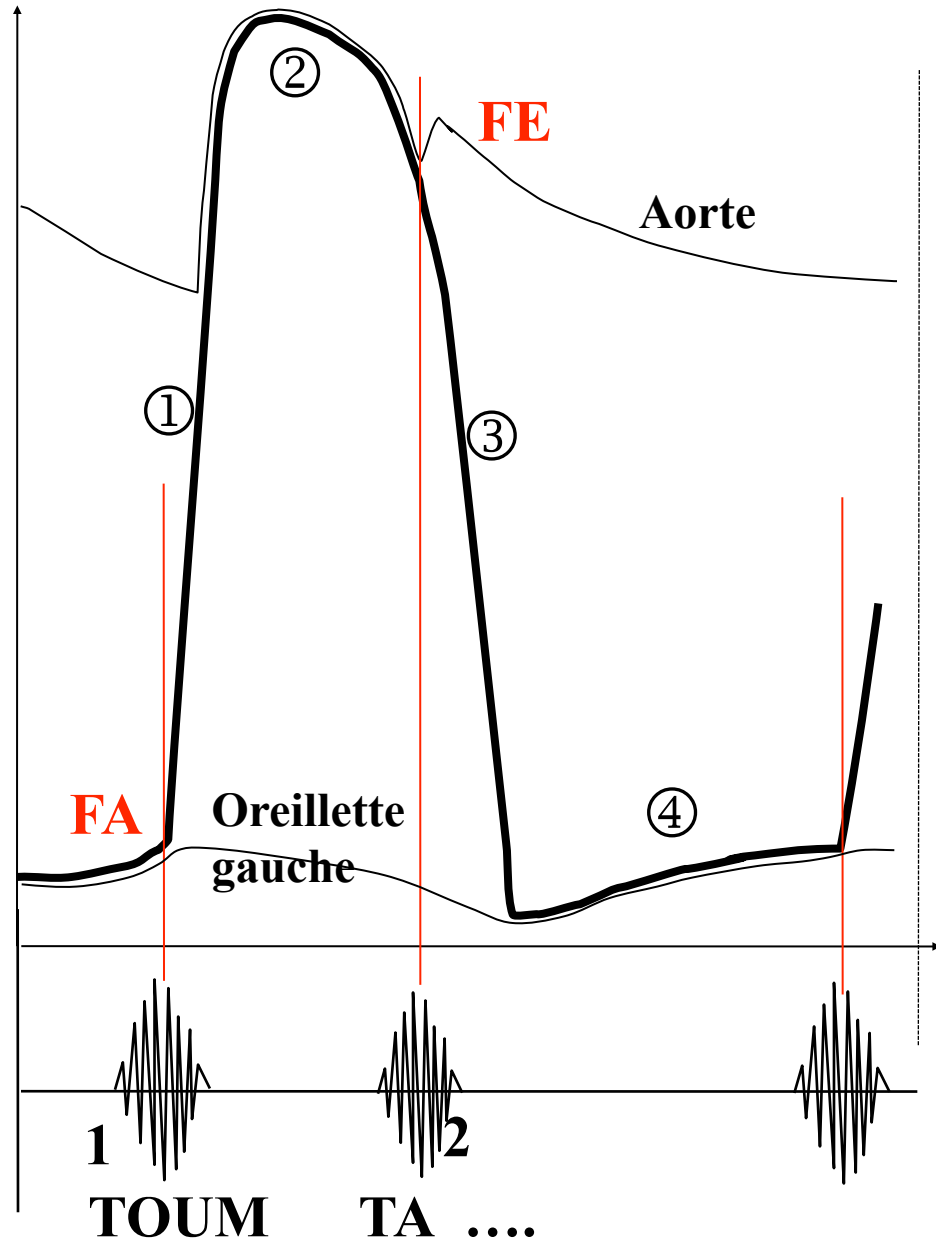
4 - METHODES D'ETUDE DE L'HEMODYNAMIQUE CARDIAQUE

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"



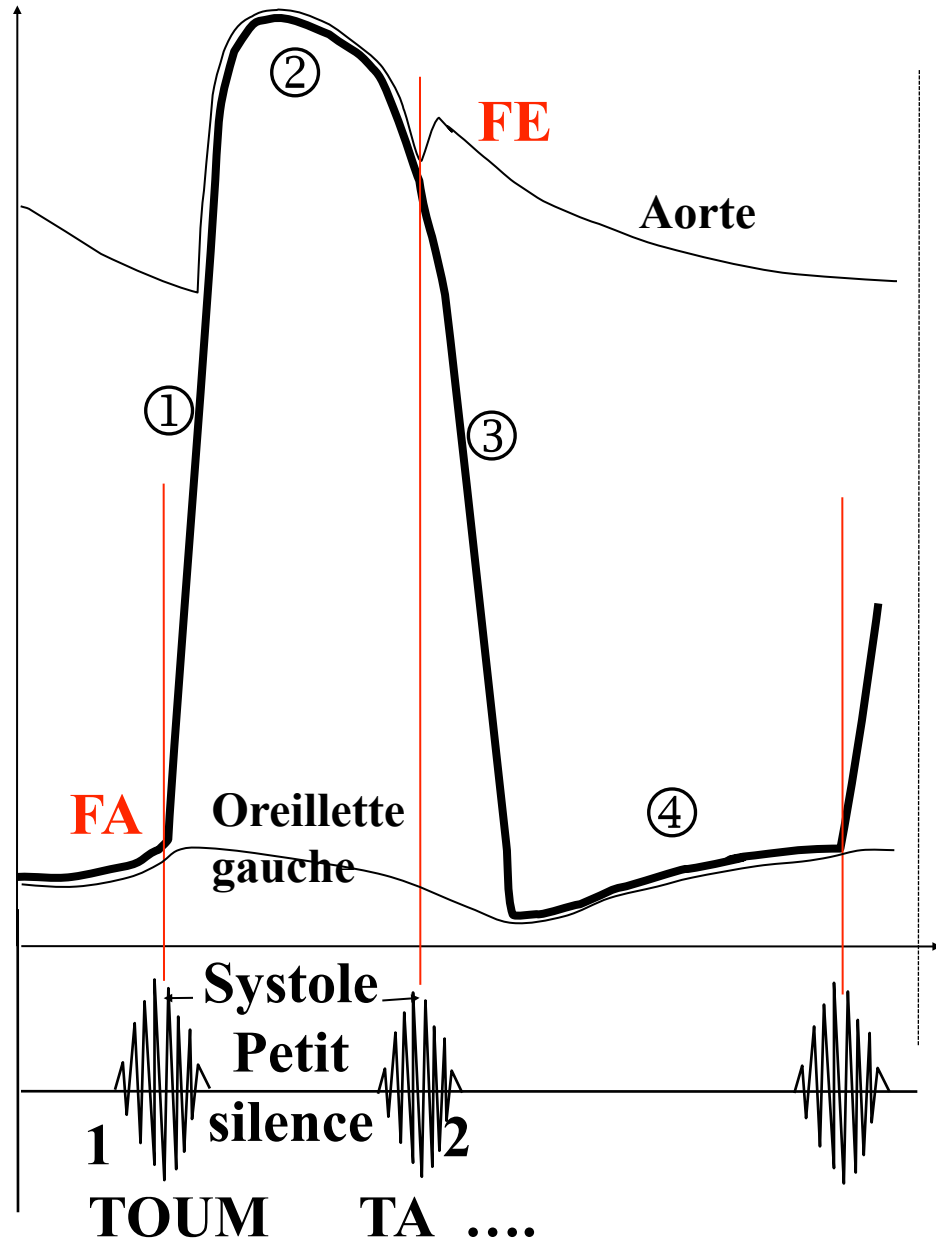
4 - METHODES D'ETUDE DE L'HEMODYNAMIQUE CARDIAQUE

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"



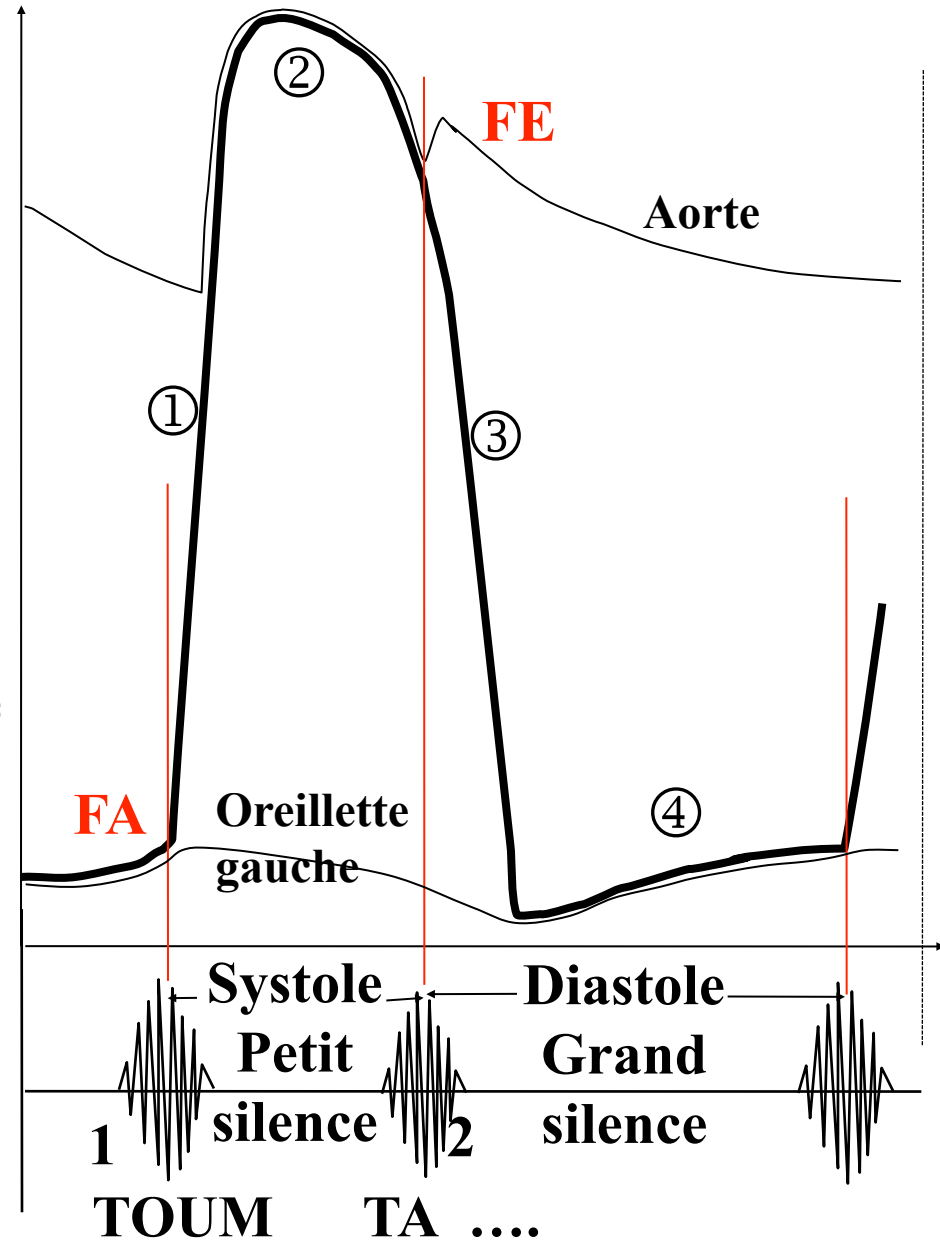
4 - METHODES D'ETUDE DE L'HEMODYNAMIQUE CARDIAQUE

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"



4 - METHODES D'ETUDE DE L'HEMODYNAMIQUE CARDIAQUE

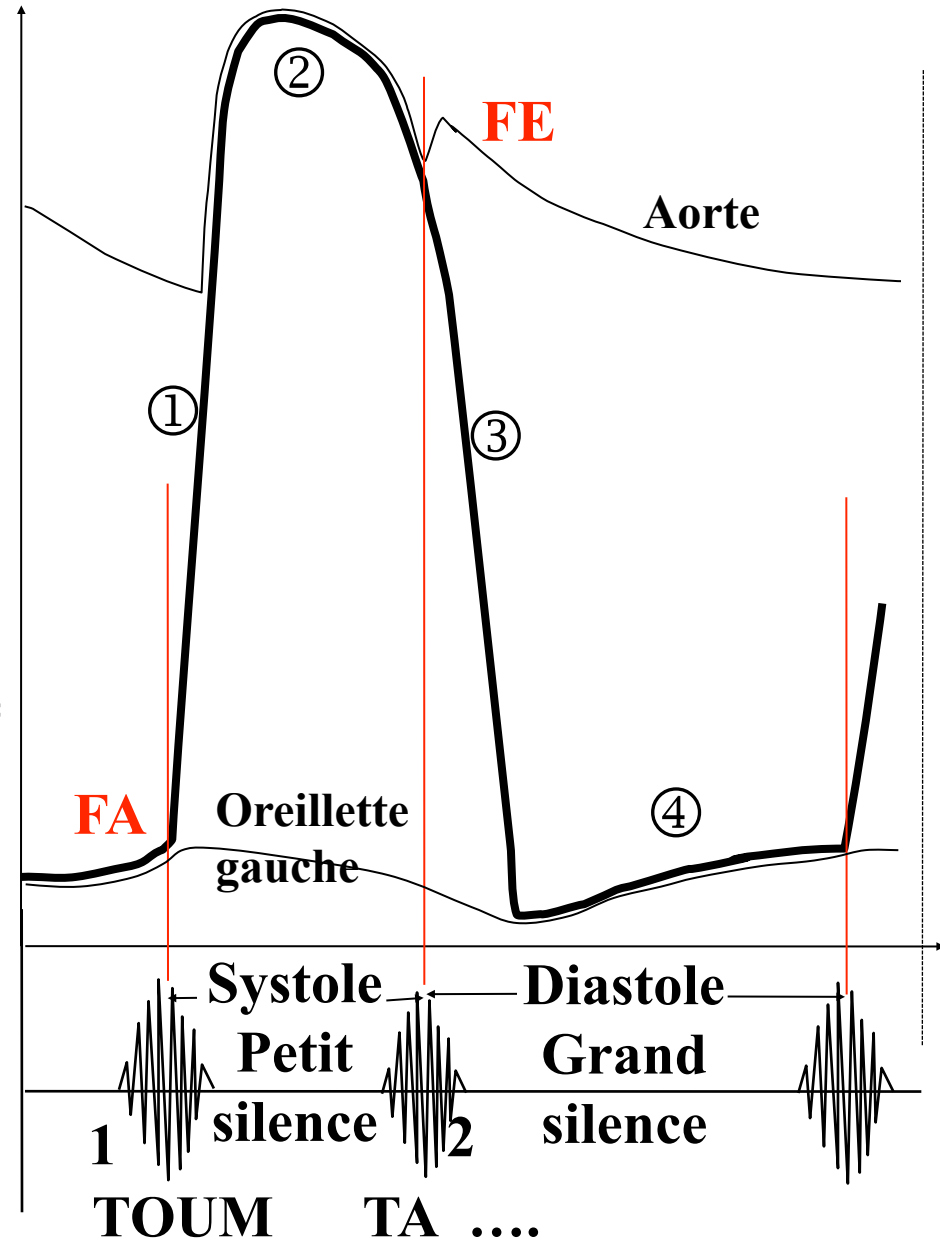
4.1- Auscultation

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 ») ...

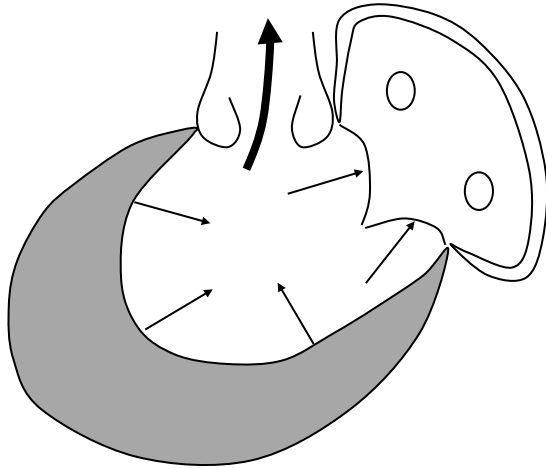


4.1.2- Pathologie : les souffles cardiaques = écoulements turbulents anormaux.

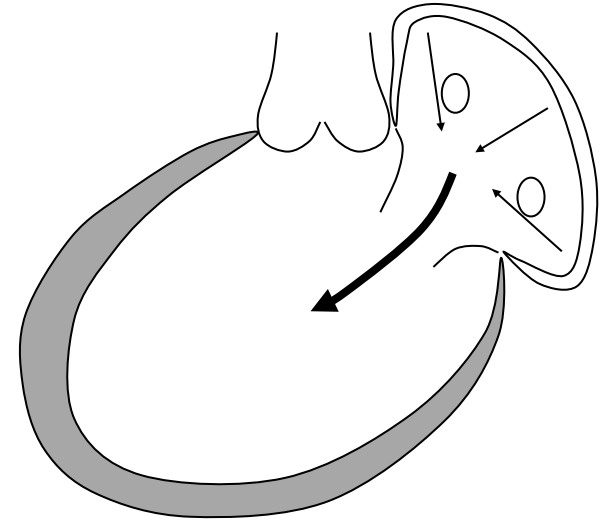
4.1.2- Pathologie : les souffles cardiaques = écoulements turbulents anormaux.

Systole: entre 1er et 2ème bruit

Diastole: entre 2ème et 1er bruit



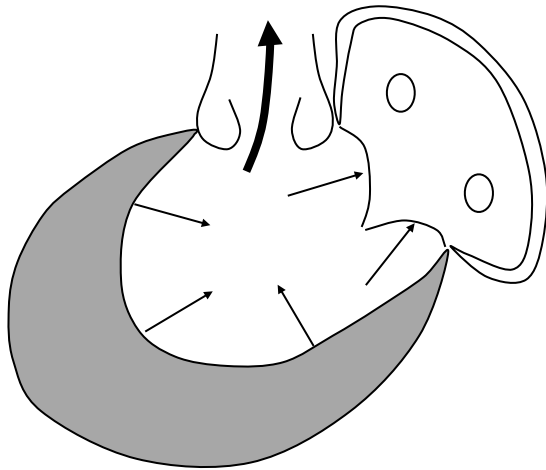
*Normal
Laminaire*
↓
Silence



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

Systole: entre 1er et 2ème bruit

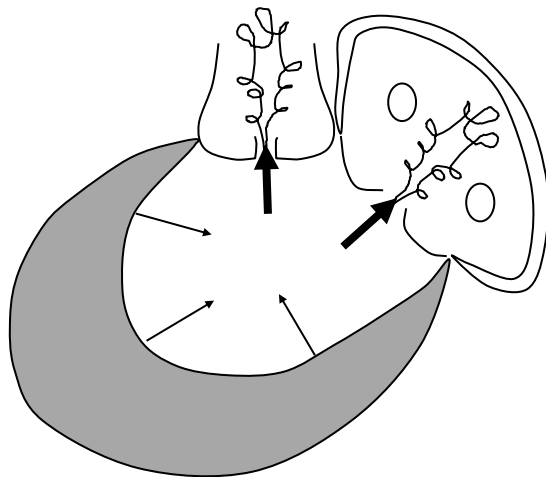
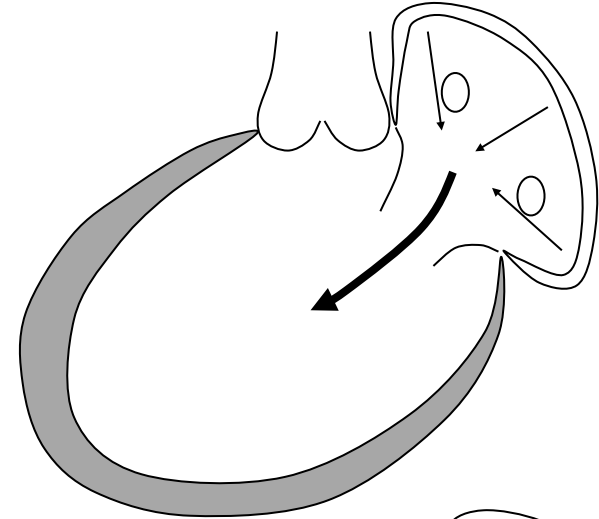
Diastole: entre 2ème et 1er bruit



*Normal
Laminaire*



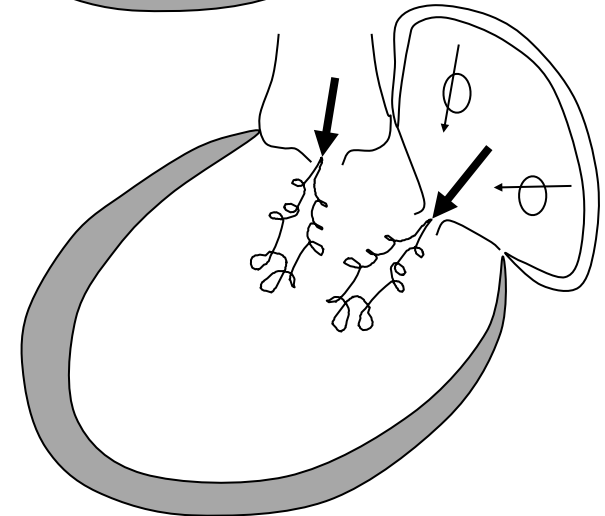
Silence



*Pathologique
Turbulent*



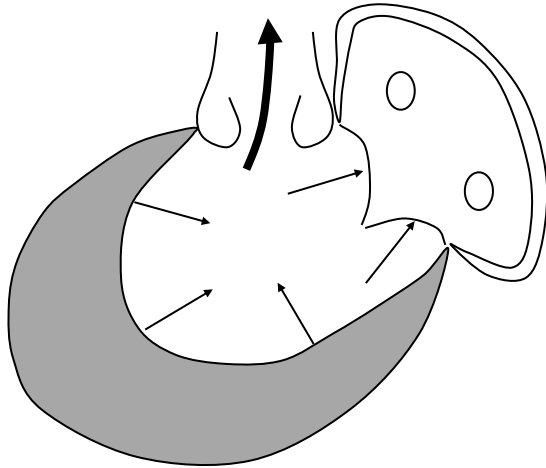
Souffle



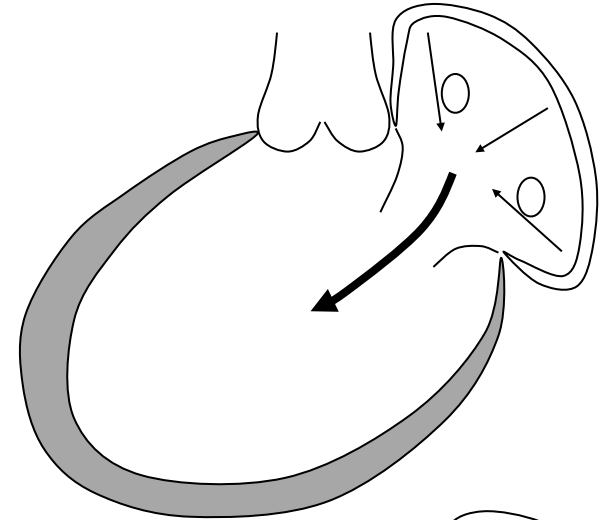
4.1.2- Pathologie : les souffles cardiaques = écoulements turbulents anormaux.

Systole: entre 1er et 2ème bruit

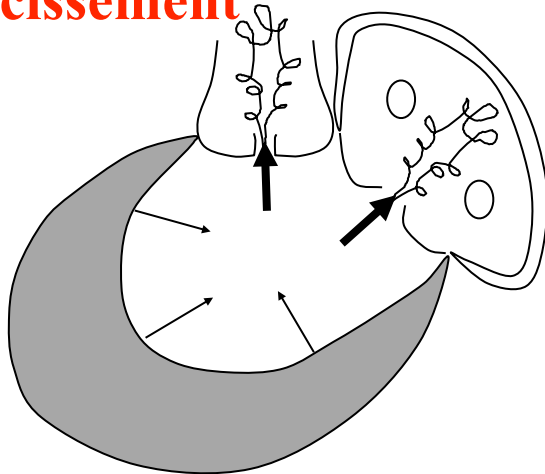
Diastole: entre 2ème et 1er bruit



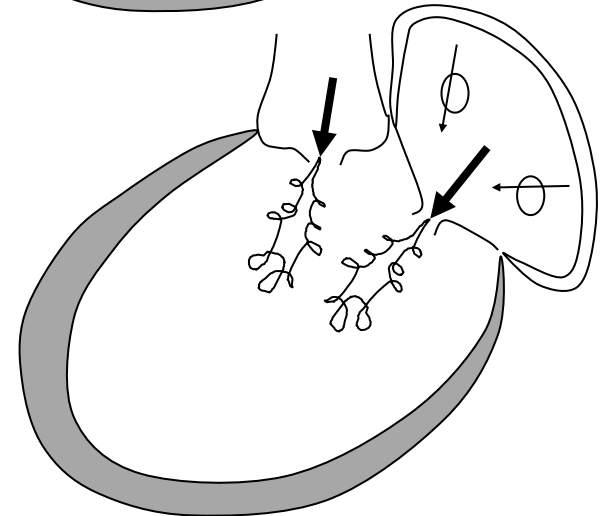
*Normal
Laminaire
↓
Silence*



Rétrécissement



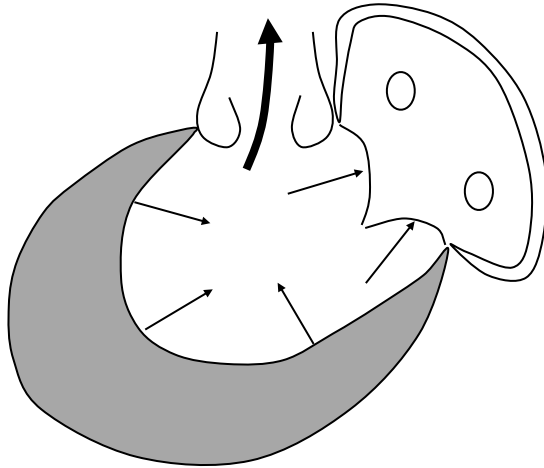
*Pathologique
Turbulent
↓
Souffle*



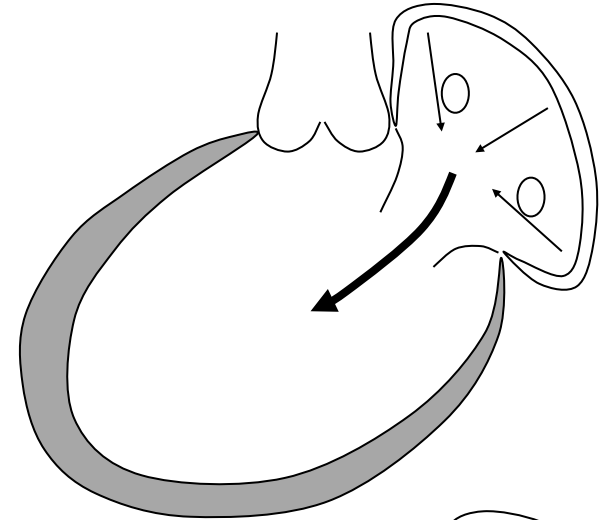
4.1.2- Pathologie : les souffles cardiaques = écoulements turbulents anormaux.

Systole: entre 1er et 2ème bruit

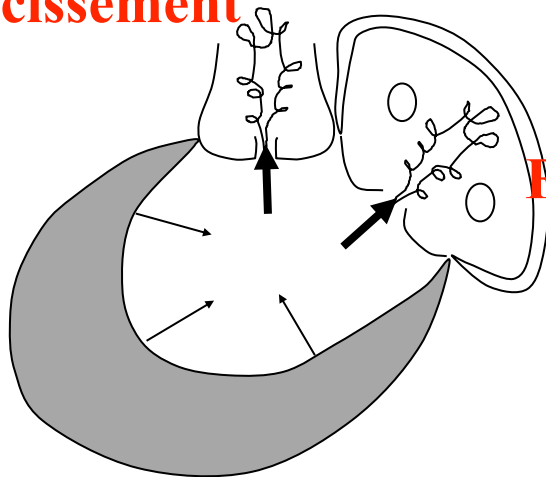
Diastole: entre 2ème et 1er bruit



*Normal
Laminaire
↓
Silence*

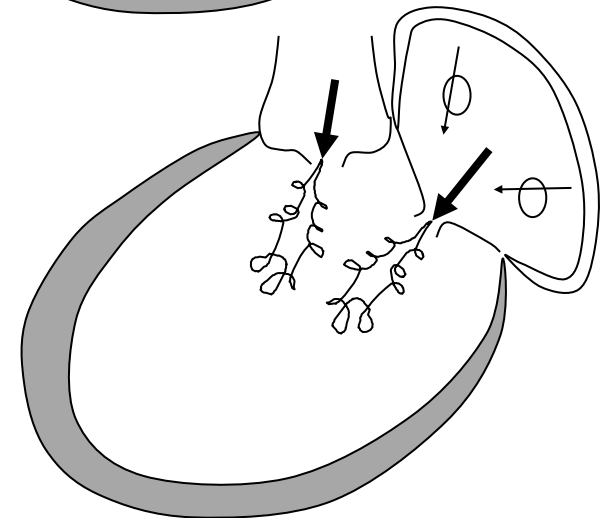


Rétrécissement



Fuite

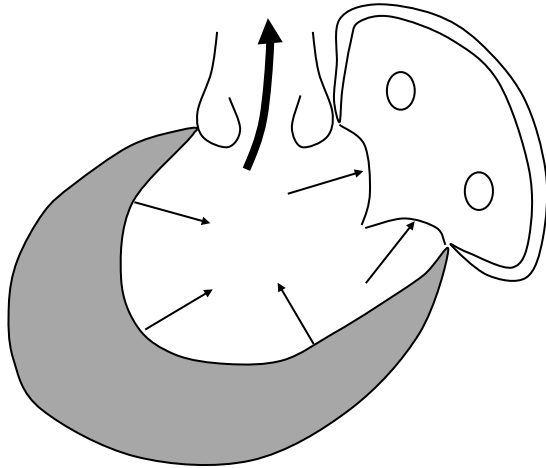
*Pathologique
Turbulent
↓
Souffle*



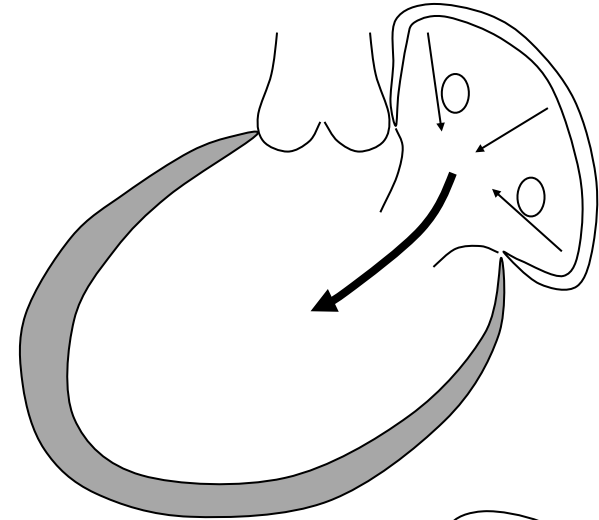
4.1.2- Pathologie : les souffles cardiaques = écoulements turbulents anormaux.

Systole: entre 1er et 2ème bruit

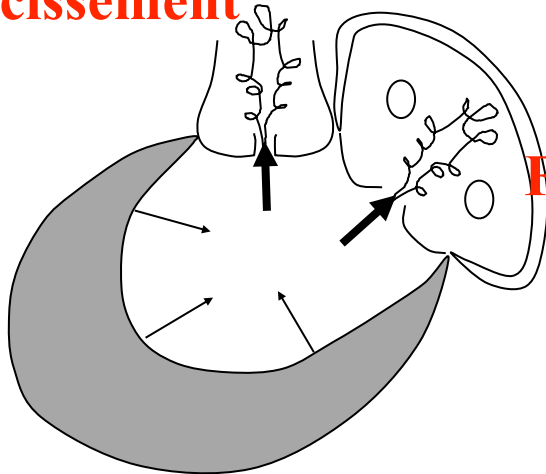
Diastole: entre 2ème et 1er bruit



*Normal
Laminaire
↓
Silence*

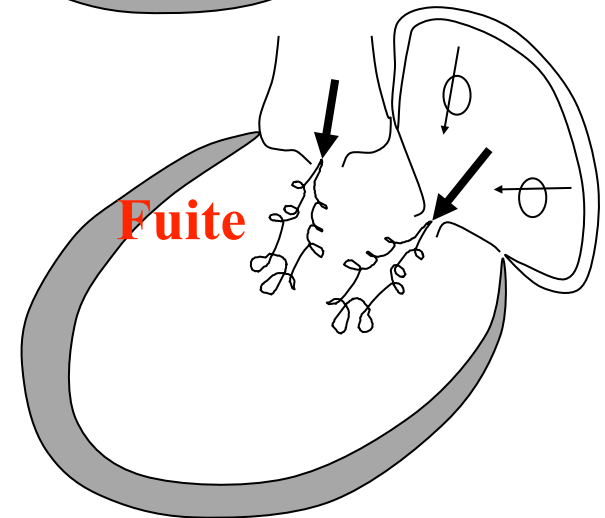


Rétrécissement



Fuite

*Pathologique
Turbulent
↓
Souffle*

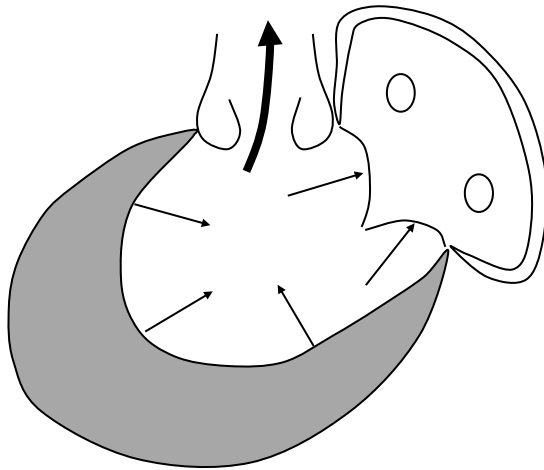


Fuite

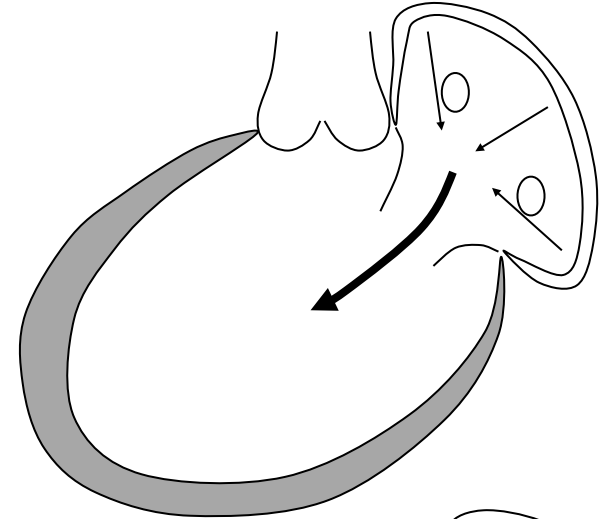
4.1.2- Pathologie : les souffles cardiaques = écoulements turbulents anormaux.

Systole: entre 1er et 2ème bruit

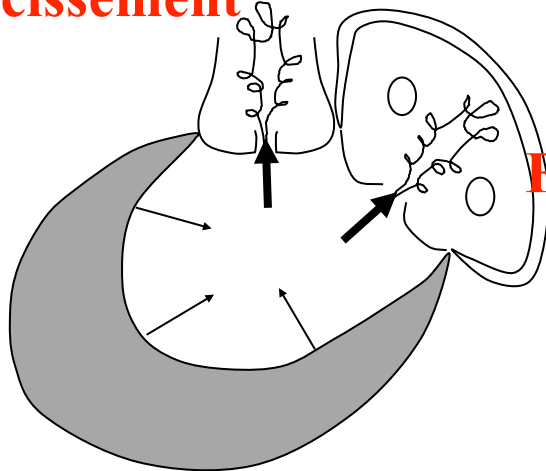
Diastole: entre 2ème et 1er bruit



*Normal
Laminaire
↓
Silence*

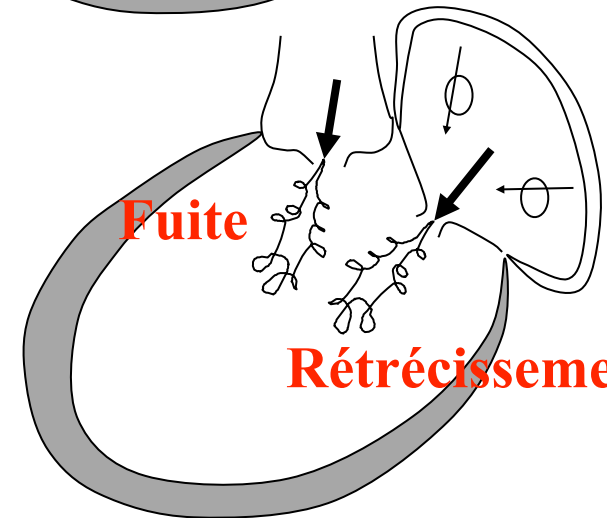


Rétrécissement



Fuite

*Pathologique
Turbulent
↓
Souffle*



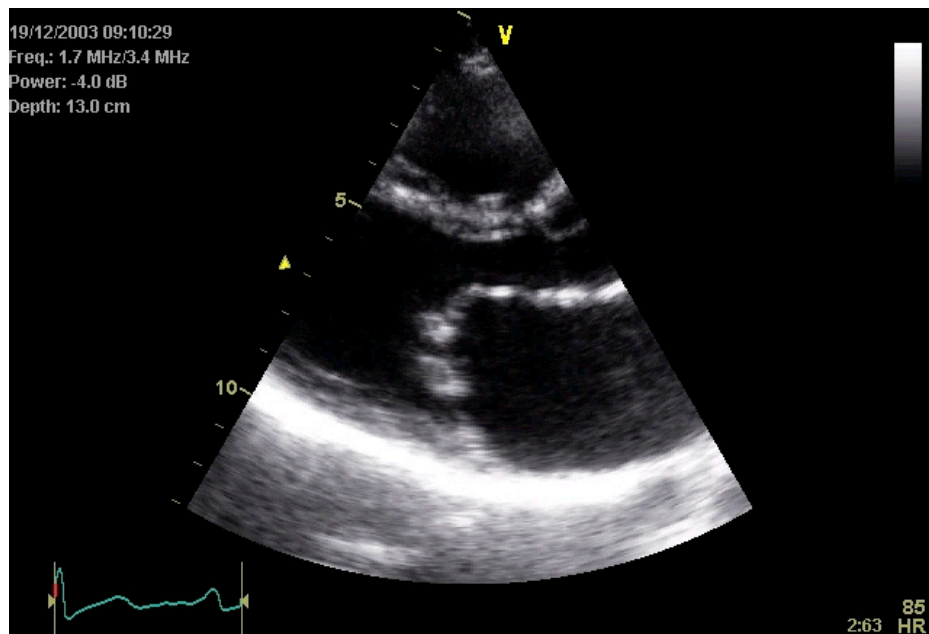
Rétrécissement

Rétrécissement de la valve mitrale

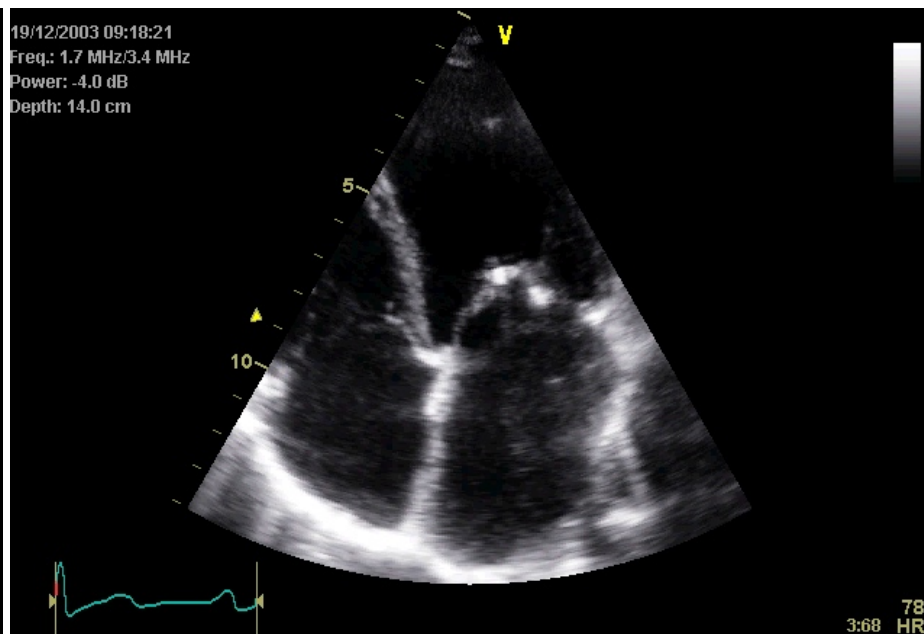
Vue parasternale gauche

Vue apicale

Rétrécissement de la valve mitrale



Vue parasternale gauche

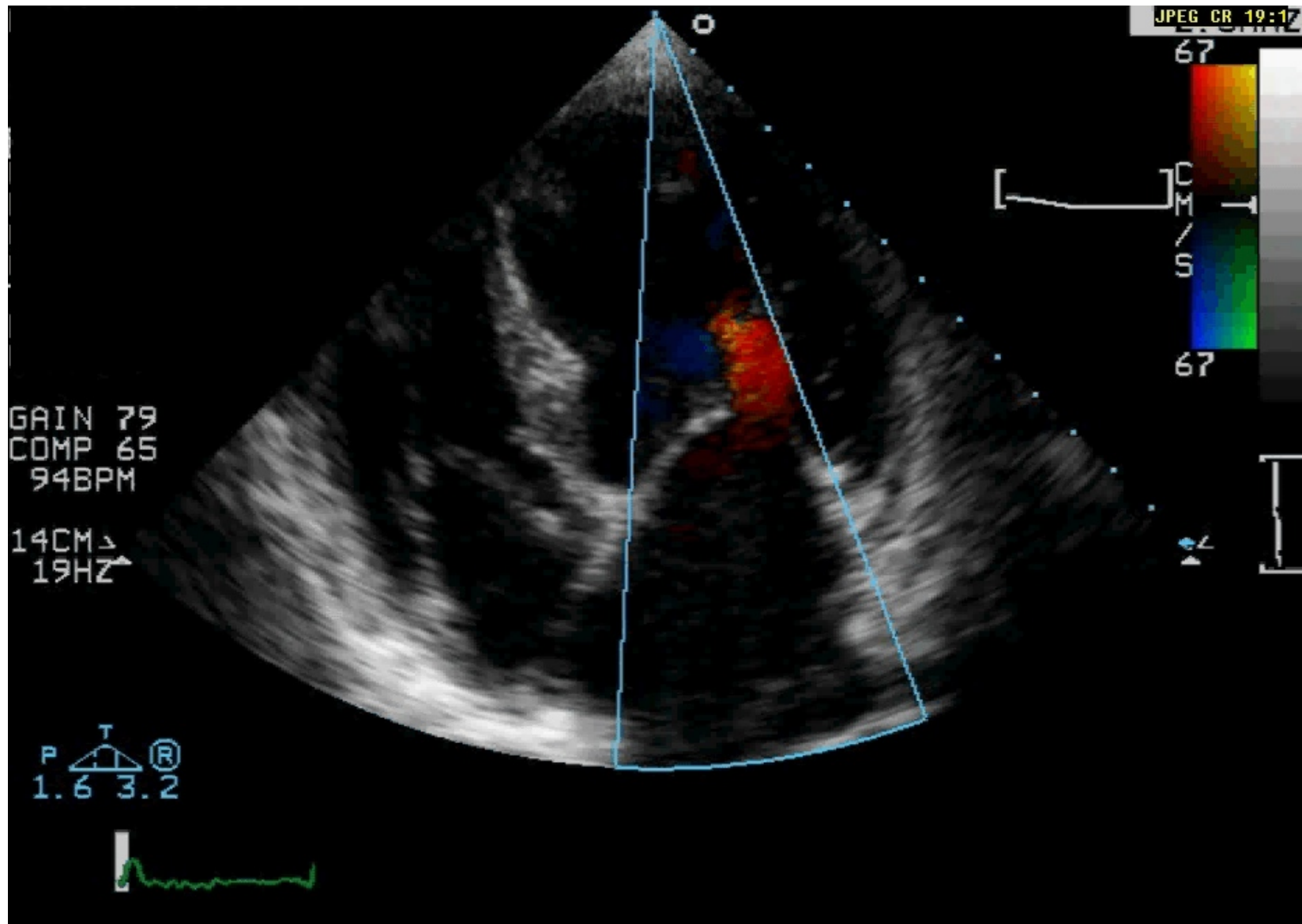


Vue apicale

Fuite (insuffisance) de la valve mitrale

Echo doppler

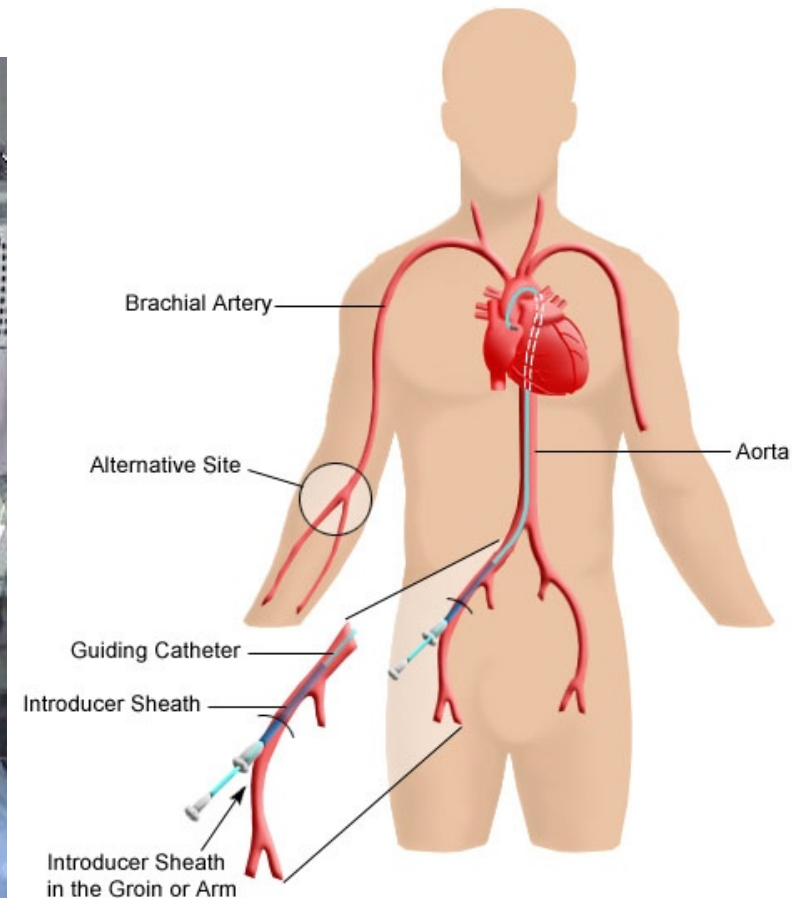
Fuite (insuffisance) de la valve mitrale



Echo doppler

4.2- Mesure des pressions intracardiaques :

Cathétérisme et montée de sondes manométriques : courbes pression-temps



4.2- Mesure des pressions intracardiaques :

**Cathétérisme et montée de sondes manométriques :
courbes pression-temps**



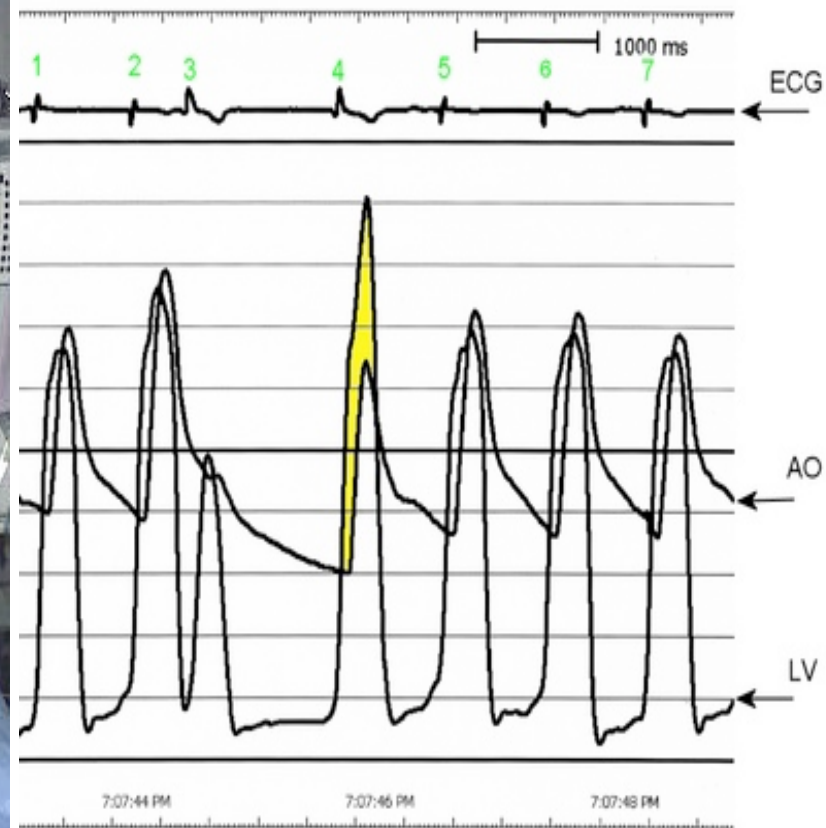
4.2- Mesure des pressions intracardiaques :

Cathétérisme et montée de sondes manométriques : courbes pression-temps



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: exemple ellipsoïde de révolution

$$V = \frac{4}{3} \pi a \times b^2$$

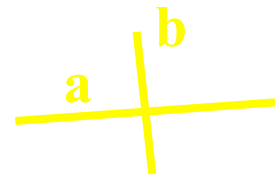


VTD - VTS = VES (vol éjection systolique)

VES x fréquence cardiaque = D (débit)

VES / VTD = FE (fraction d'éjection)

FE normale du VG = (ou >) 60 %



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: exemple ellipsoïde de révolution

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

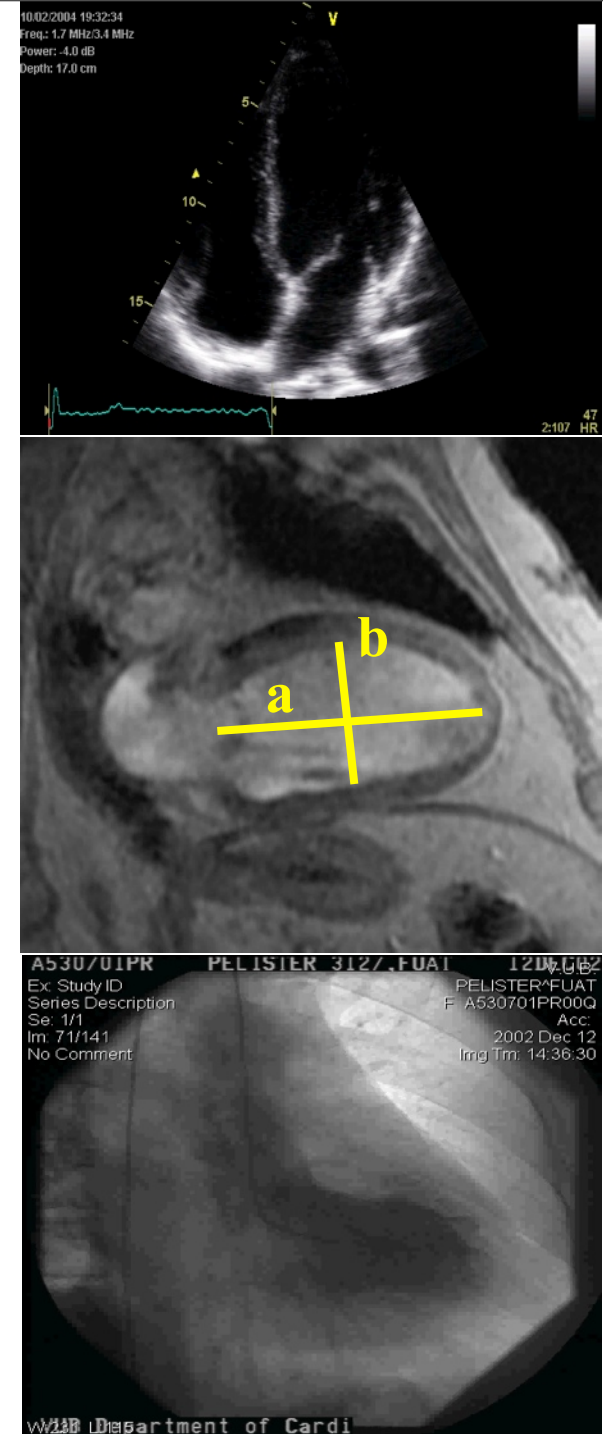


VTD - VTS = VES (vol éjection systolique)

VES x fréquence cardiaque = D (débit)

VES / VTD = FE (fraction d'éjection)

FE normale du VG = (ou >) 60 %



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: exemple ellipsoïde de révolution

$$V = \frac{4}{3} \pi a \times b^2$$

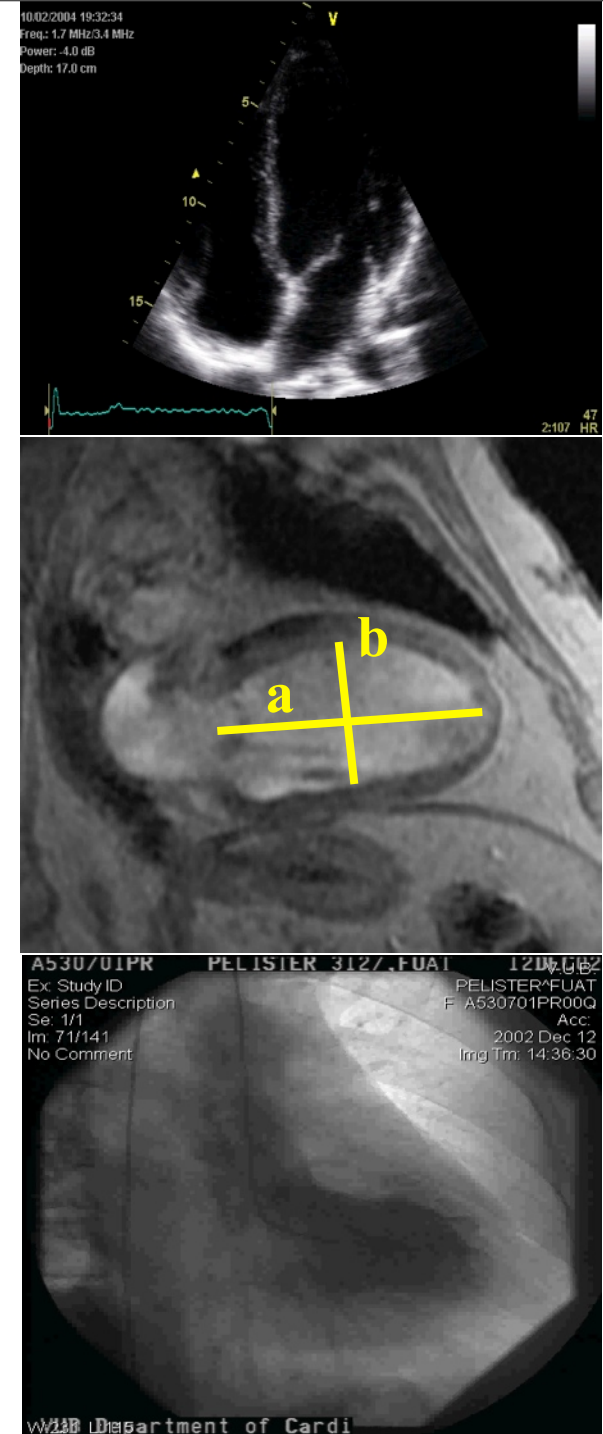


VTD - VTS = VES (vol éjection systolique)

VES x fréquence cardiaque = D (débit)

VES / VTD = FE (fraction d'éjection)

FE normale du VG = (ou >) 60 %



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: exemple ellipsoïde de révolution

$$V = \frac{4}{3} \pi a \times b^2$$

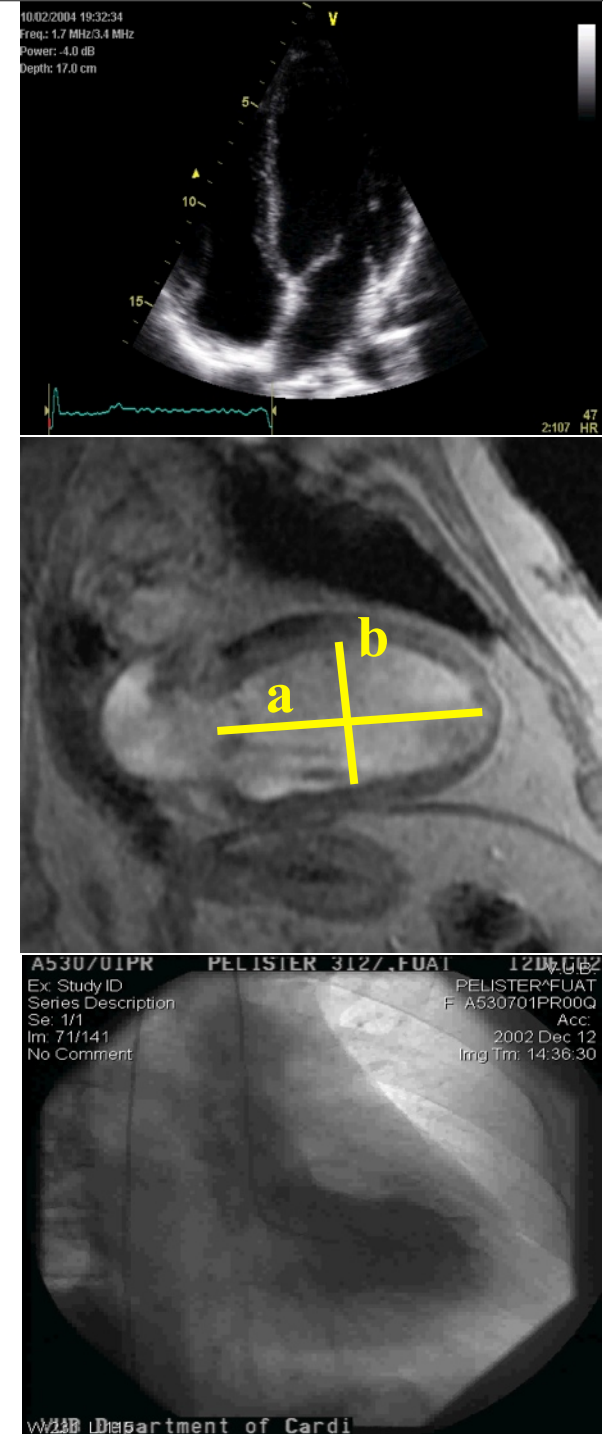


VTD - VTS = VES (vol éjection systolique)

VES x fréquence cardiaque = D (débit)

VES / VTD = FE (fraction d'éjection)

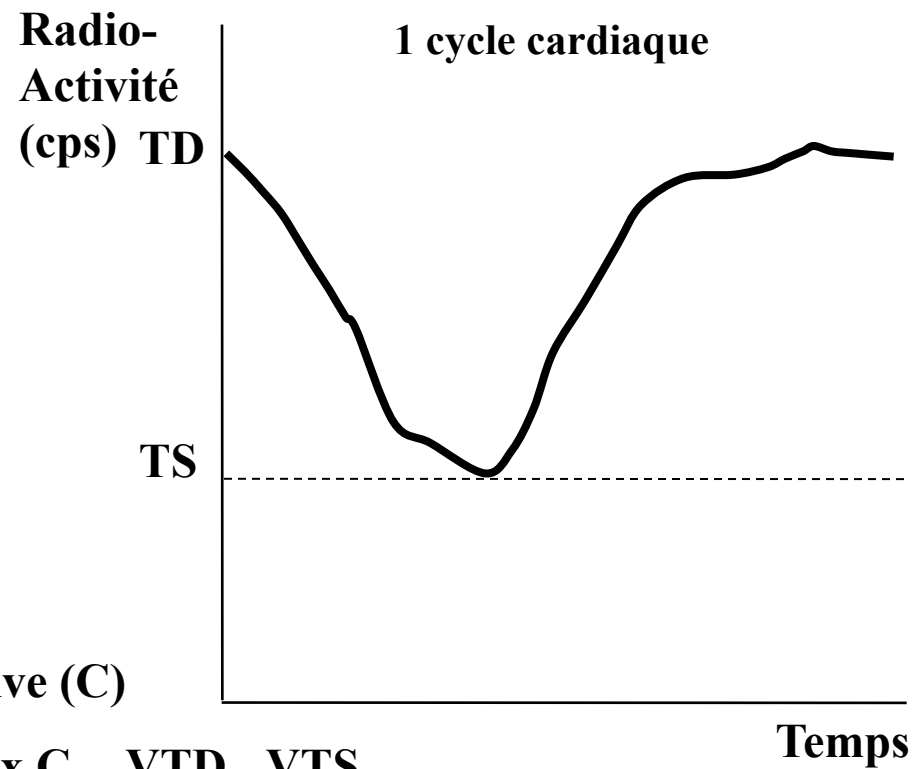
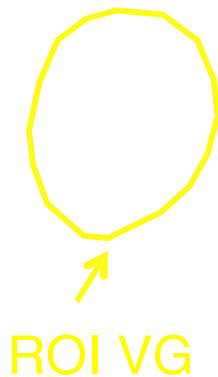
FE normale du VG = (ou >) 60 %



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).



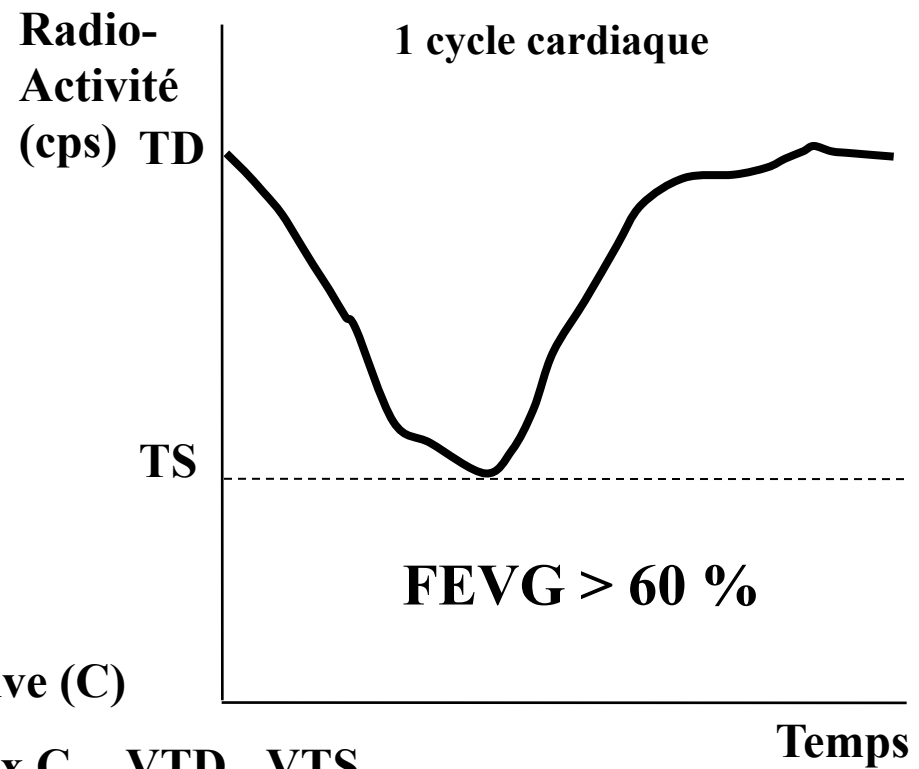
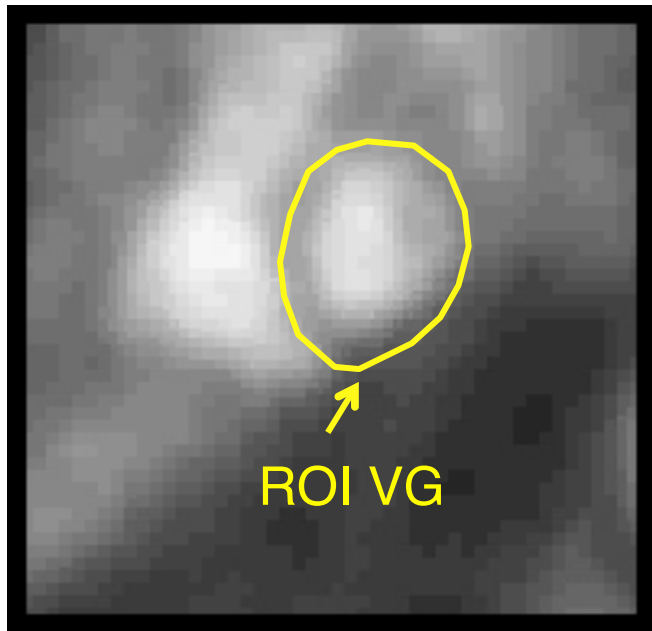
RA = Vol x Concentration Radioactive (C)

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

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).



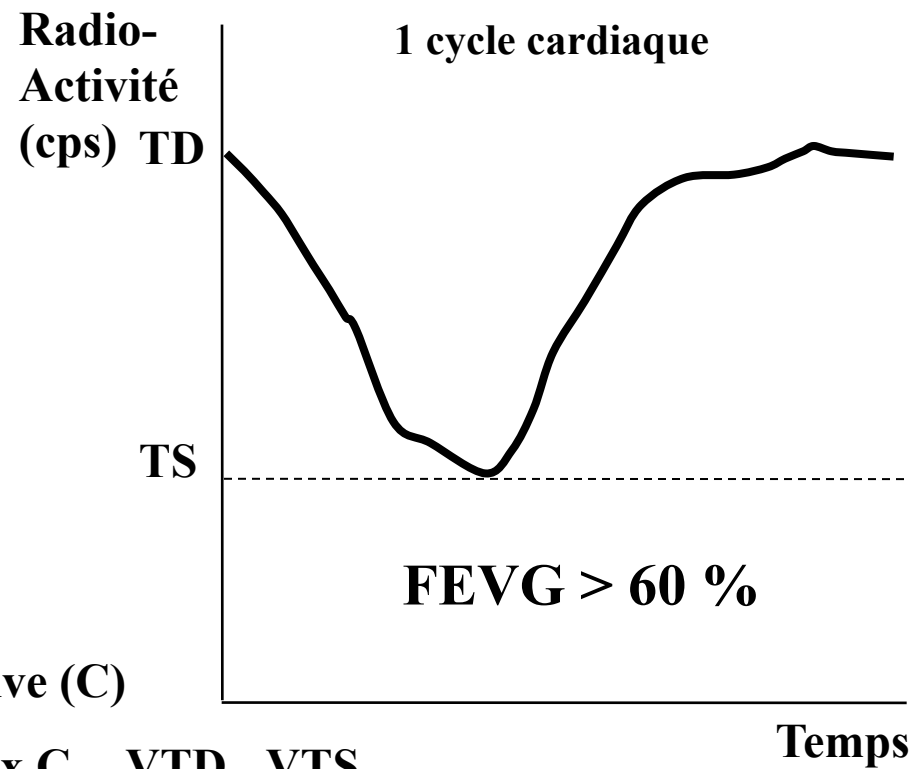
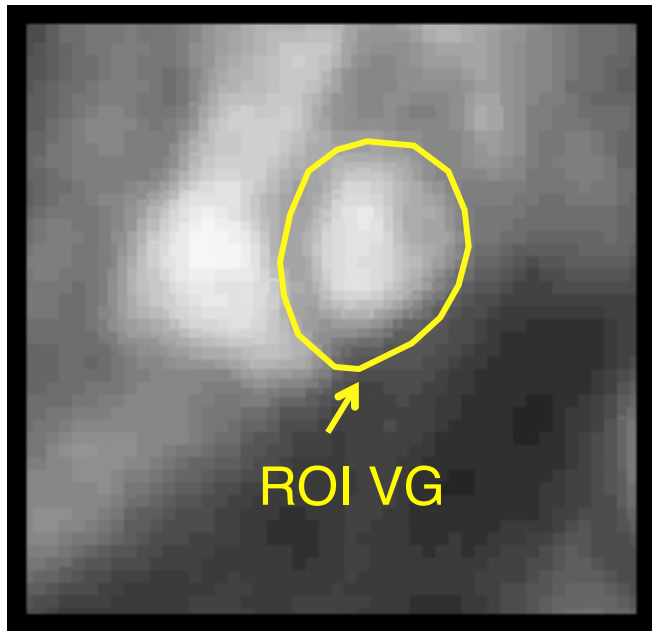
RA = Vol x Concentration Radioactive (C)

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

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 x Concentration Radioactive (C)

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

BIOPHYSIQUE DE LA CIRCULATION

Biophysique cardiaque

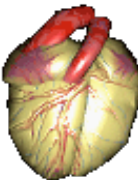
I - HEMODYNAMIQUE INTRA-CARDIAQUE

- 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**

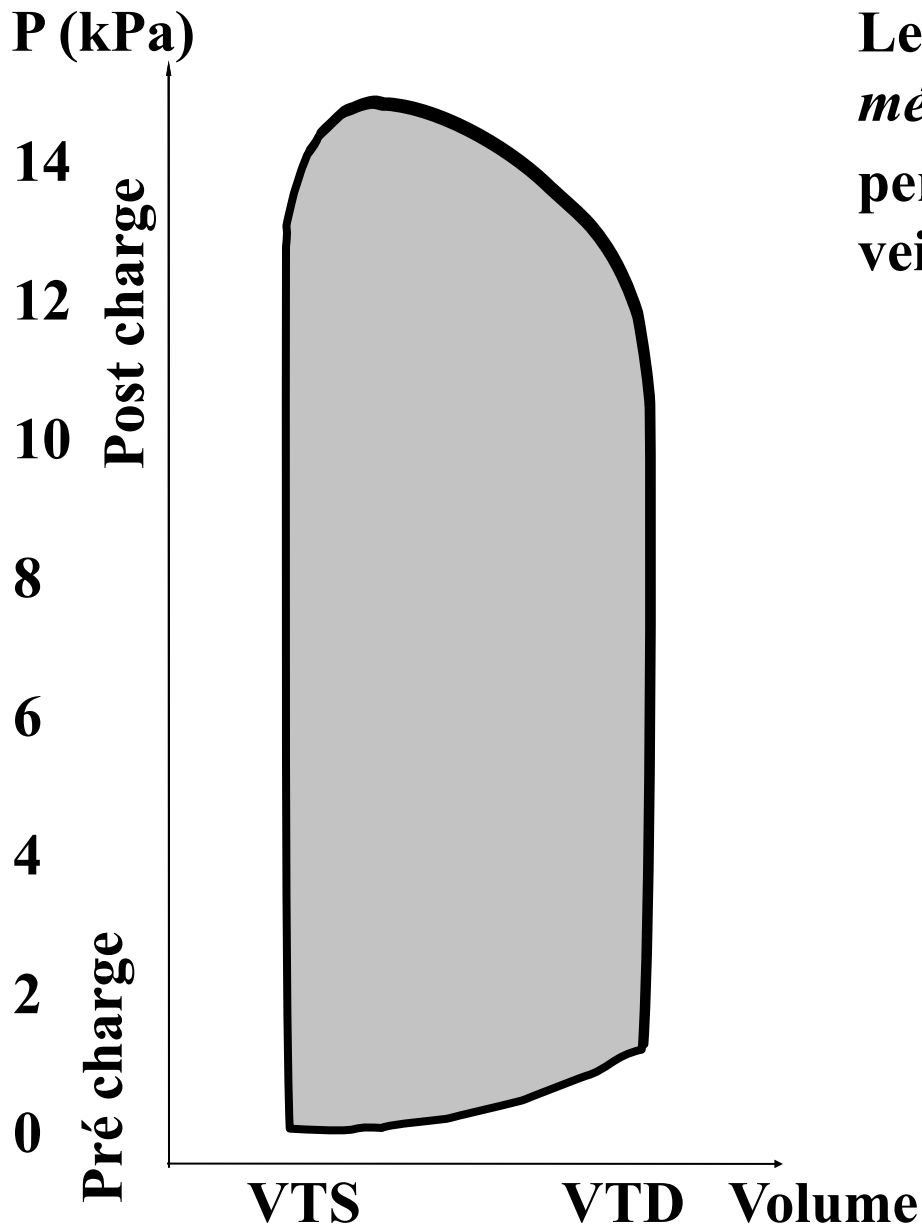
II - TRAVAIL CARDIAQUE

III - DETERMINANTS BIOPHYSIQUES DE LA PERFORMANCE VENTRICULAIRE

- 1 - Contractilité et compliance myocardiques**
- 2 - Précharge (loi de Starling)**
- 3 - Postcharge**
- 4 - Fréquence cardiaque**

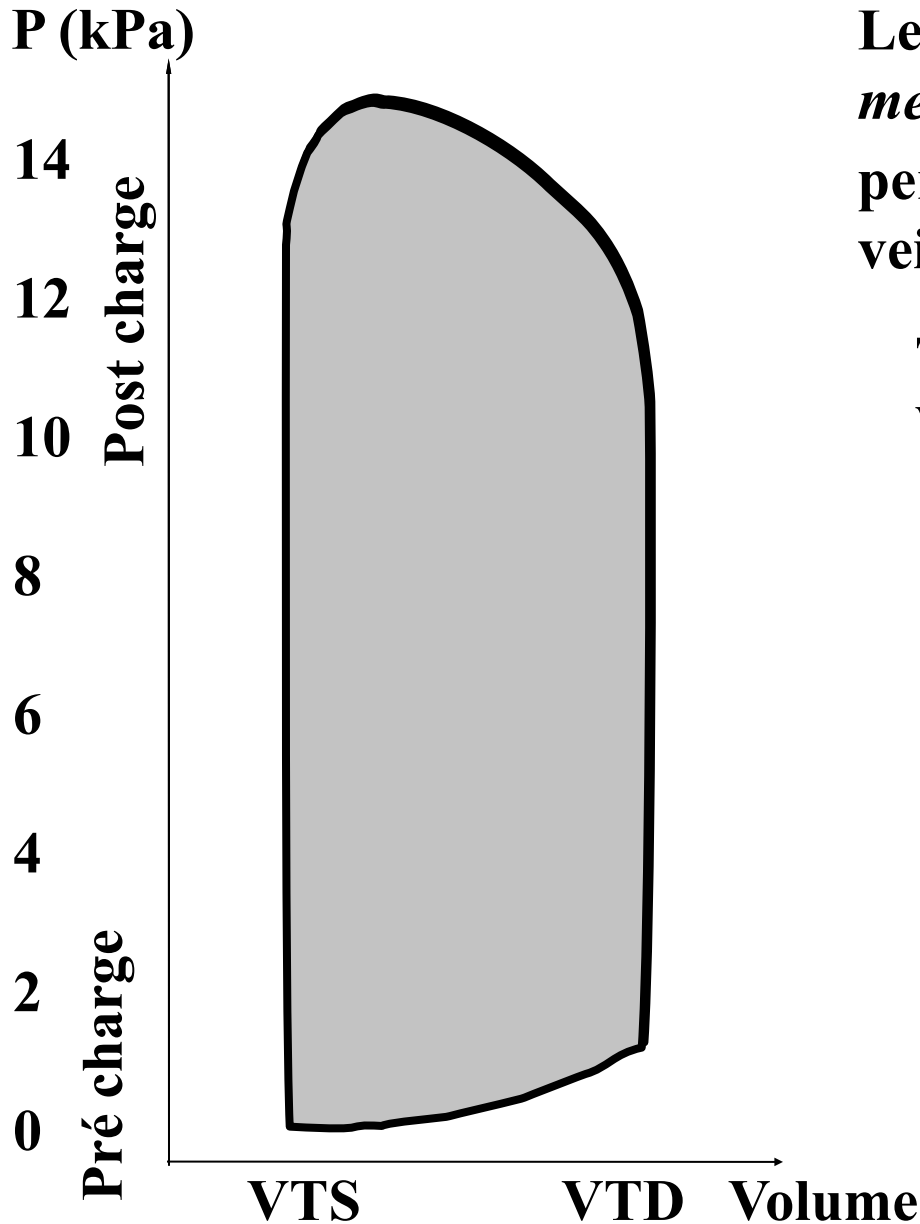


II TRAVAIL CARDIAQUE



Le cœur doit fournir un *travail mécanique* (W_M) pour compenser la perte de charge entre le retour veineux et le secteur artériel.

II TRAVAIL CARDIAQUE

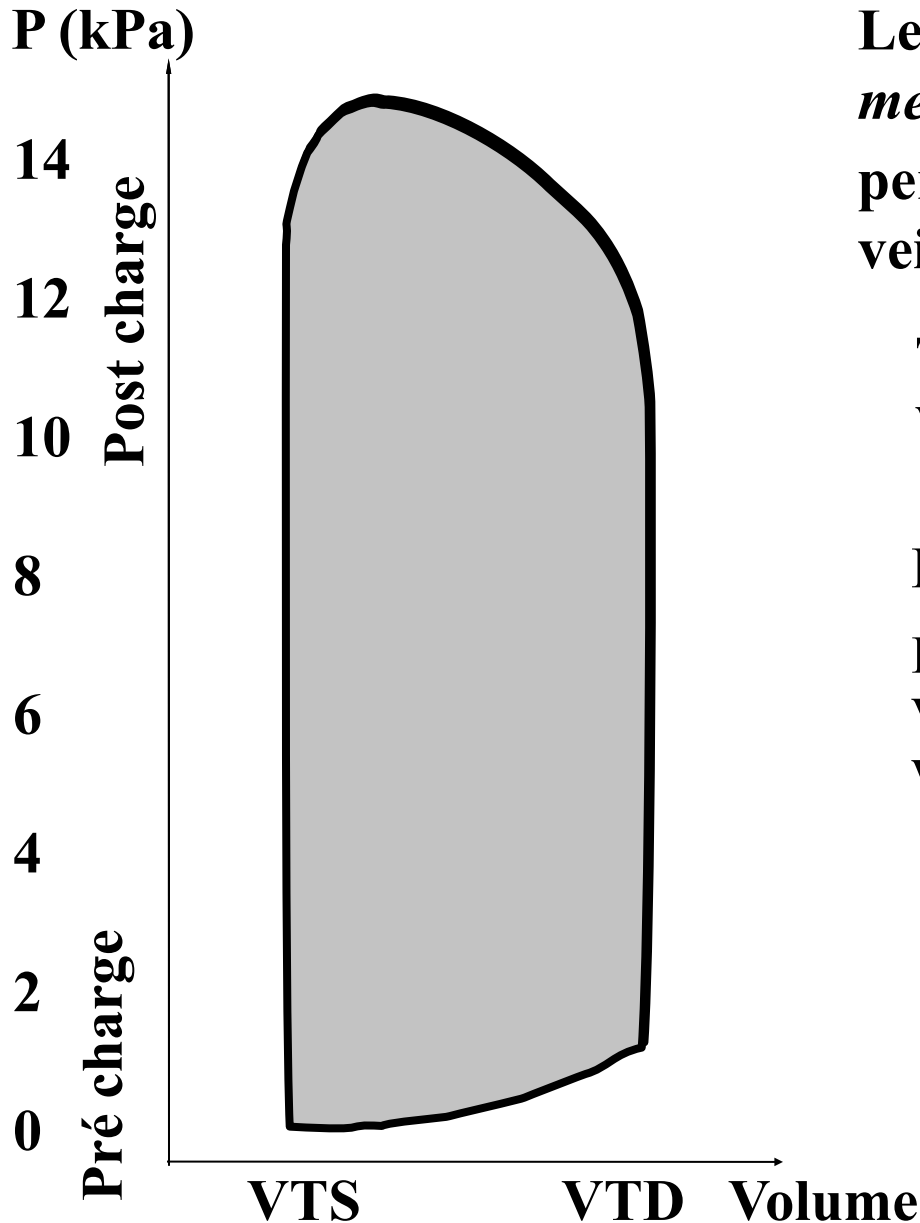


Le cœur doit fournir un *travail mécanique* (W_M) pour compenser la perte de charge entre le retour veineux et le secteur artériel.

Travail = force x déplacement

$$W_M = P \text{ éjection} \times V \text{ éjecté}$$

II TRAVAIL CARDIAQUE



Le cœur doit fournir un *travail mécanique* (W_M) pour compenser la perte de charge entre le retour veineux et le secteur artériel.

Travail = force x déplacement

$$W_M = P \text{ éjection} \times V \text{ éjecté}$$

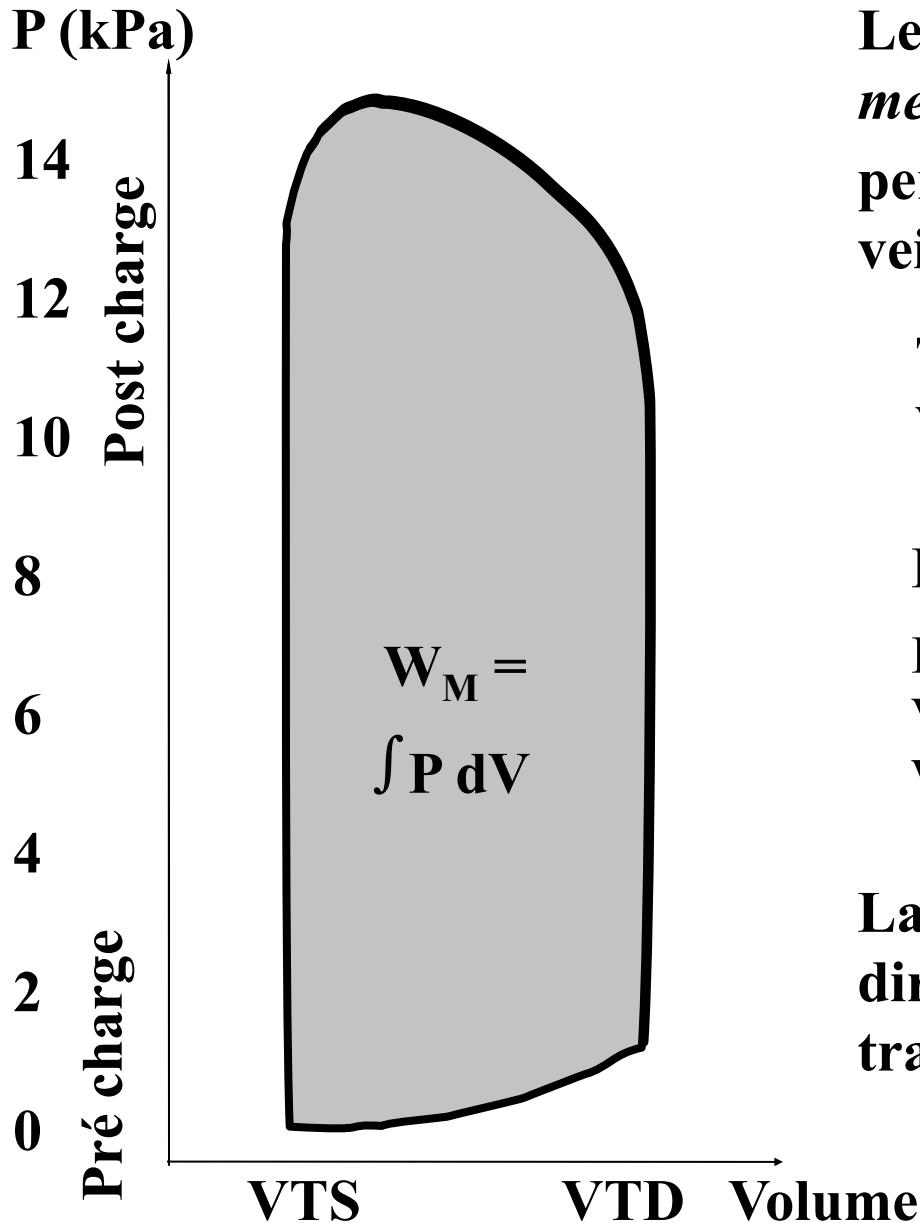
Exemple : Travail d'éjection VG

P éjection : 100 mmHg = 13,3 kPa (N/m²)

Vol éjecté : 80 ml = 8.10⁻⁵ m³

$$W_M = 1,06 \text{ N.m (J)}$$

II TRAVAIL CARDIAQUE



Le cœur doit fournir un *travail mécanique* (W_M) pour compenser la perte de charge entre le retour veineux et le secteur artériel.

Travail = force x déplacement

$$W_M = P \text{ éjection} \times V \text{ éjecté}$$

Exemple : Travail d'éjection VG

P éjection : 100 mmHg = 13,3 kPa (N/m²)

Vol éjecté : 80 ml = 8.10⁻⁵ m³

$$W_M = 1,06 \text{ N.m (J)}$$

La surface de la boucle P-V est directement proportionnelle au travail mécanique du cœur.

II TRAVAIL CARDIAQUE

P (kPa)

14

12

10

8

6

4

2

0

Post charge

Pré charge

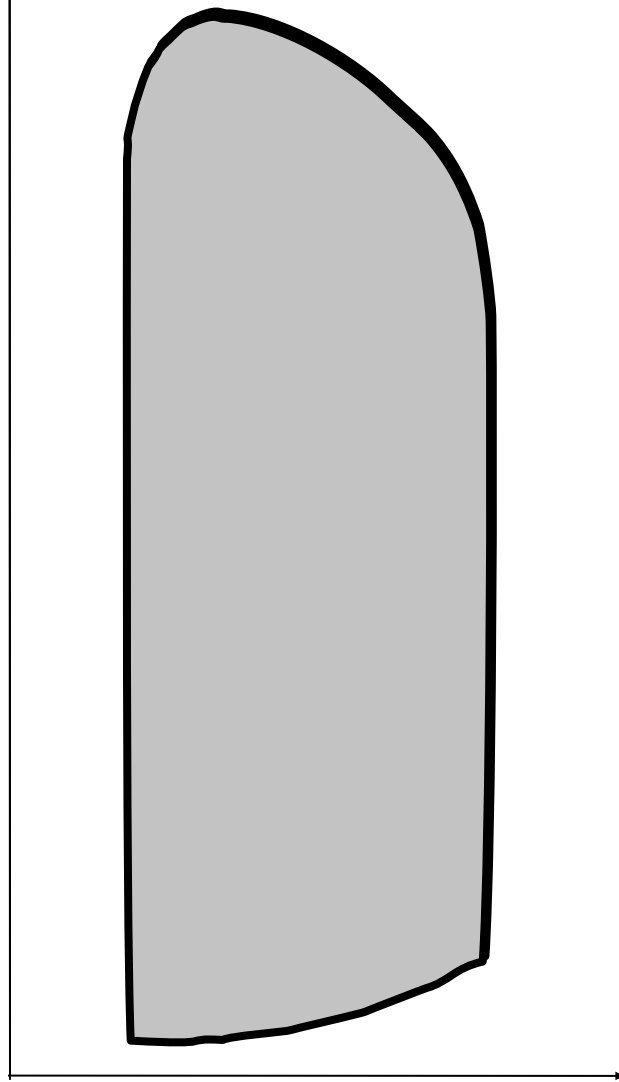
VTS

VTD

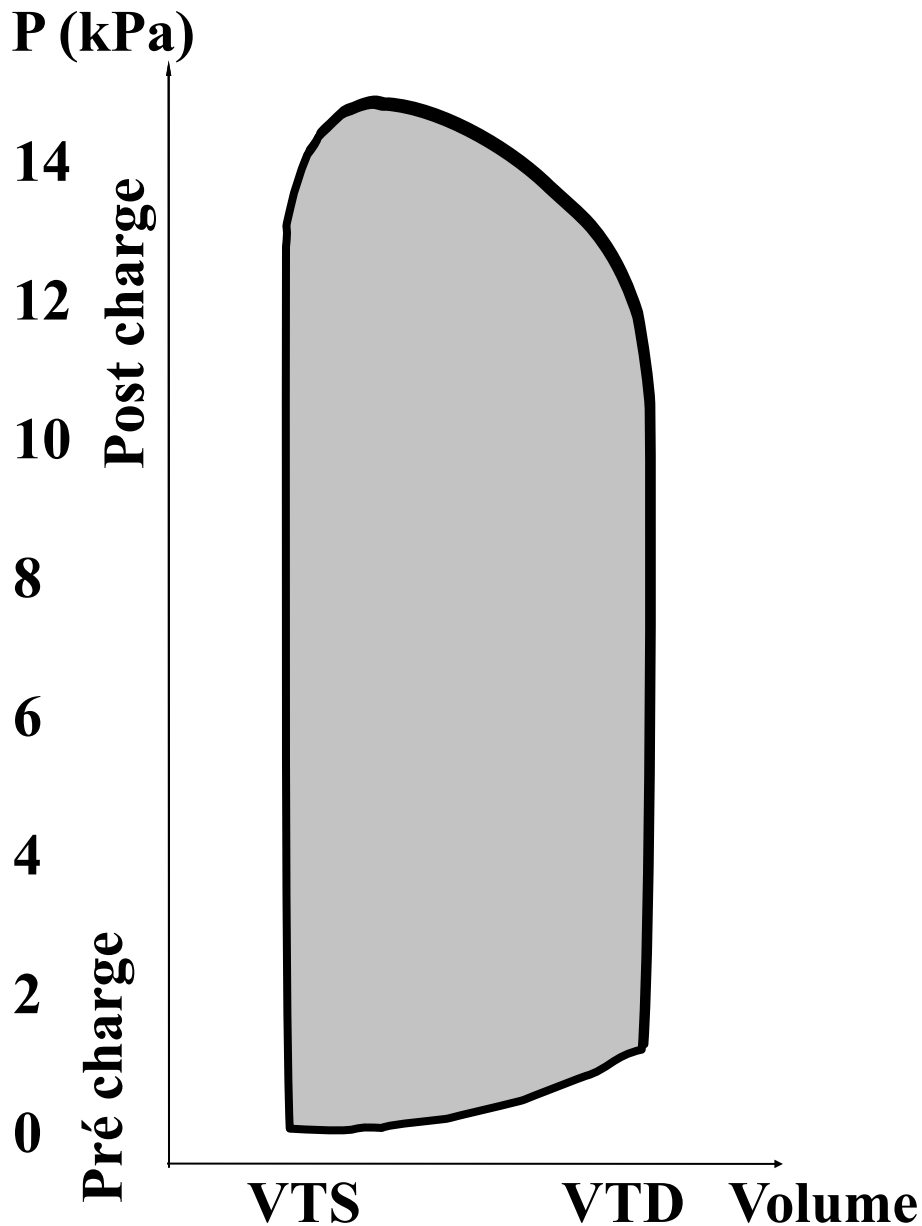
Volume

Travail mécanique (W_M)

$$W_M = \int P dV$$



II TRAVAIL CARDIAQUE



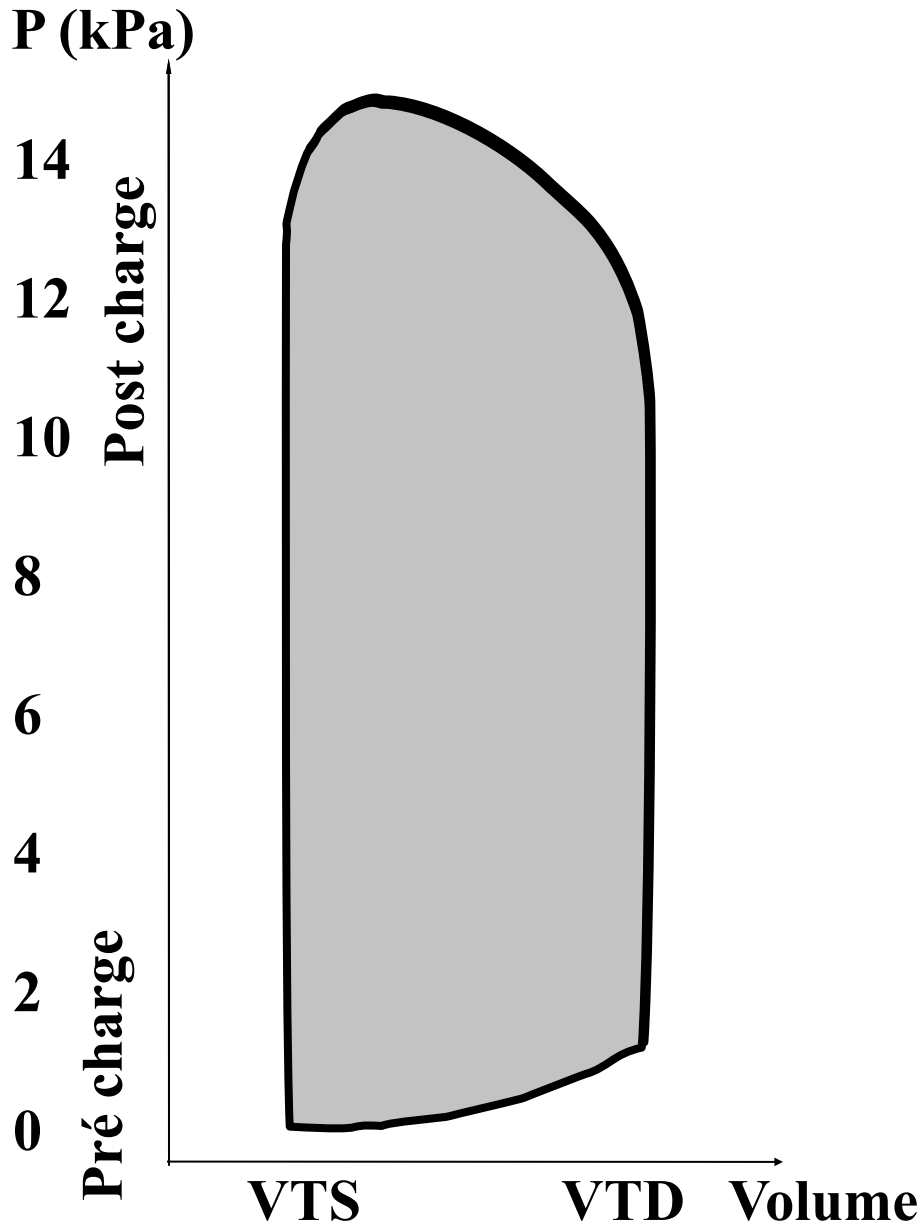
Travail mécanique (W_M)

$$W_M = \int P \, dV$$

Travail de mise en tension du muscle cardiaque (W_T)

$$W_T = \alpha \int T \, dt$$

II TRAVAIL CARDIAQUE



Travail mécanique (W_M)

$$W_M = \int P dV$$

Travail de mise en tension du muscle cardiaque (W_T)

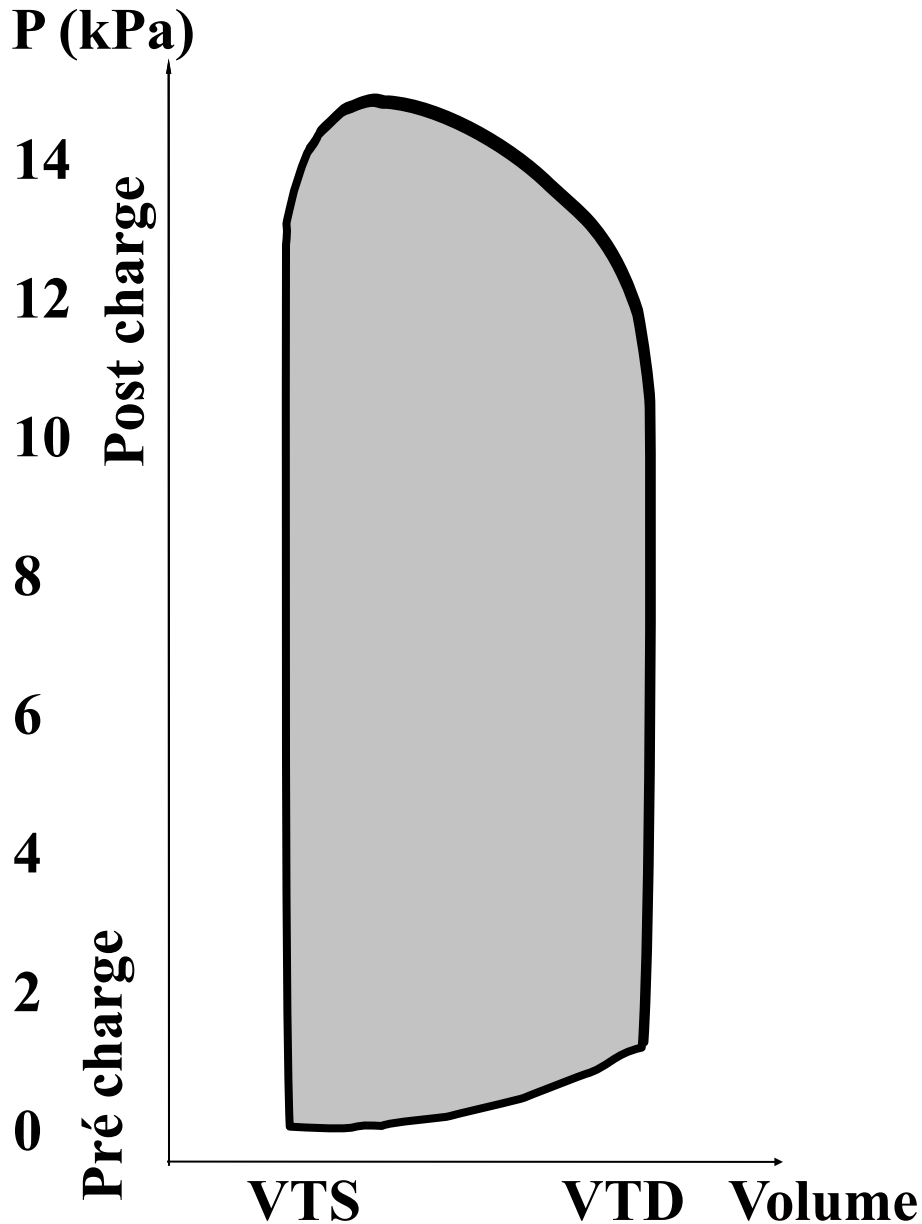
$$W_T = \alpha \int T dt$$

Loi de Laplace : $T = k P r / h$

*T : tension pariétale ; r : rayon ;
P : pression ; h : épaisseur paroi*

Charge contre laquelle les
cellules du myocarde doivent se
contracter.

II TRAVAIL CARDIAQUE



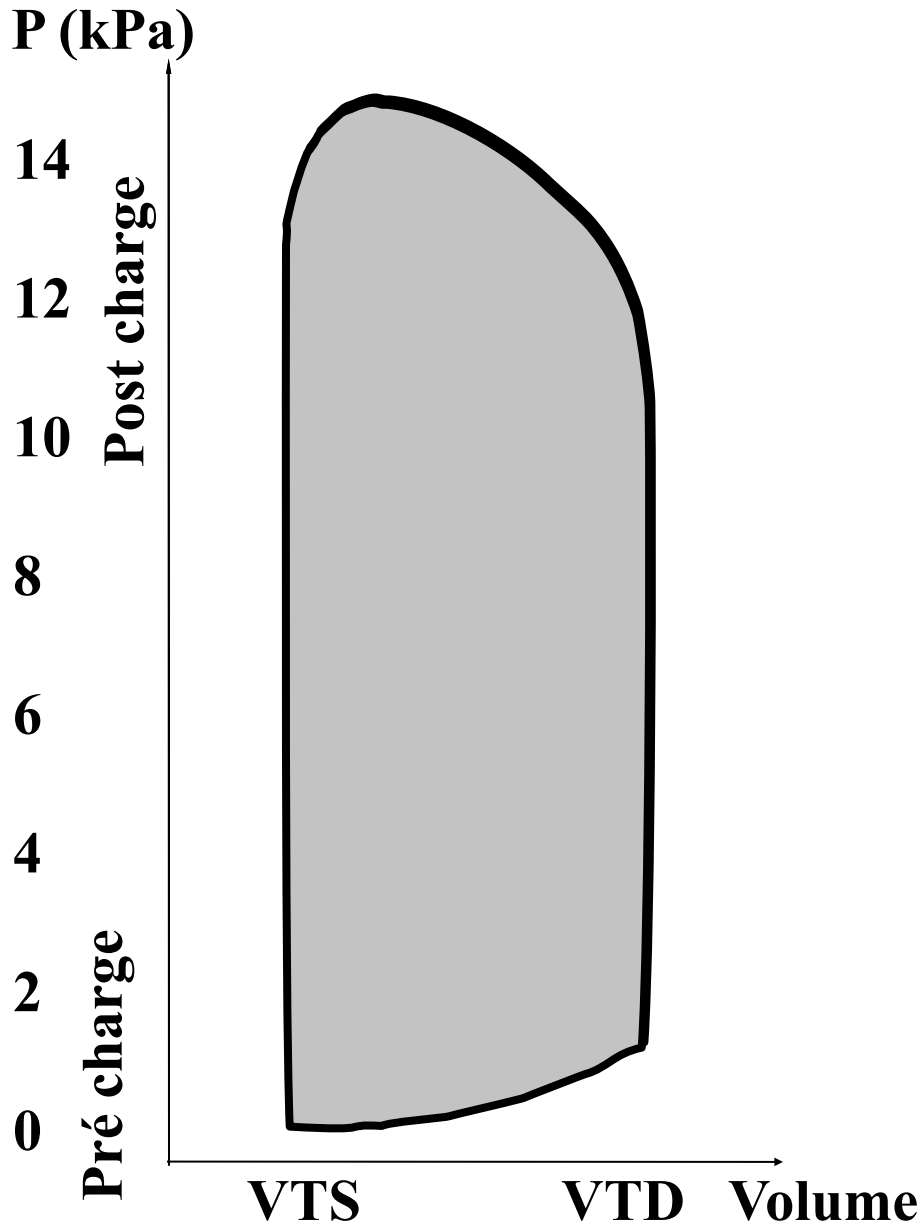
Travail mécanique (W_M)

$$W_M = \int P dV$$

Travail de mise en tension du muscle cardiaque (W_T)

$$W_T = \alpha \int T dt$$

II TRAVAIL CARDIAQUE



Travail mécanique (W_M)

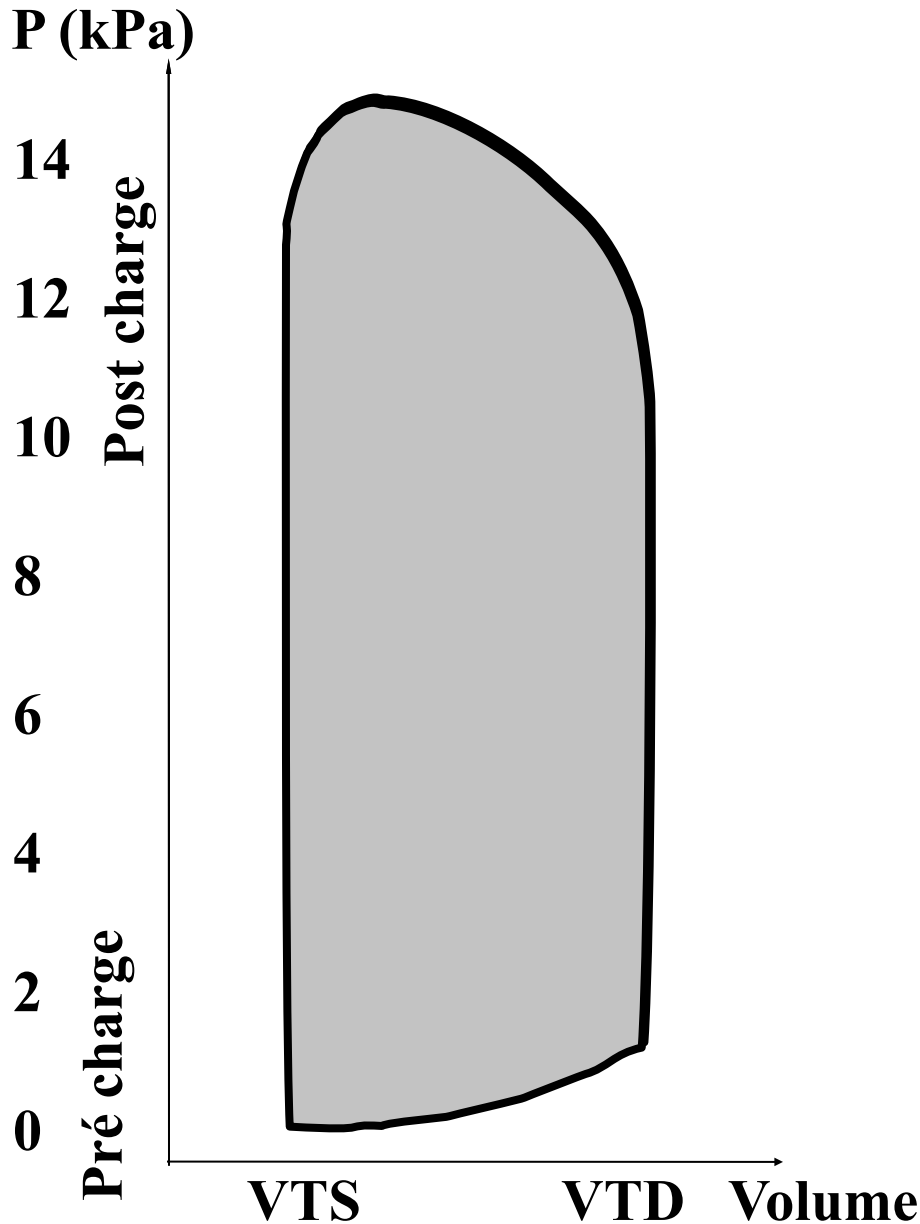
$$W_M = \int P \, dV$$

Travail de mise en tension du muscle cardiaque (W_T)

$$W_T = \alpha \int T \, dt$$

Travail total = $W_M + W_T$

II TRAVAIL CARDIAQUE



Travail mécanique (W_M)

$$W_M = \int P \, dV$$

Travail de mise en tension du muscle cardiaque (W_T)

$$W_T = \alpha \int T \, dt$$

Travail total = $W_M + W_T$

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

BIOPHYSIQUE DE LA CIRCULATION

Biophysique cardiaque

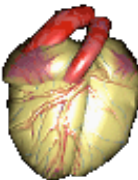
I - HEMODYNAMIQUE INTRA-CARDIAQUE

- 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 (loi de Starling)**
- 3 - Postcharge**
- 4 - Fréquence cardiaque**



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.

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)

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.

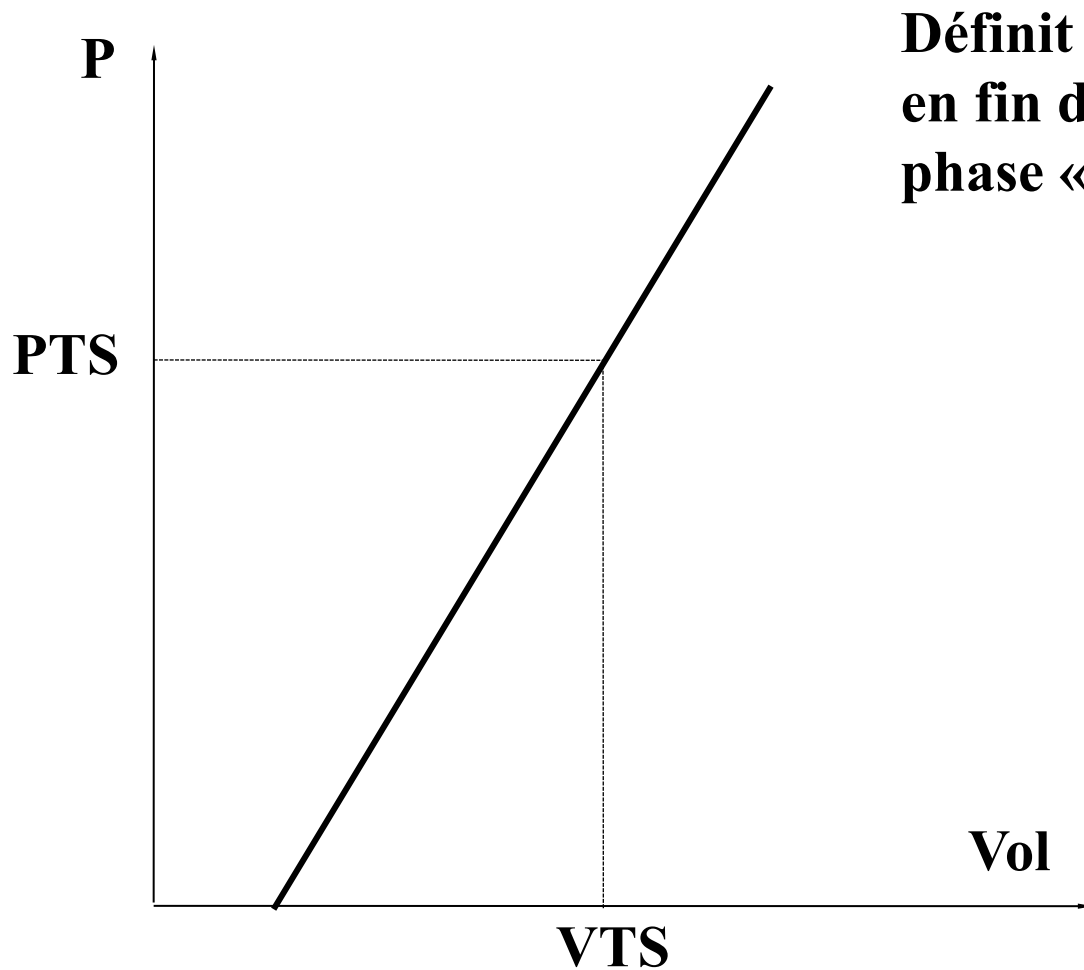
Le débit : $D = VES \times FC$ (FC = fréquence cardiaque)

Les performances dépendent de 5 paramètres :

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

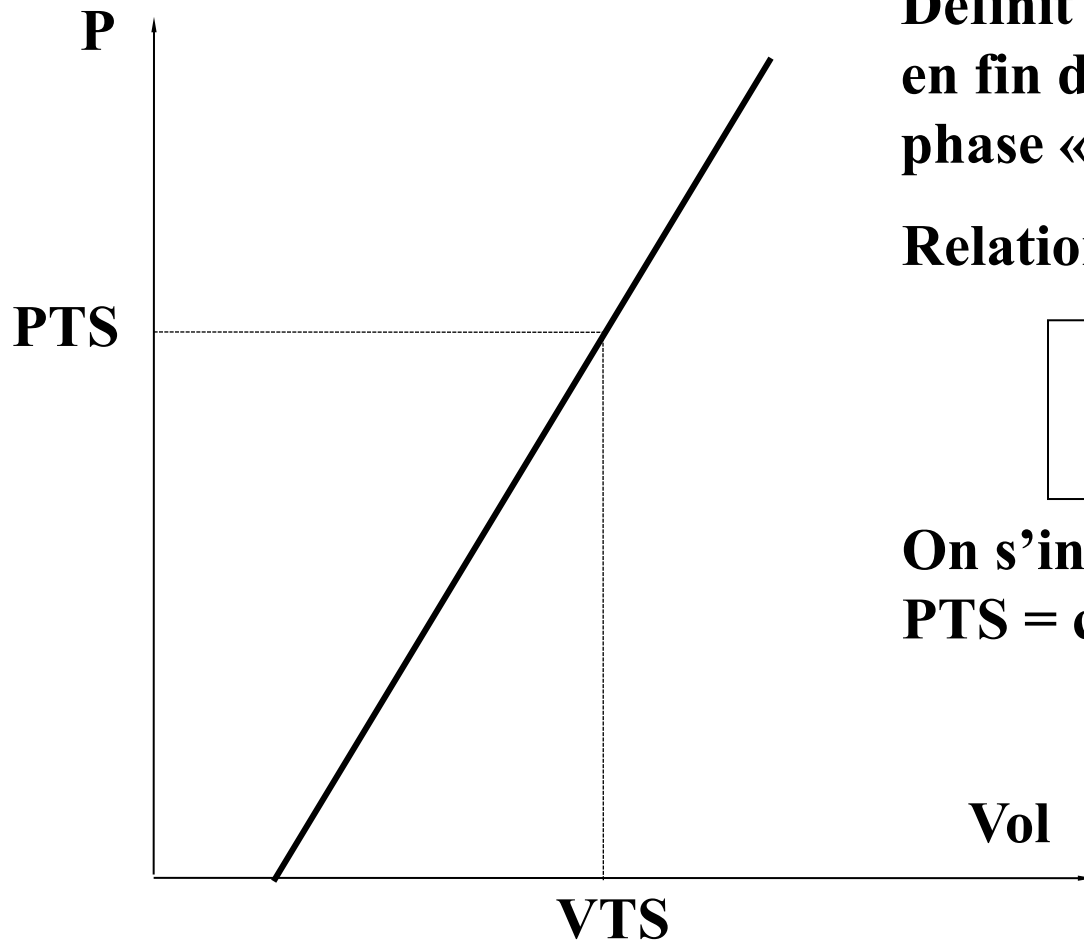
(VES = volume d'éjection systolique)

1- Contractilité ou relation pression-volume en *fin de systole* :



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

1- Contractilité ou relation pression-volume en *fin de systole* :



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

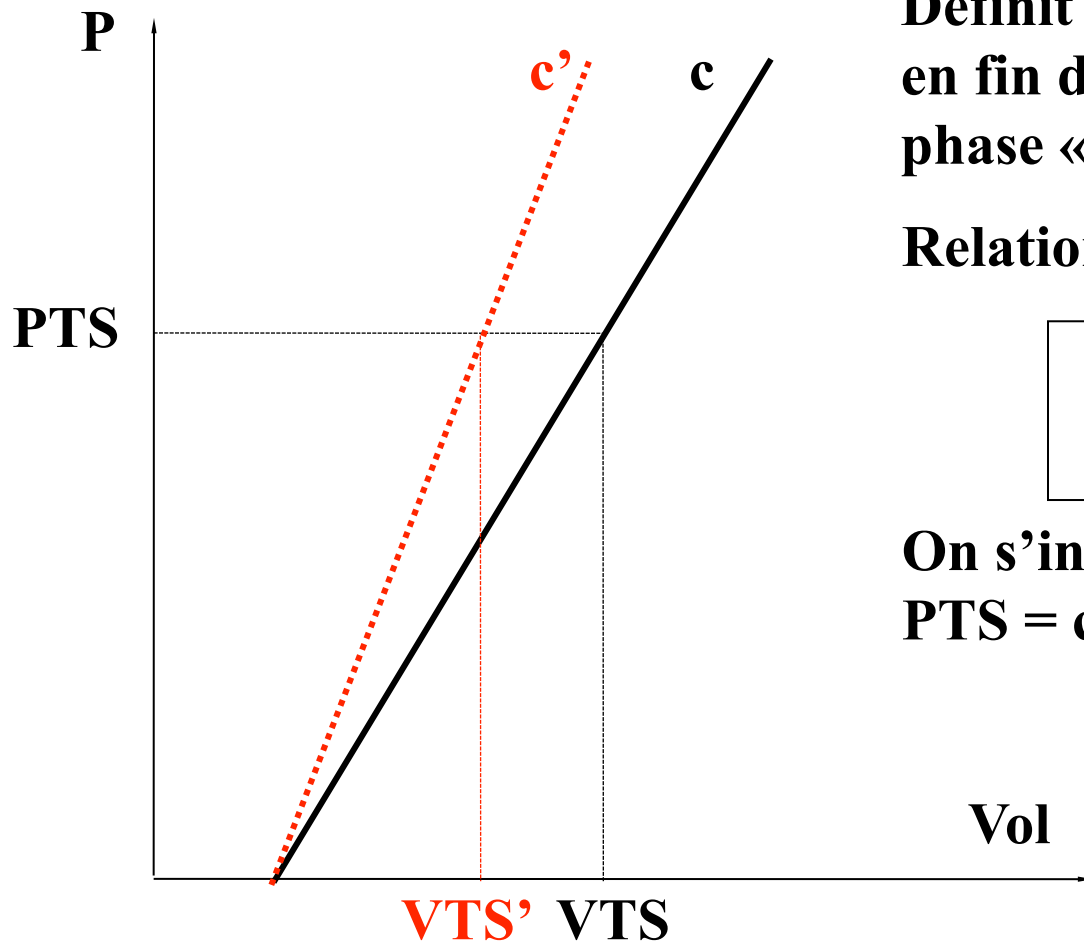
Relation de type *linéaire*

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

avec c = contractilité

On s'intéresse surtout au point
 $PTS = c.VTS - d$

1- Contractilité ou relation pression-volume en *fin de systole* :



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

Relation de type *linéaire*

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

avec $c = \text{contractilité}$

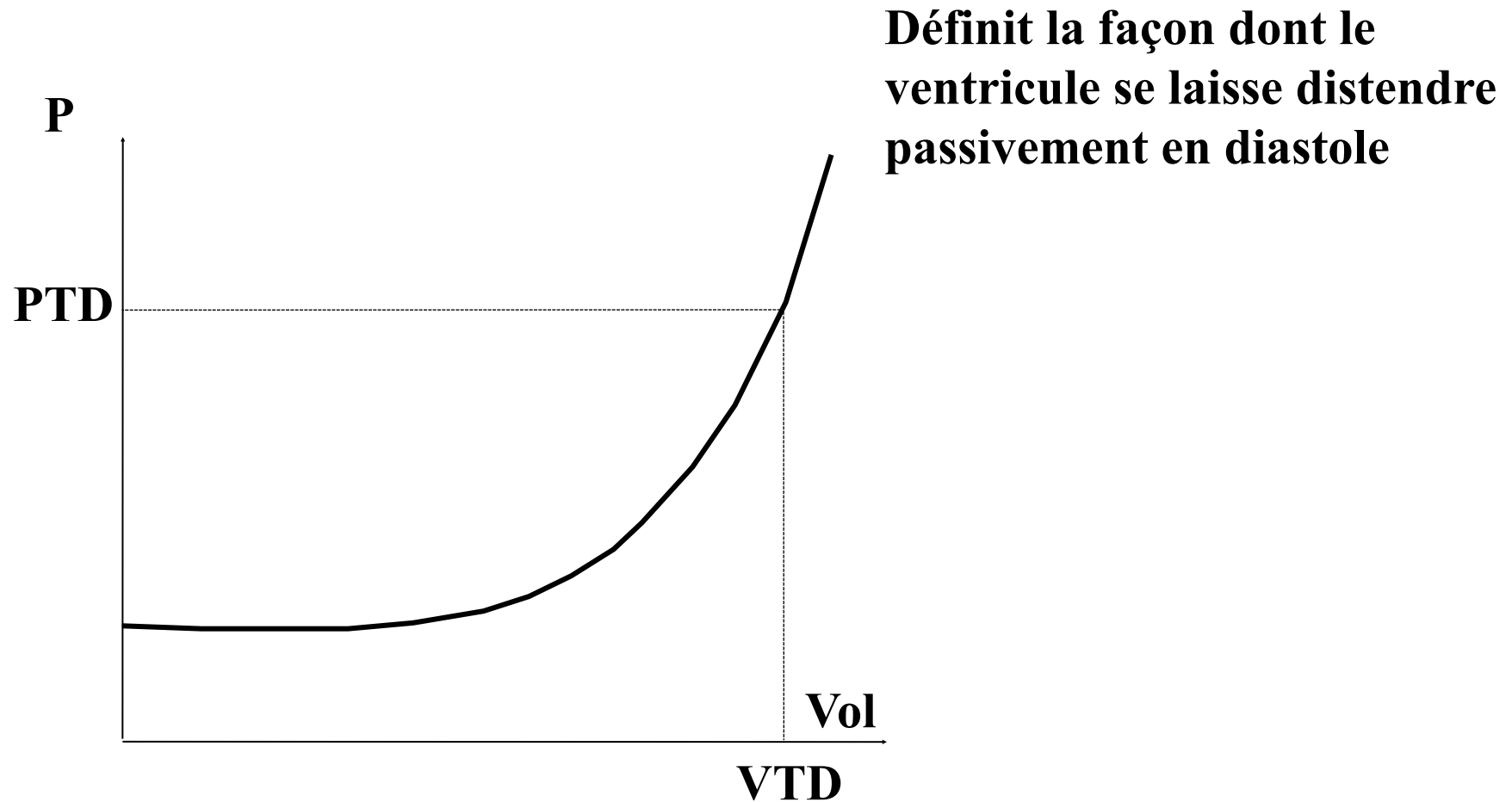
On s'intéresse surtout au point
 $PTS = c.VTS - d$

Pour $c' > c$

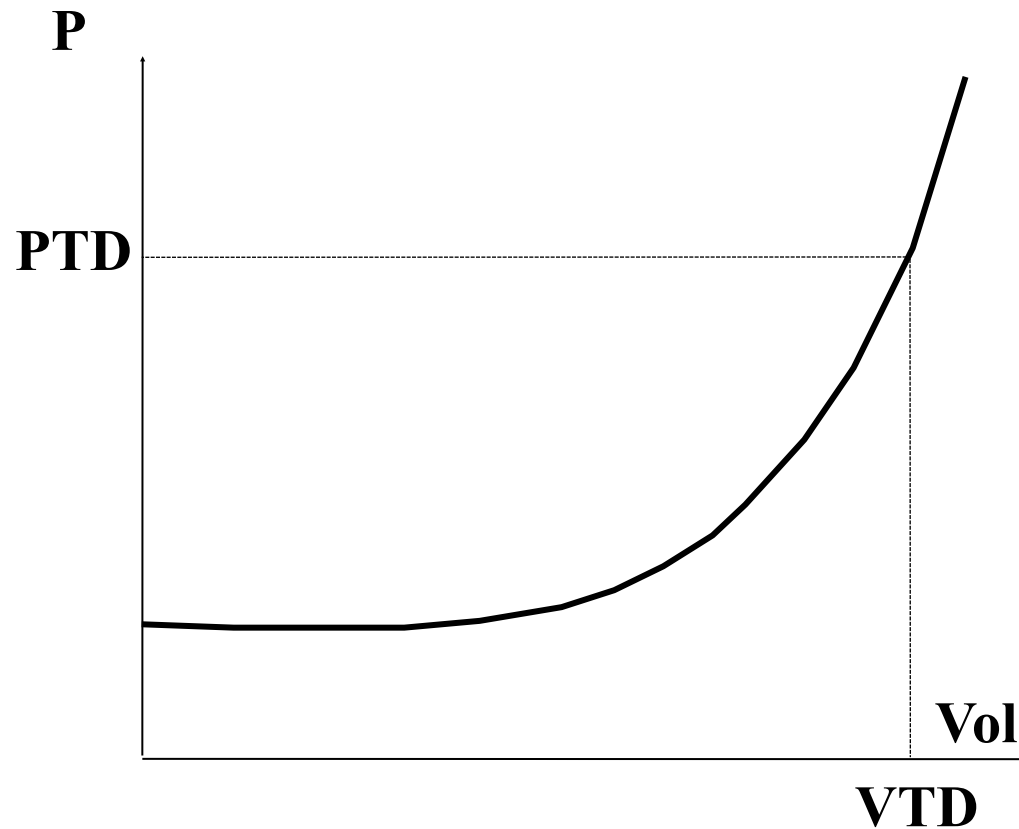
$VTS' \searrow$

$VES \nearrow$

2- Compliance ou relation pression-volume en *diastole* :



2- Compliance ou relation pression-volume en *diastole* :



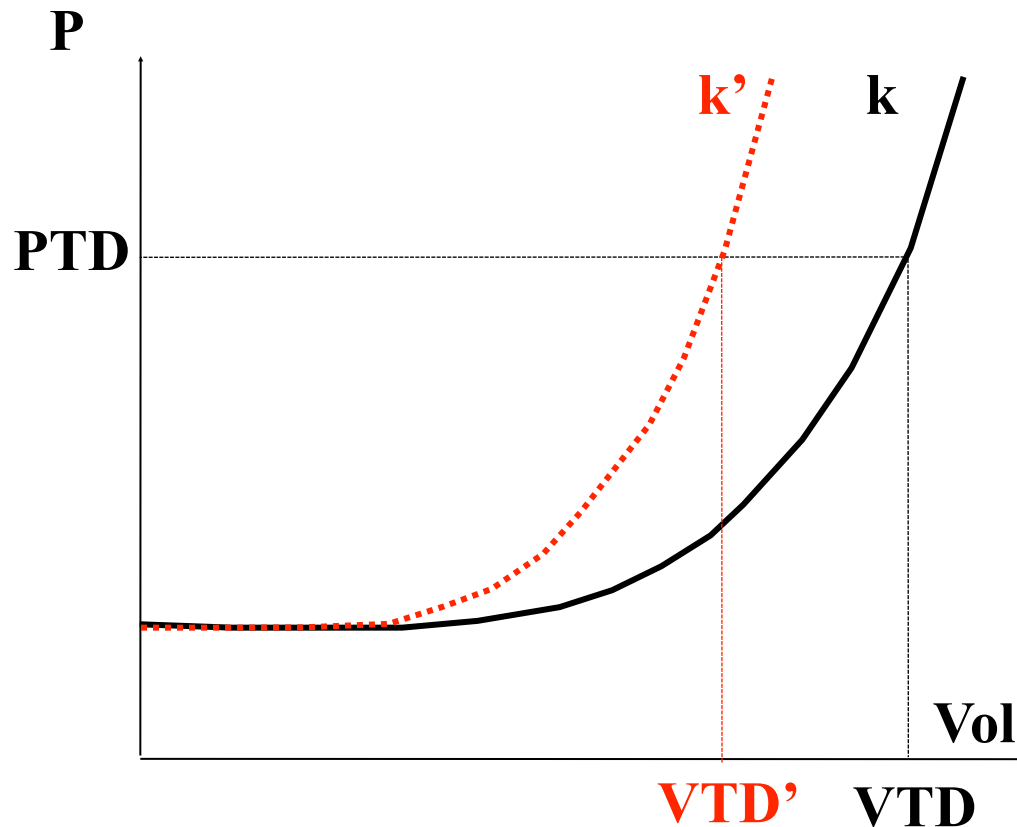
Définit la façon dont le ventricule se laisse distendre passivement en diastole

Relation de type *exponentielle*

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

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

2- Compliance ou relation pression-volume en *diastole* :



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

Relation de type *exponentielle*

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

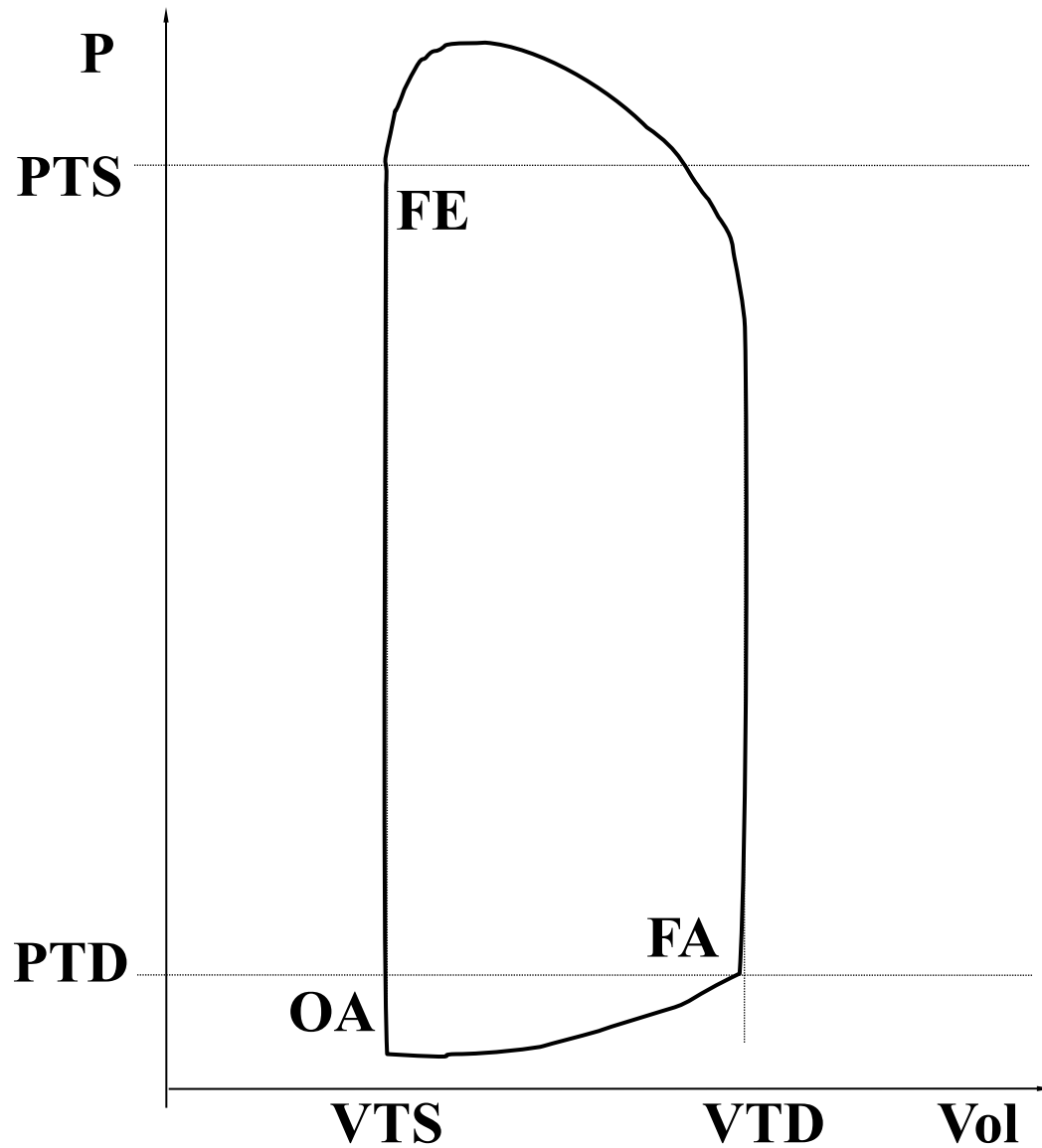
avec $k = \text{élastance}$
 $= 1/\text{compliance}$

Pour $k' > k$

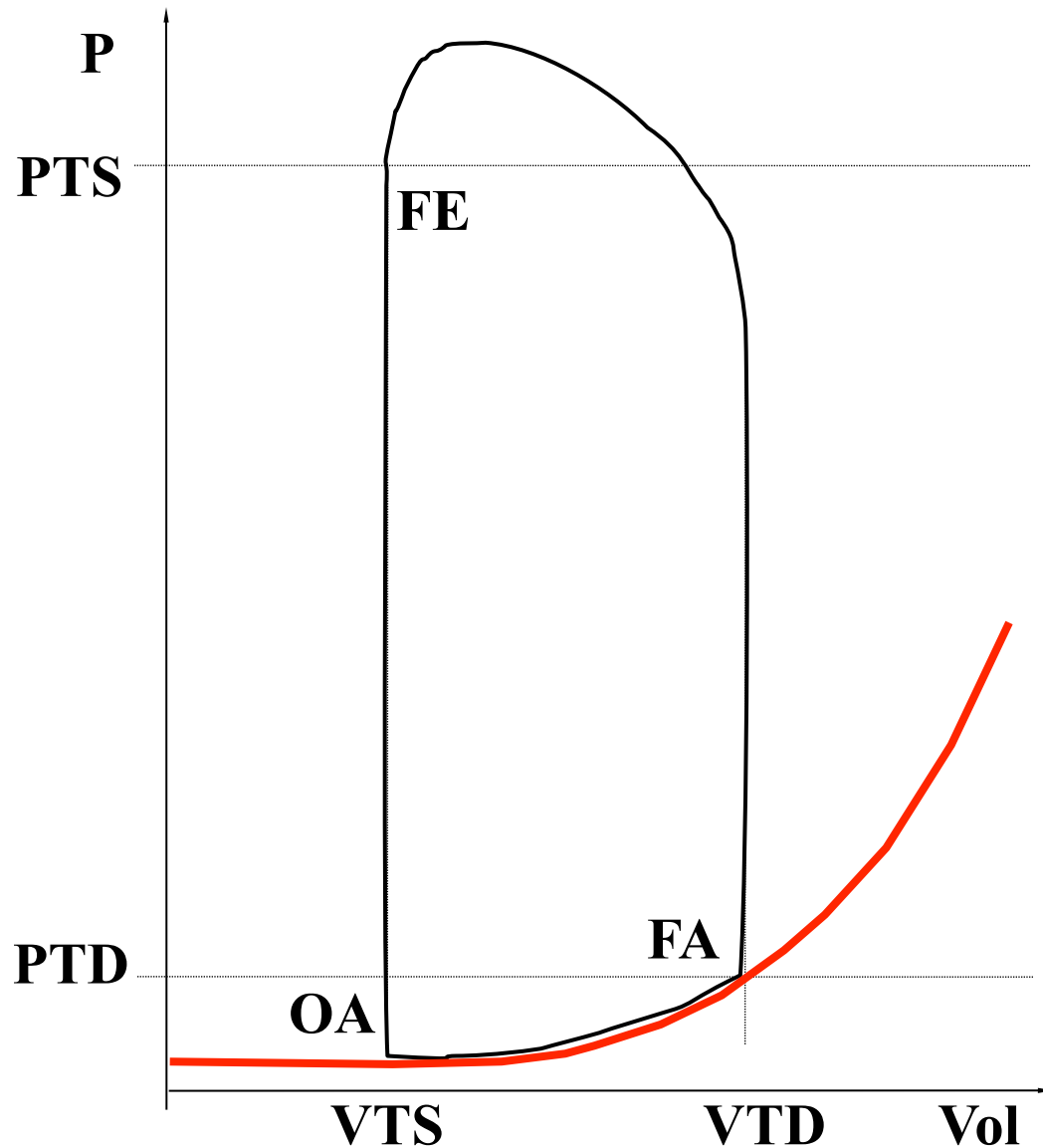
VTD' ↓

VES ↓

Relations contractilité et compliance avec la boucle pression-volume

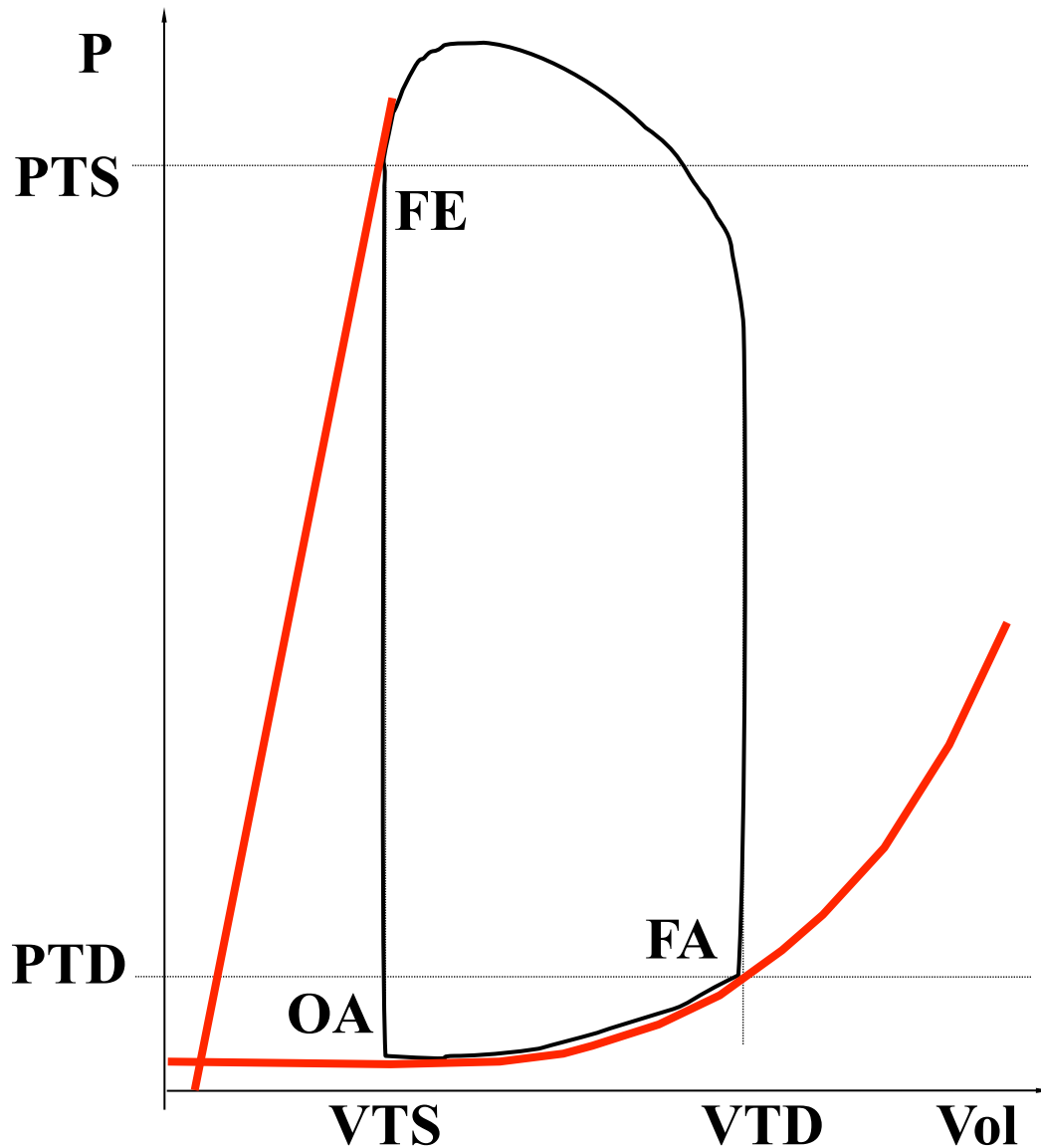


Relations contractilité et compliance avec la boucle pression-volume



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

Relations contractilité et compliance avec la boucle pression-volume

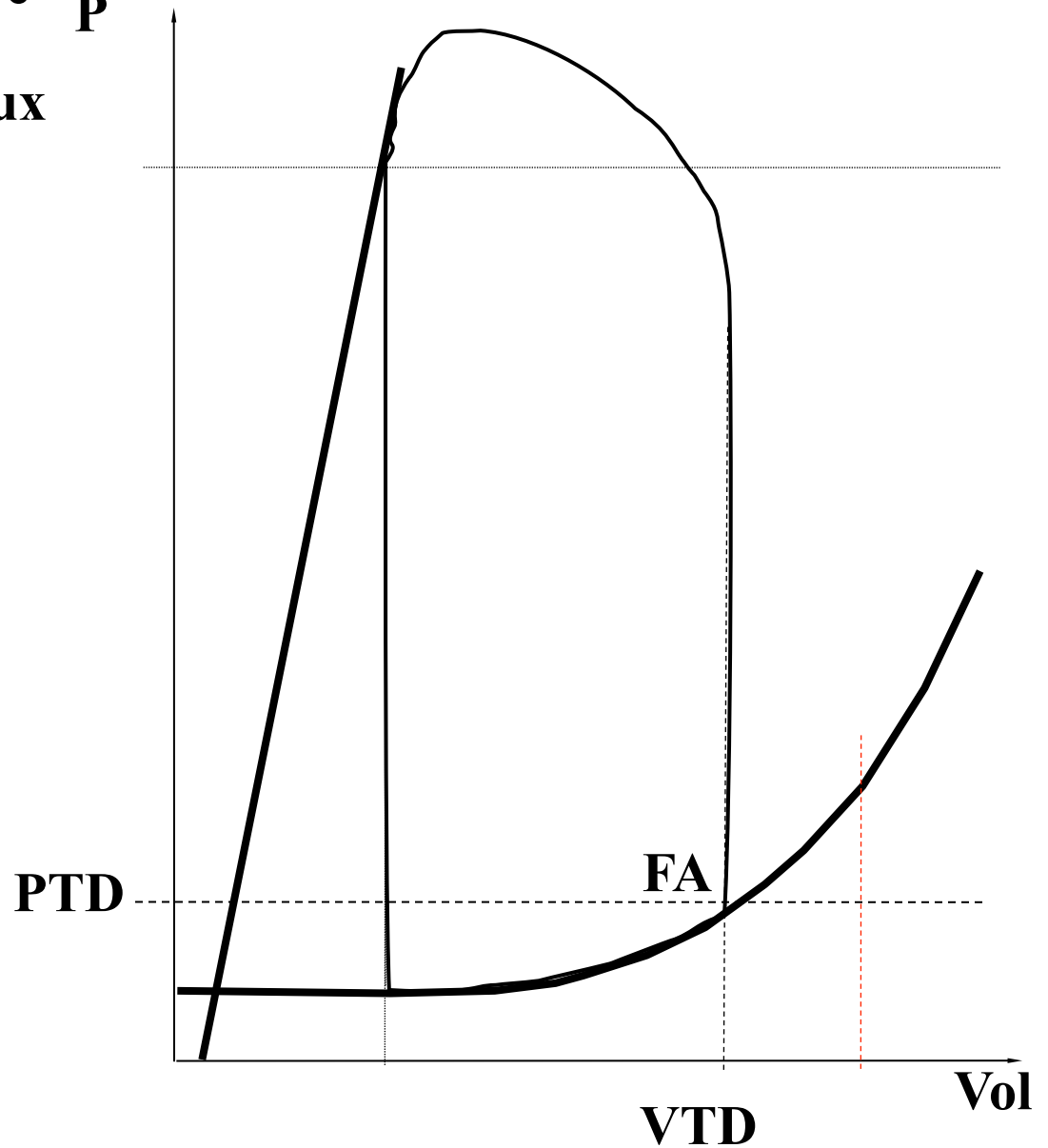


La **contractilité** définit le point **FE**: point (**PTS**,**VTS**) entre la phase d'éjection et celle de relaxation isovolumétrique.

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

3- Précharge ventriculaire **P**

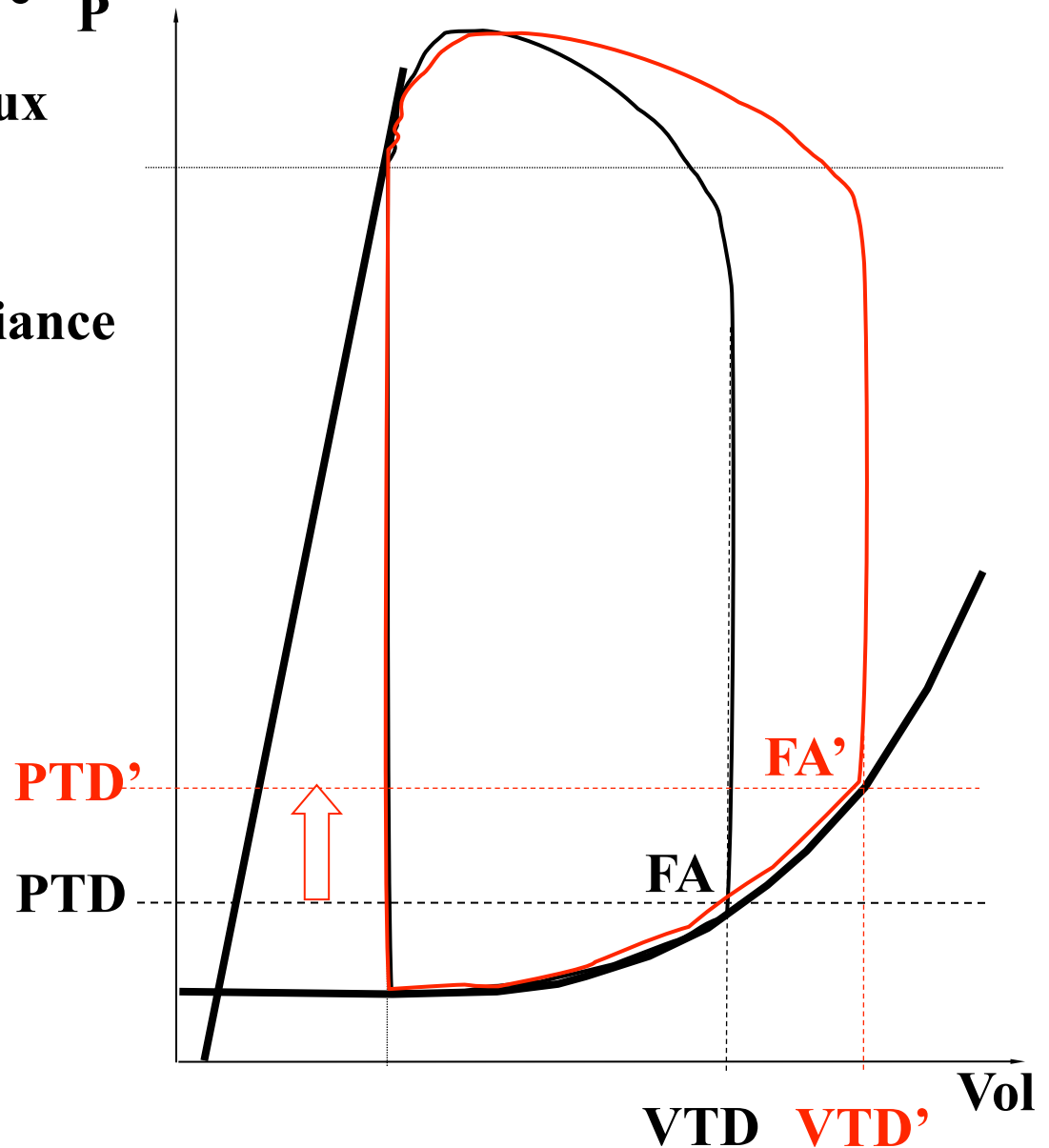
Pression du retour veineux



3- Précharge ventriculaire P

Pression du retour veineux

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

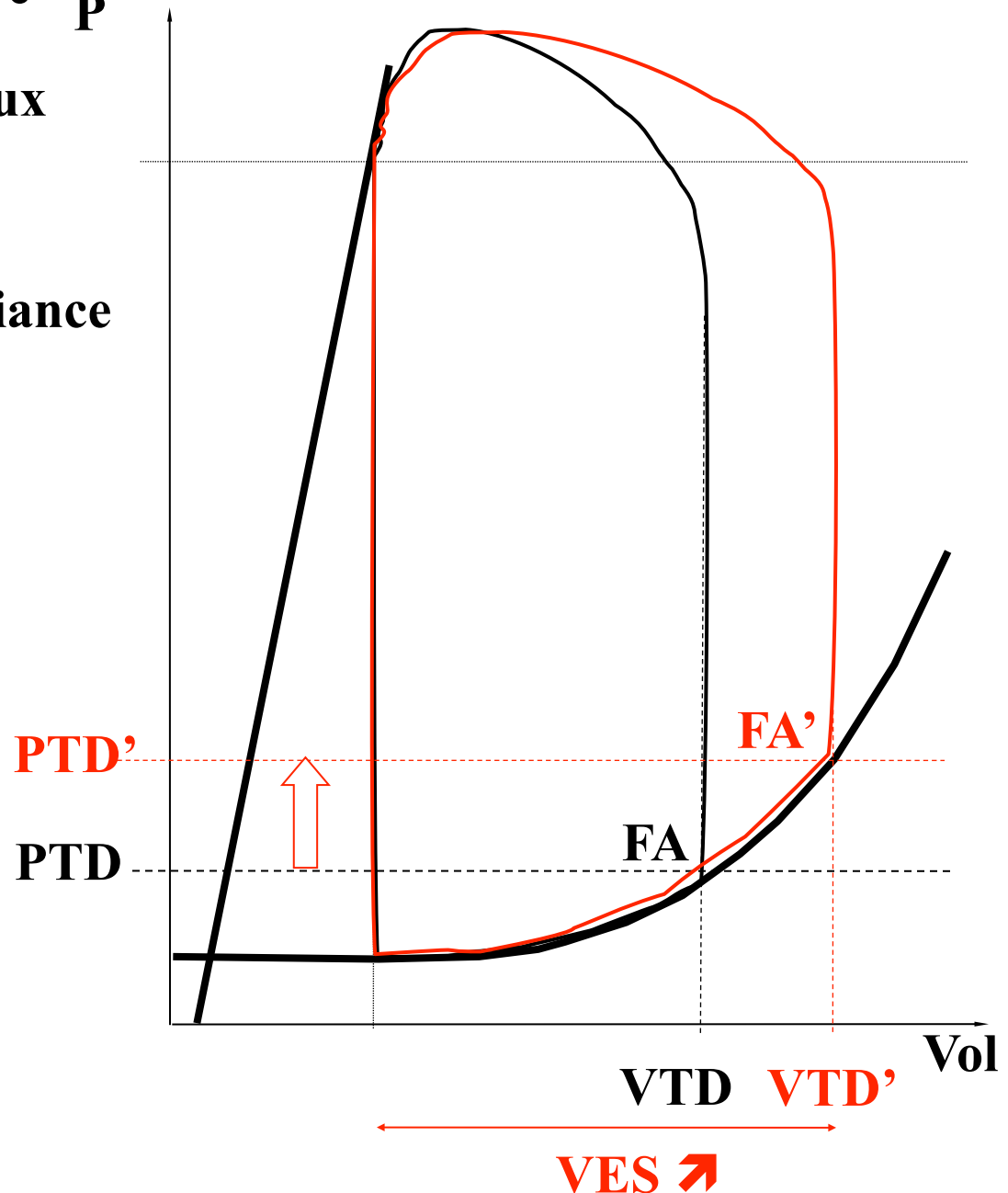


3- Précharge ventriculaire P

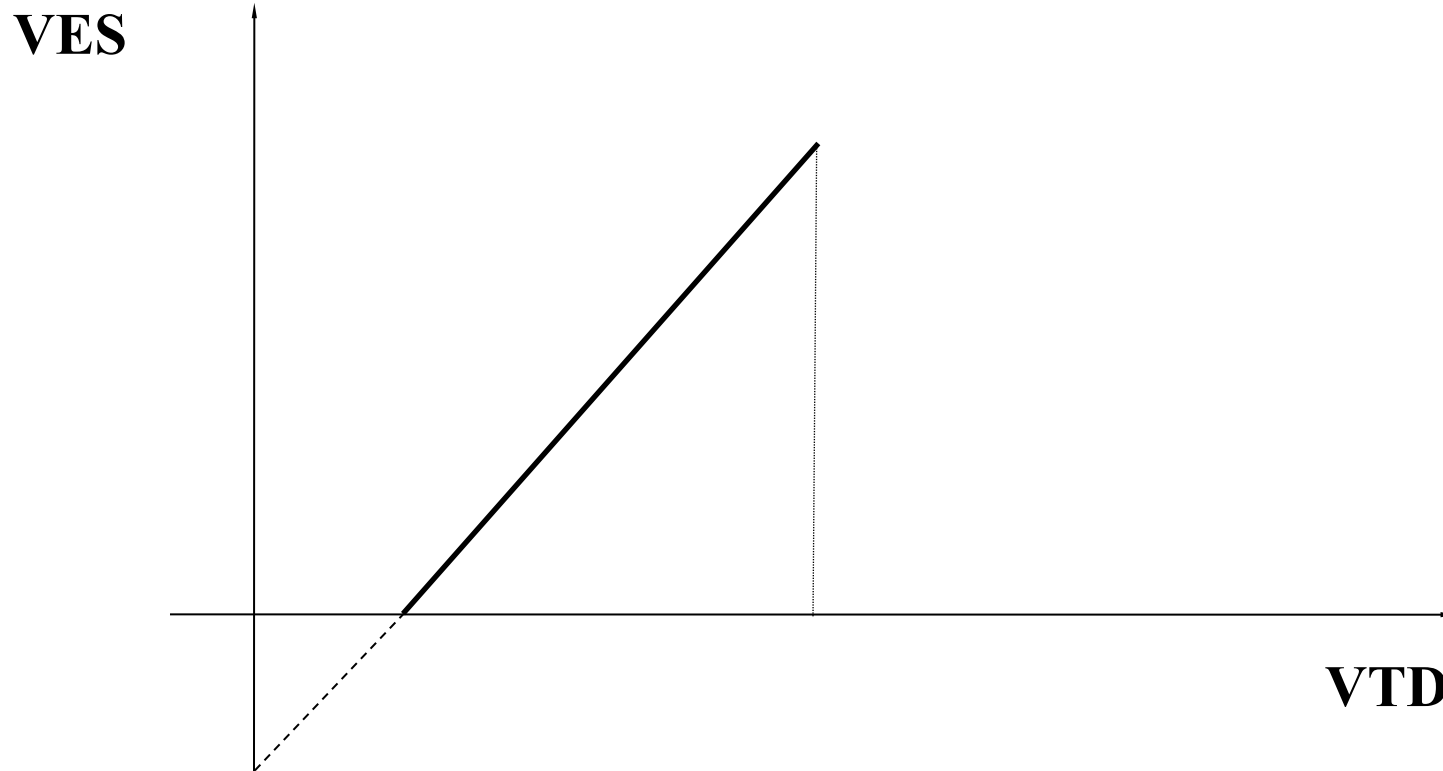
Pression du retour veineux

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

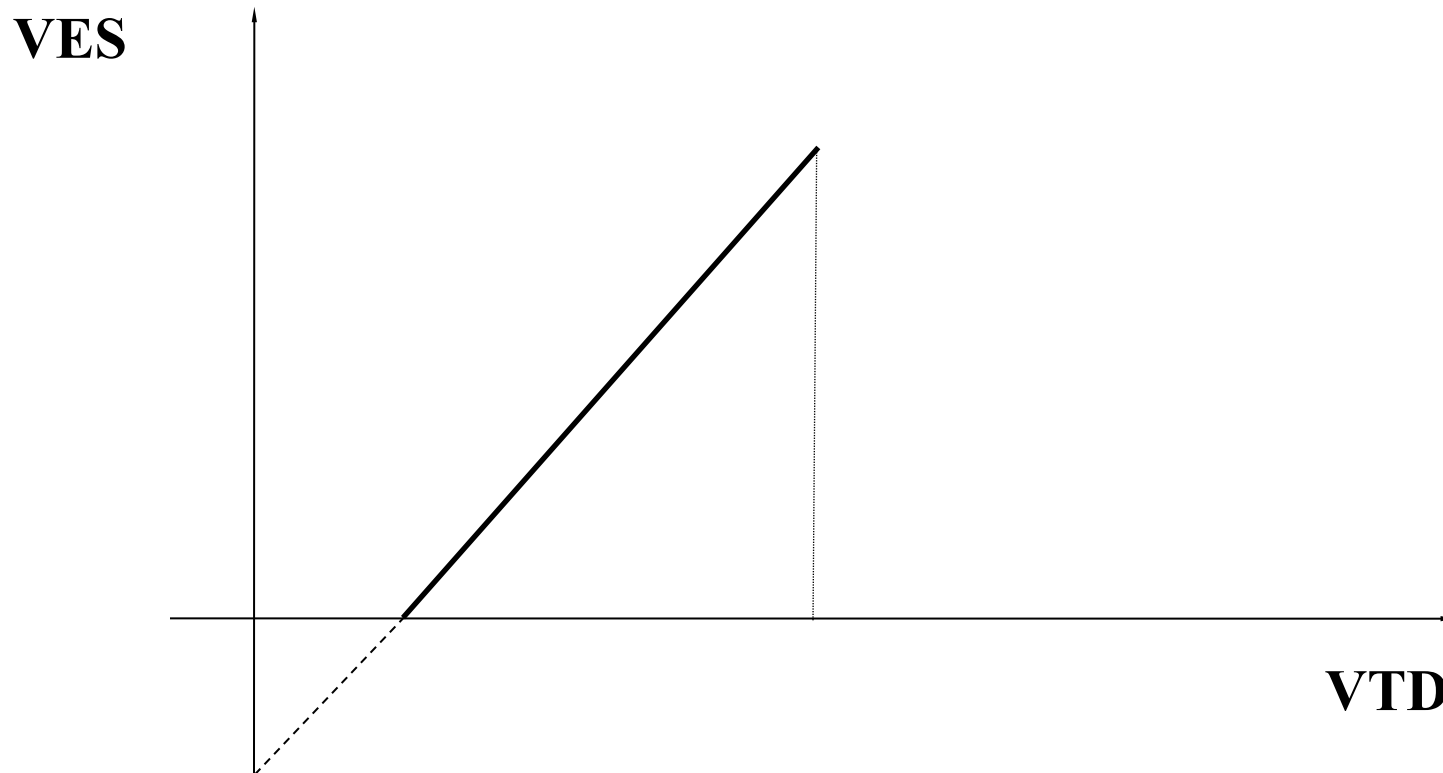
$VTD \nearrow \Rightarrow VES \nearrow$
 \Rightarrow débit \nearrow
mais $W_M \nearrow$ aussi



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

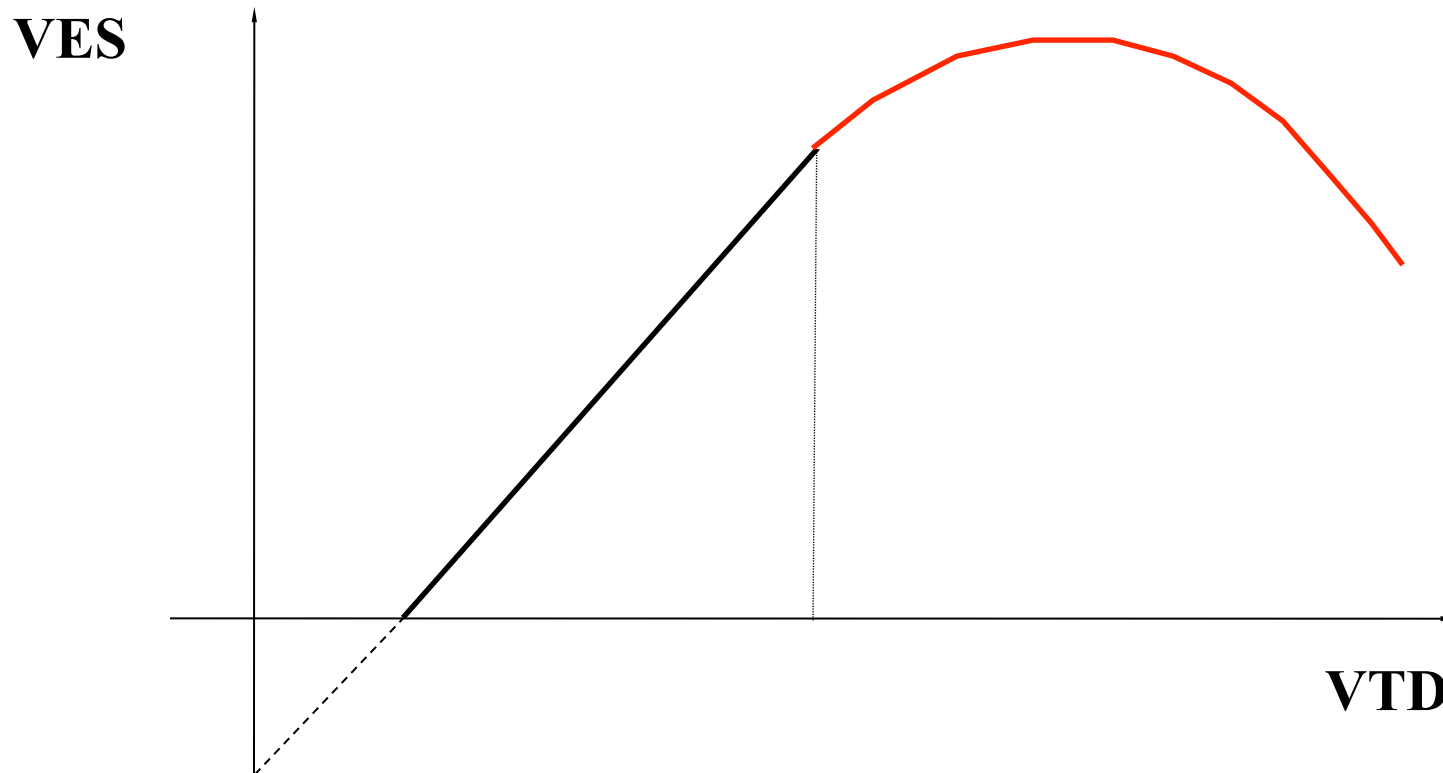


Loi de Starling : *rappel* $VES = VTD - VTS$



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

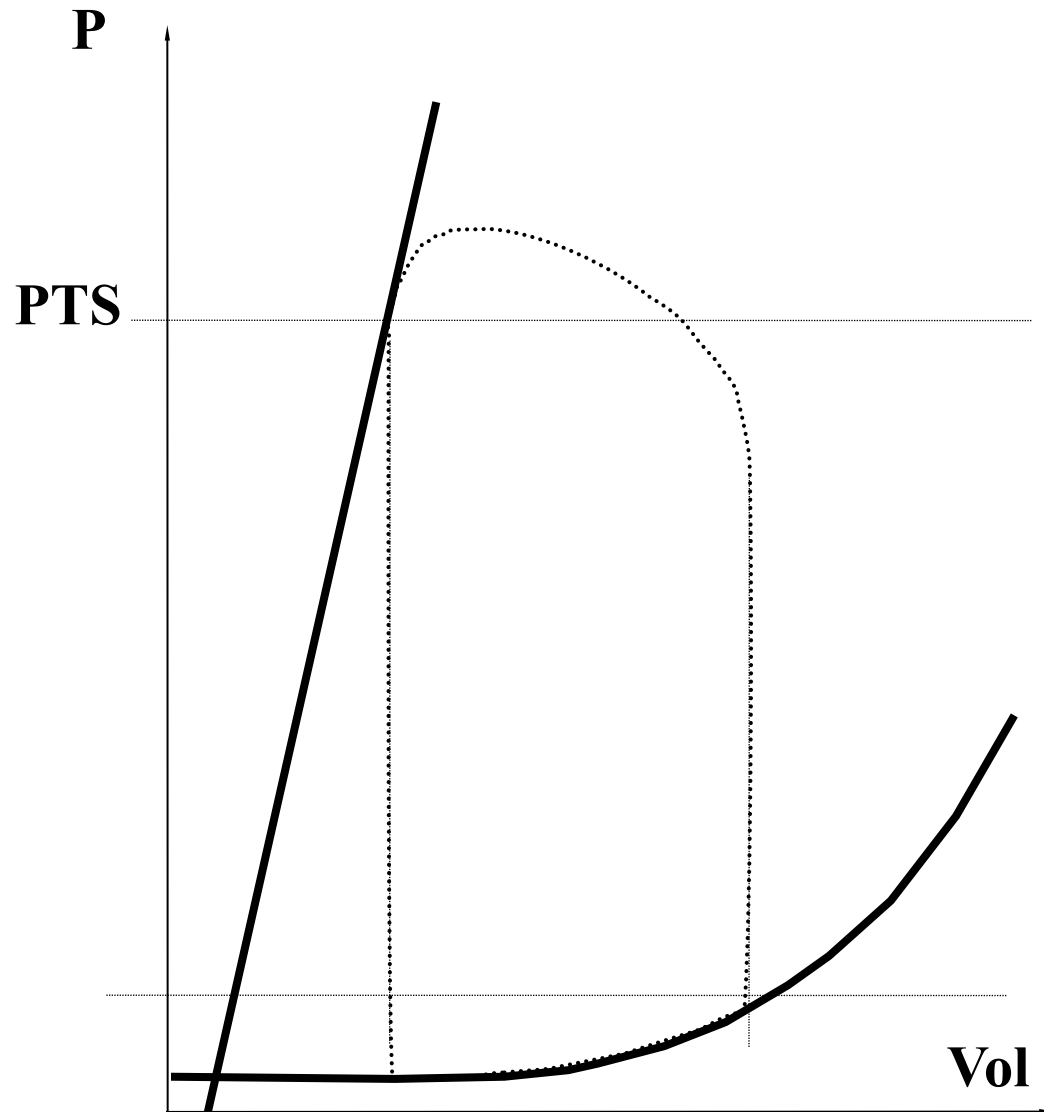
Loi de Starling : *rappel* $VES = VTD - VTS$



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

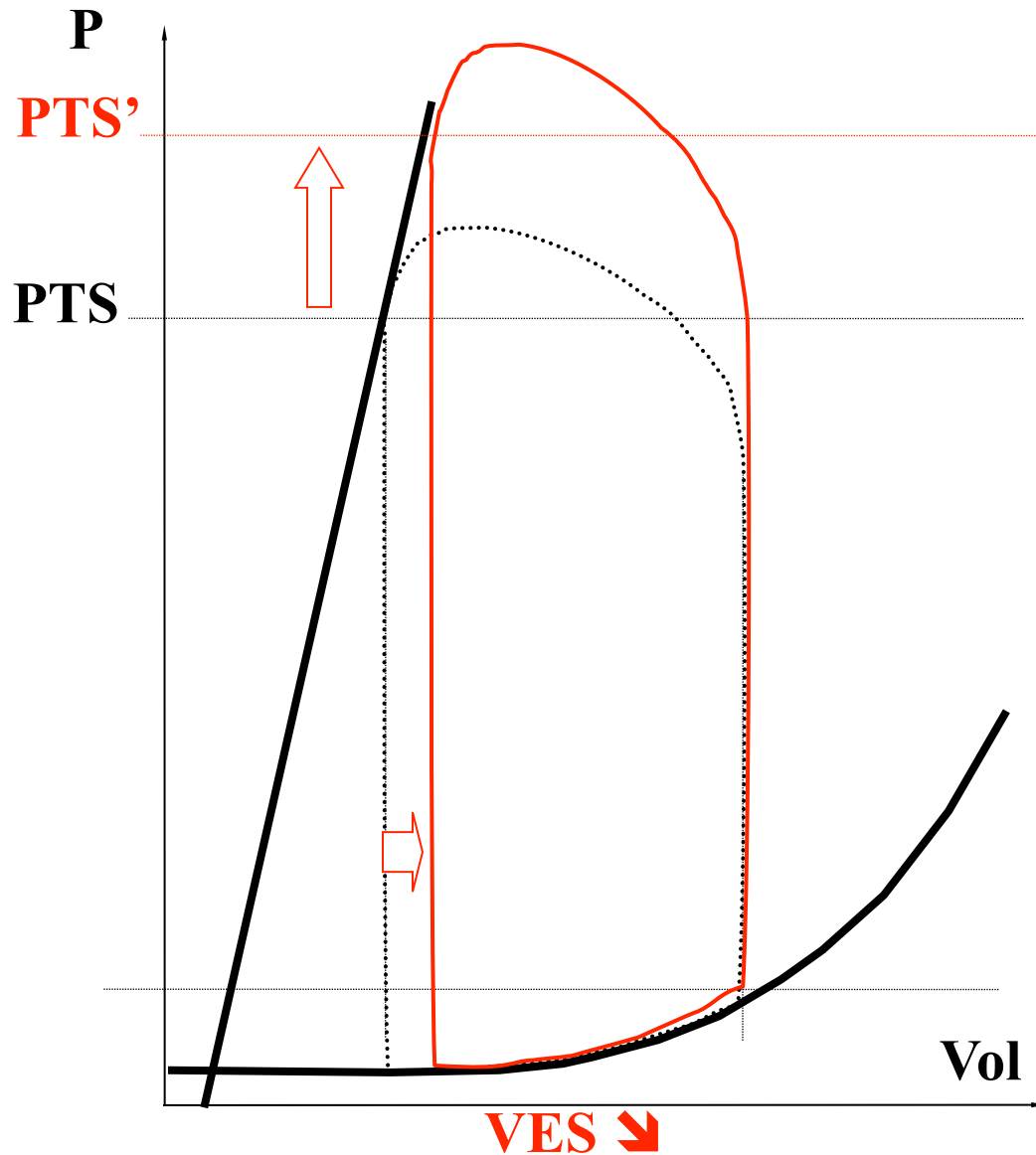
4- Postcharge ventriculaire

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



4- Postcharge ventriculaire

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



Postcharge ↗

VTs ↗

VES ↘

débit ↘

W_M et W_T ↗

5- Fréquence cardiaque

Agit directement et rapidement sur le débit :

$$\mathbf{D = FC \times VES}$$

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: $FC_{\max} = 220 - \text{âge}$