

# Biophysique cardiaque





# Sommaire

- ▶ **I – Hémodynamique intra-cardiaque**
  - ▶ A) Principe de fonctionnement
  - ▶ B) Courbes en fonction du temps et du volume
  - ▶ C) Méthodes d'exploration
- ▶ **II – Travail cardiaque**
  - ▶ A) Travail mécanique
  - ▶ B) Travail de mise en tension des fibres myocardiques
  - ▶ C) Travail total et rendement





# Sommaire 2

- ▶ **III – Déterminants de la performance ventriculaire**
- ▶ A) Contractilité
- ▶ B) Compliance
- ▶ C) Pré-charge ventriculaire
- ▶ D) Post-charge ventriculaire
- ▶ E) Fréquence cardiaque



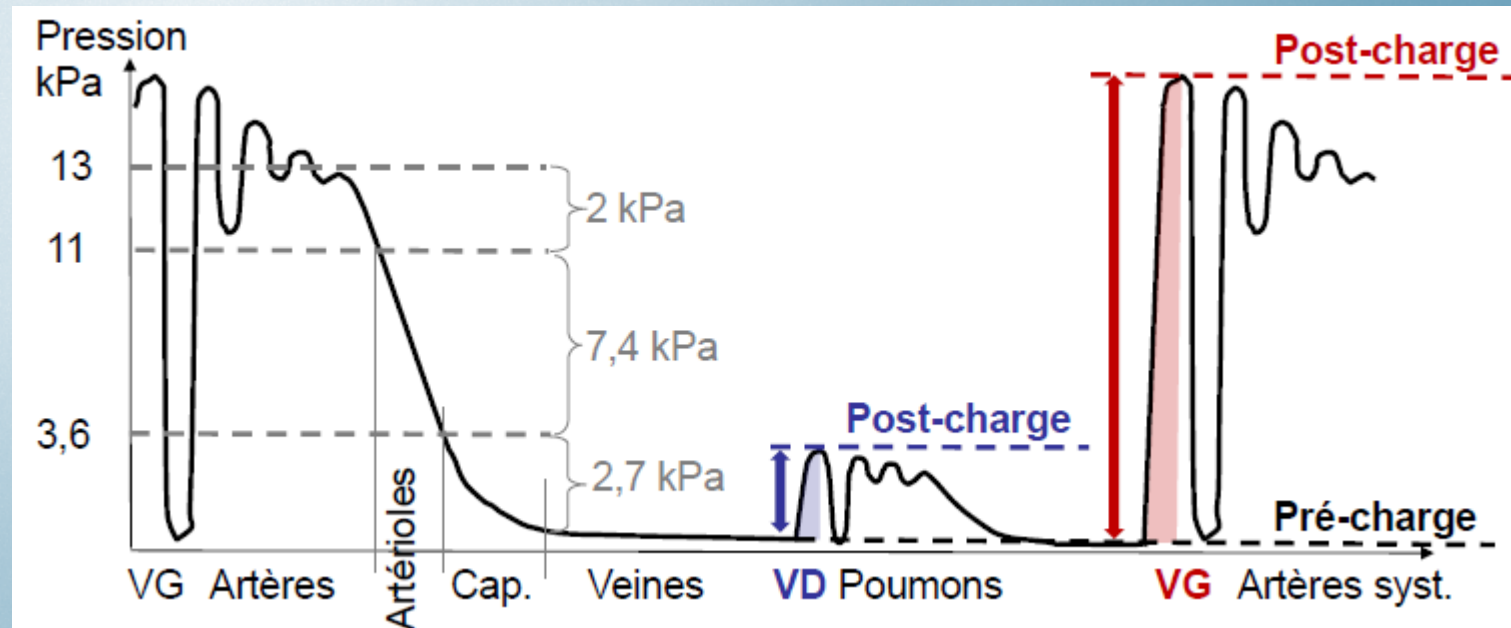


# I – Hémodynamique intracardiaque

## A) Principe de fonctionnement

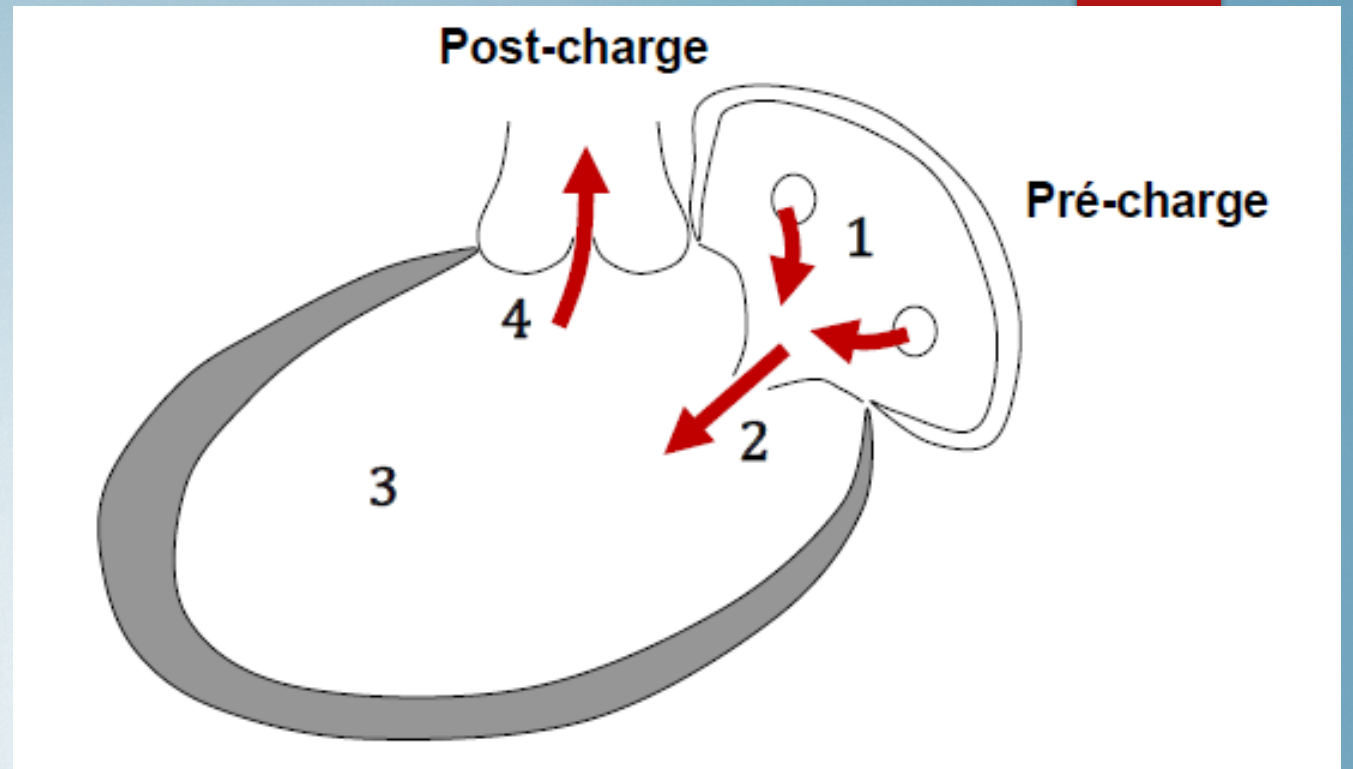
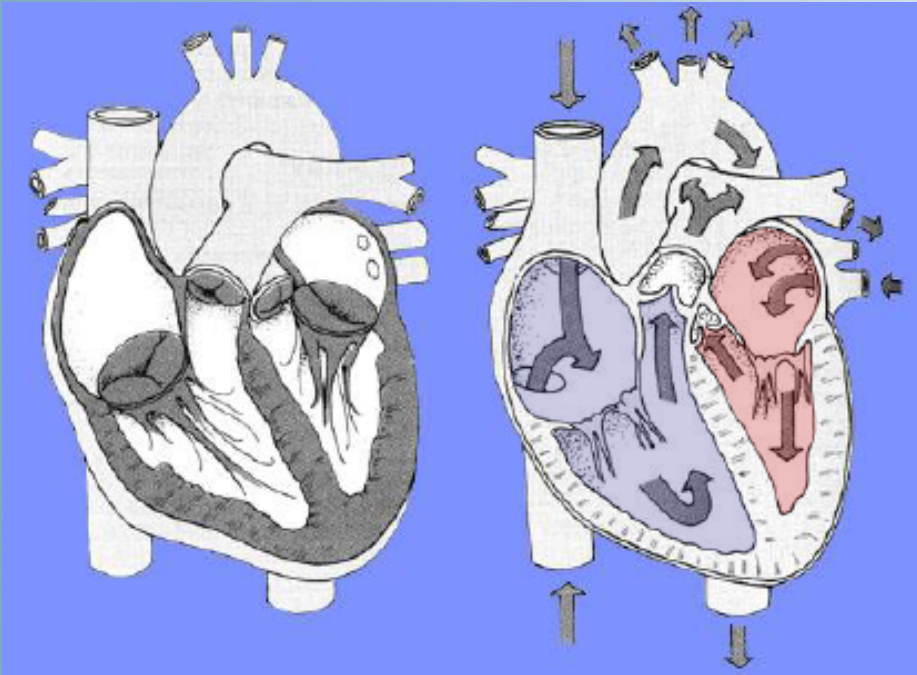
- ▶ Le cœur est constitué de **deux pompes en série** (les **ventricules**) qui permettent de **compenser la diminution de pression** (perte de charge) entre le secteur veineux (**pré-charge**) et le secteur artériel (**post-charge**).

- ▶ **Pré-charge** = 1 kPa
- ▶ **Post-charge** :
  - ▶ - pulmonaire = 2,6 kPa
  - ▶ - systémique = 10 kPa (aorte)





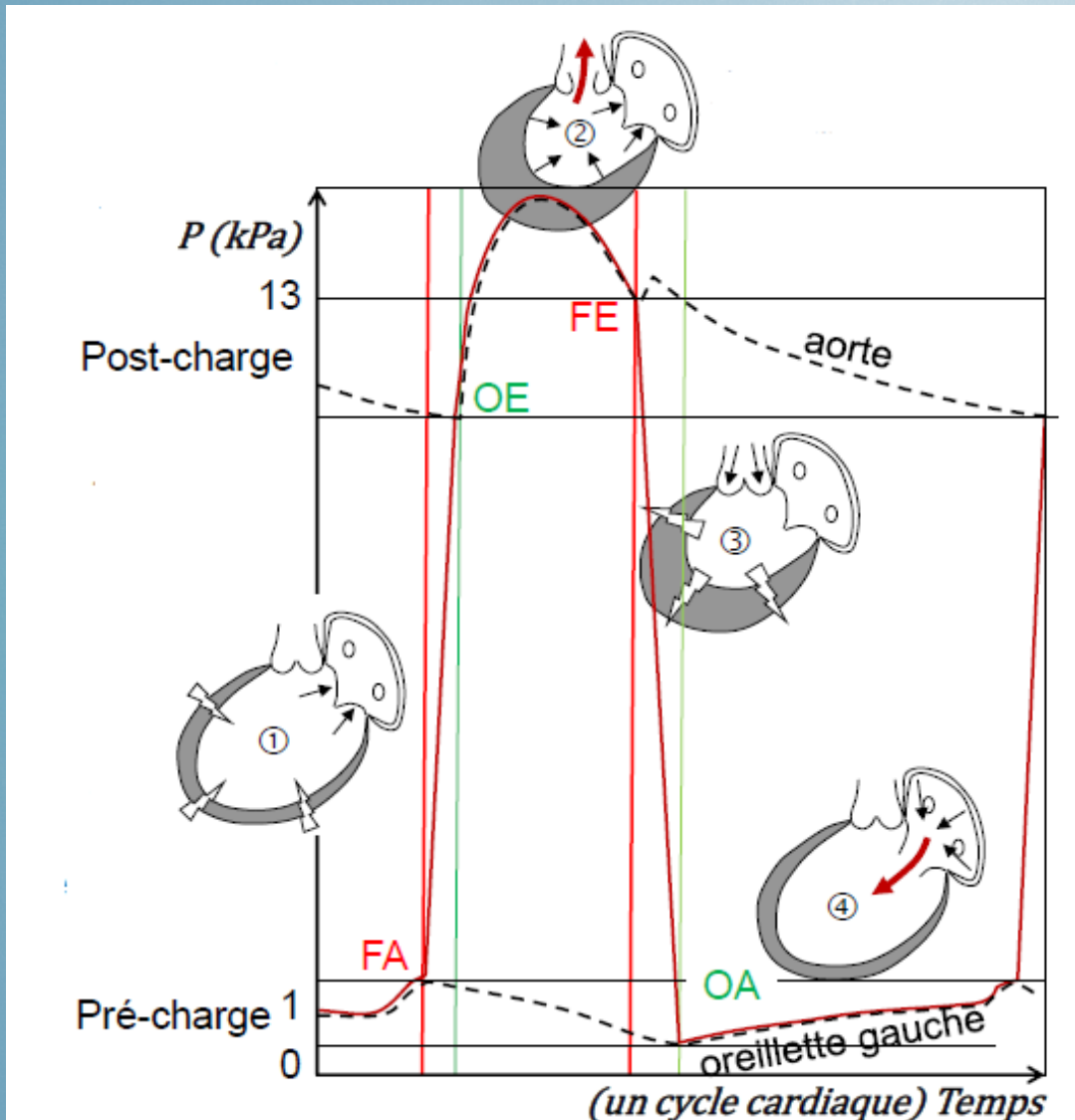
# Anatomie :



- ▶ 1 : chambre d'**admission** basse pression (atrium)
- ▶ 2 : valve d'admission (tricuspide à droite, mitrale à gauche)
- ▶ 3 : chambre de **chasse** (ventricule)
- ▶ 4 : valve d'éjection (pulmonaire à droite, aortique à gauche)
- ▶ Les valves sont normalement **unidirectionnelles**.



# B) Courbes en fonction du temps et du volume



## ▶ Courbe pression/temps

### ▶ **Jeu des valves:**

**FA** : fermeture valve d'admission (mitrale)

**OE** : ouverture valve d'éjection (aortique)

**FE** : fermeture valve d'éjection

**OA** : ouverture valve d'admission

### ▶ **Comportement du ventricule :**

1 : Contraction **isovolumétrique** (entre FA et OE)

2 : **Ejection** (entre OE et FE)

3 : Relaxation **isovolumétrique** (entre FE et OA)

4 : **Remplissage** diastolique (entre OA et FA)



► Courbe volume/temps :

► 1 : Contraction isovolumétrique

► 2 : Ejection

Le volume diminue jusqu'au **volume téléstolique VTS = 50 mL**.

► 3 : Relaxation isovolumétrique

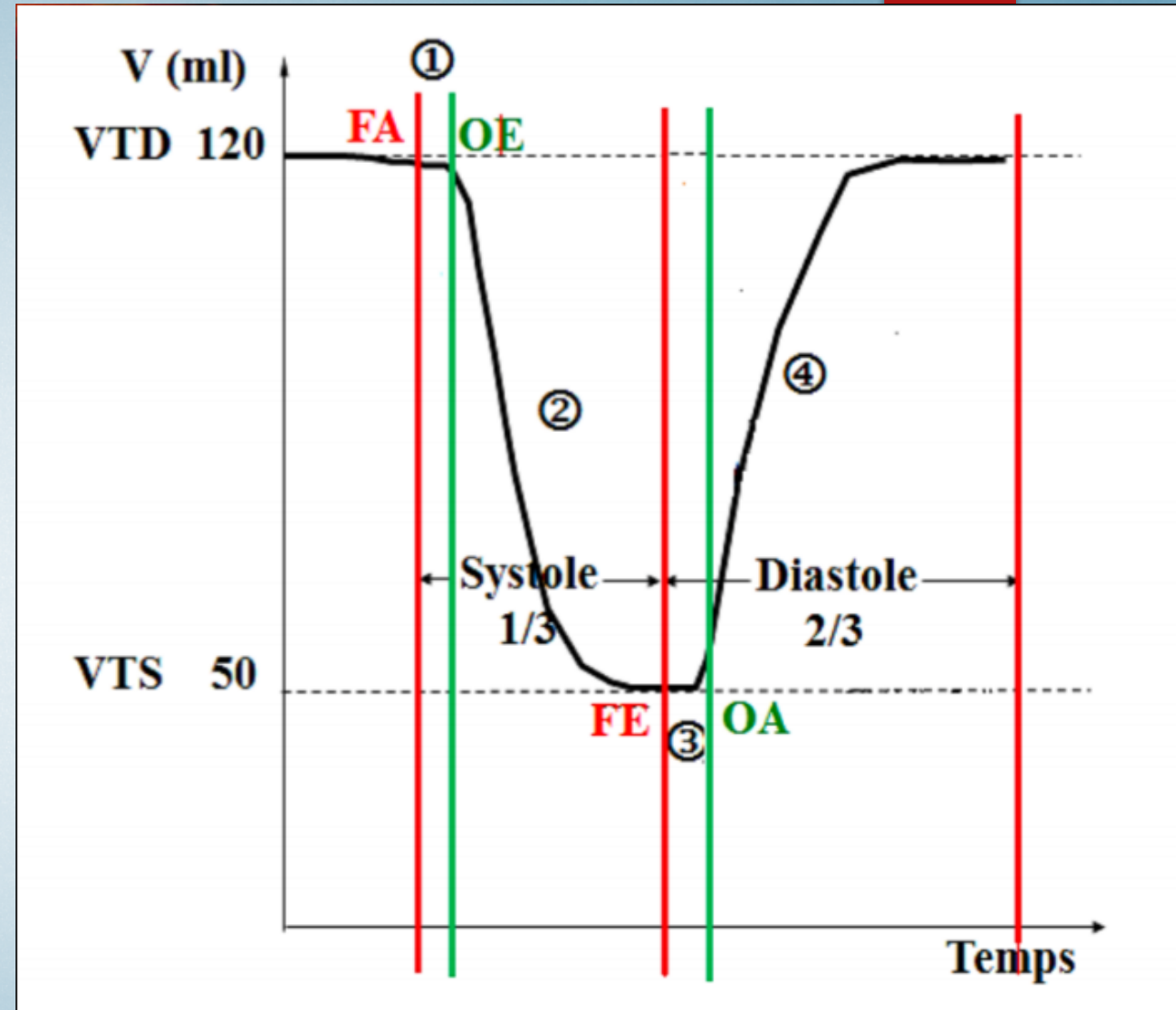
► 4 : Remplissage diastolique

Le volume augmente jusqu'au **volume télédiastolique VTD = 120 mL**.

**Volume d'éjection systolique :**

$$VES = VTD - VTS = 70 \text{ mL}$$

**Fraction d'éjection FE = VES/VTD = 60%**





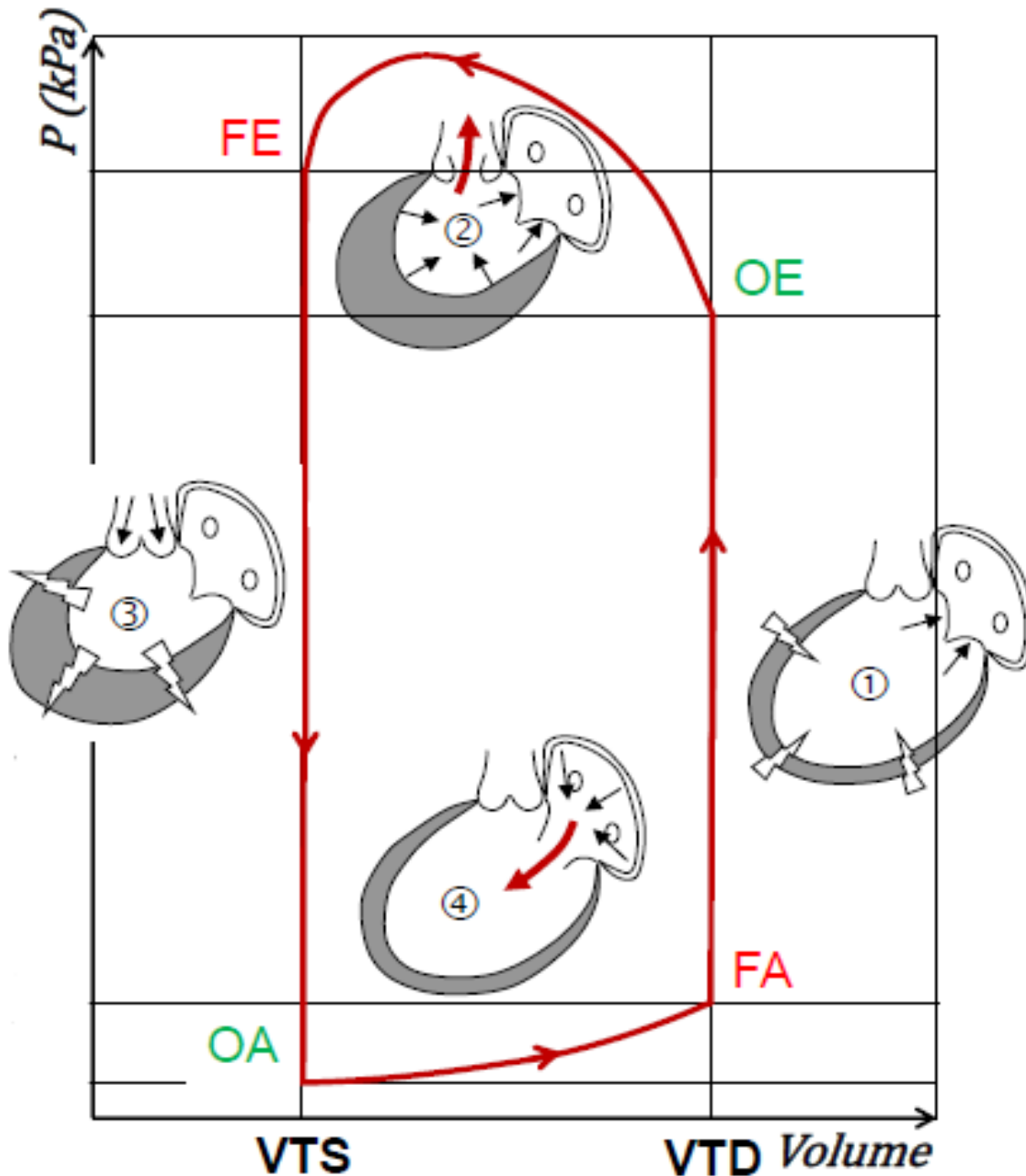
**Systole** = contraction isovolumétrique + éjection (de FA à FE)

**1/3** de la durée d'une contraction

**Diastole** = relaxation isovolumétrique + remplissage (de FE à FA)

**2/3** de la durée d'une contraction





► Courbe pression/volume +++:

► **FE** : PTS / VTS

► **FA** : PTD / VTD

► 1 : **Contraction isovolumétrique**

► 3 : **Relaxation isovolumétrique**





Le volume ne change pas, seule la pression varie (parties verticales).

► 2 : **Ejection** : Le volume diminue et la pression augmente légèrement.

► 4 : **Remplissage** : Le volume augmente et la pression augmente légèrement.



# Récap♥ :

SYSTOLE (1/3)	<ul style="list-style-type: none"><li>➔ après fermeture de la valve d'admission (<b>FA</b>) = « <b>TOUM</b> »</li><li>➔ volume constant</li><li>➔ augmentation de la pression</li></ul>	
	<b>② EJECTION</b>	
	<ul style="list-style-type: none"><li>➔ après ouverture de la valve d'éjection (<b>OE</b>), à partir du moment où la pression ventriculaire &gt; pression aortique</li></ul>	
DIASTOLE (2/3)	<b>③ RELAXATION ISOVOLUMETRIQUE</b>	
	<ul style="list-style-type: none"><li>➔ après fermeture de la valve d'éjection (<b>FE</b>) = « <b>TA</b> »</li><li>➔ volume constante</li><li>➔ diminution de la pression</li></ul>	
	<b>④ REMPLISSAGE</b>	
	<ul style="list-style-type: none"><li>➔ après ouverture de la valve d'admission (<b>OA</b>) à partir du moment où la pression atriale &gt; pression ventriculaire</li></ul>	



# C) Méthodes d'exploration

## ► Physiologiquement :

Bruits normaux du cœur = bruit des valves **qui se ferment**.

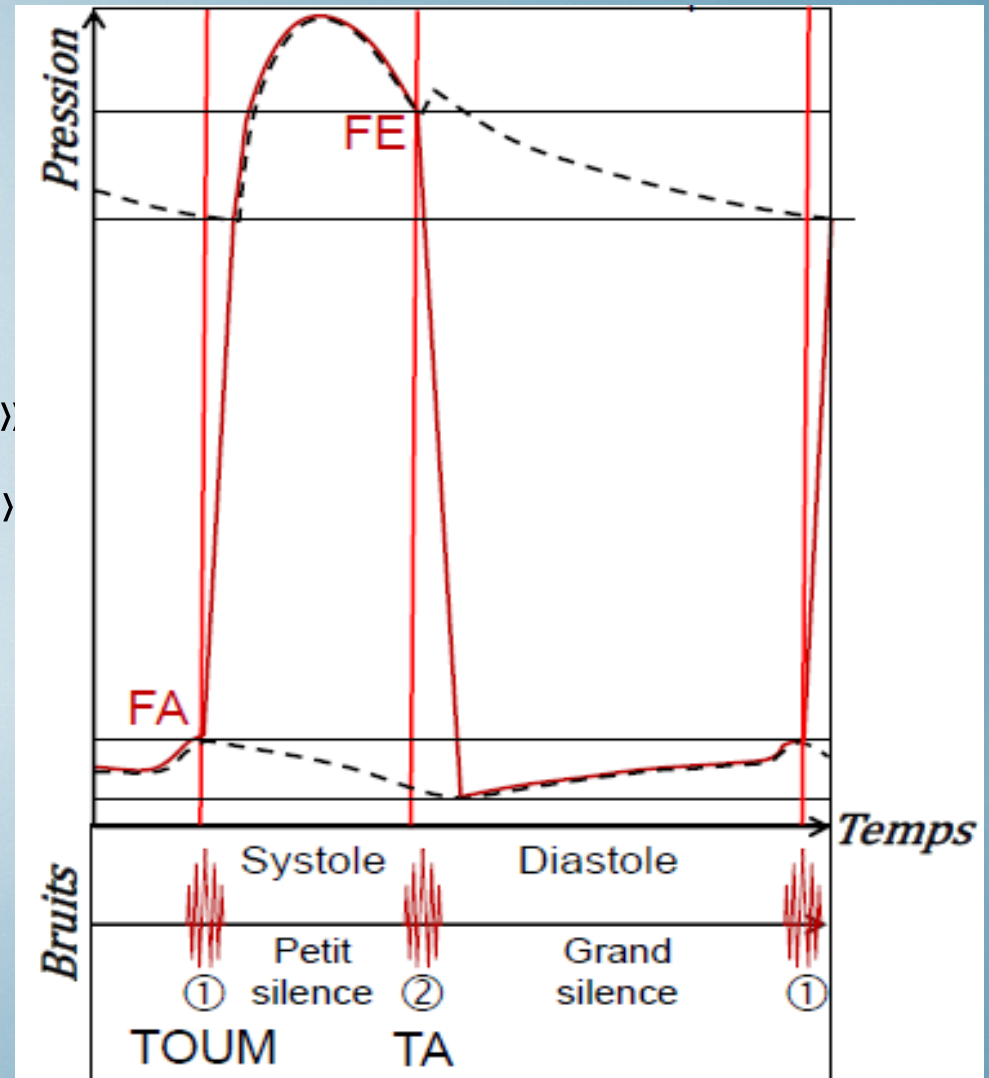
► **Admission** (mitrale et tricuspide) : premier bruit « **TOUM** »

► **Ejection** (pulmonaire et aortique) : deuxième bruit « **TA** »

► Séquence :

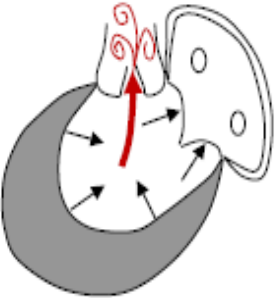

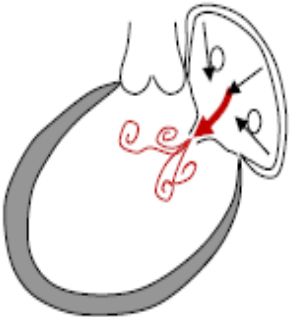
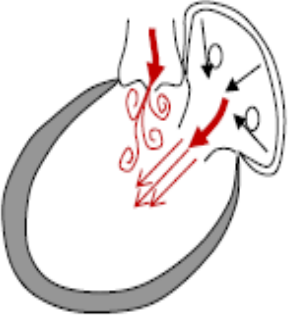
**TOUM – Systole – TA – Diastole**

Cœur droit et gauche **synchrones**, sinon possible dédoublement des bruits.





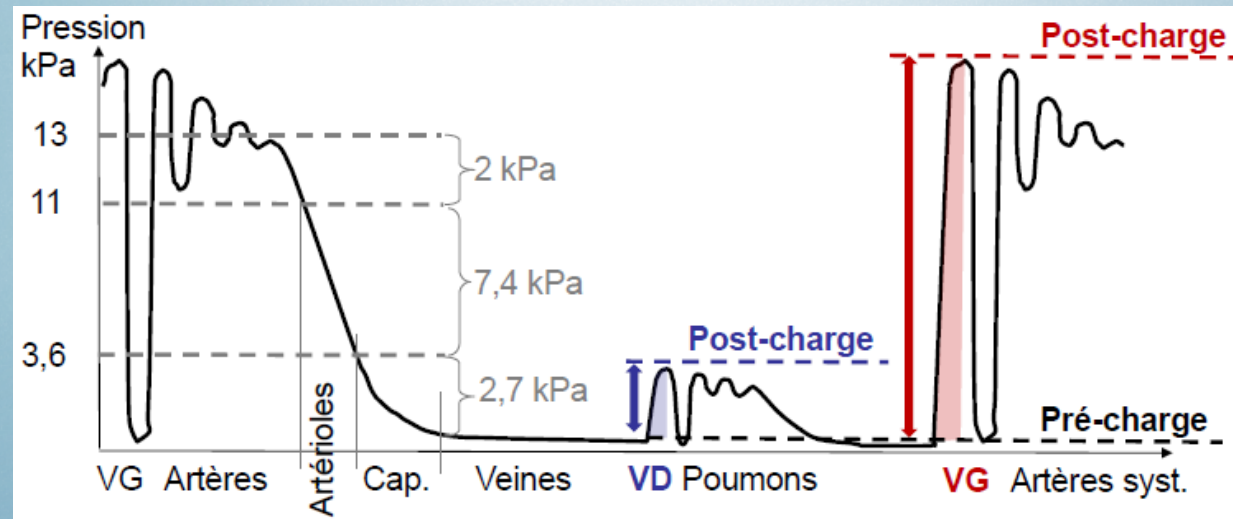
► **Ecoulement turbulent pathologique :**

	Rétrécissement = sténose	Fuite = insuffisance
Souffle systolique (entre le TOUM et le TA)	<p>rétrécissement aortique</p> 	<p>fuite mitrale</p> 
Souffle diastolique (entre le TA et le TOUM)	<p>rétrécissement mitral</p> 	<p>fuite aortique</p> 



## II - Travail cardiaque

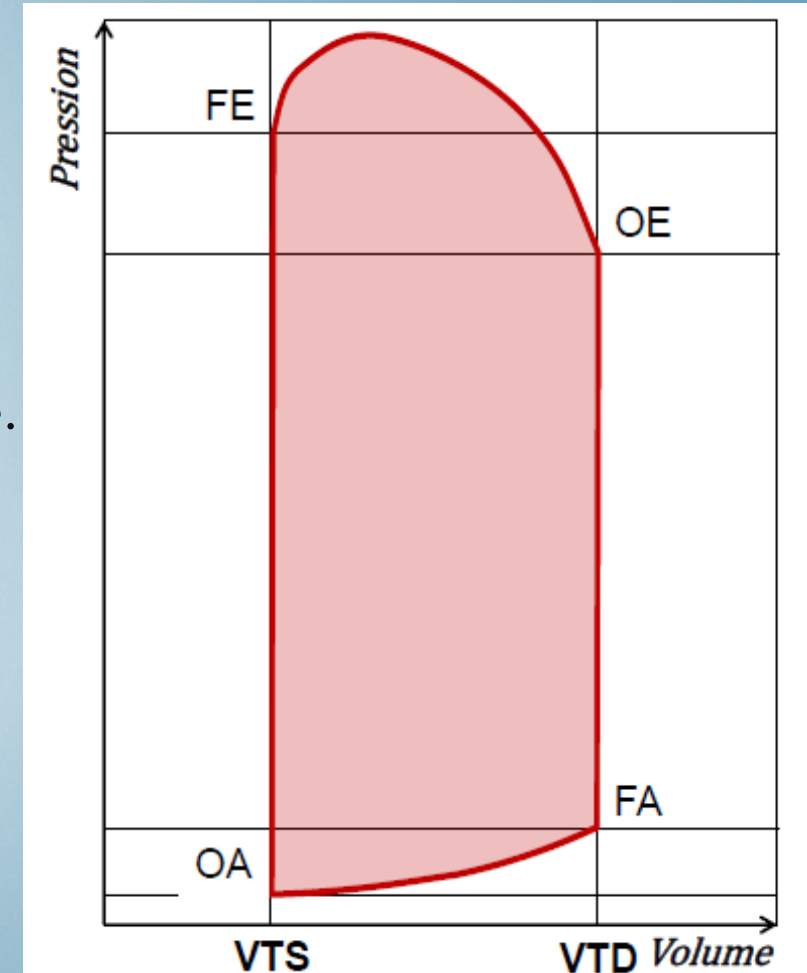
- ▶ Le coeur doit fournir un travail mécanique pour **compenser les pertes de charges**.
- ▶ Ce travail mécanique est la conséquence d'un **travail de mise en tension** des tissus myocardiques.





# A – Travail mécanique

- ▶ Il est lié à l'énergie de montée en pression :
- ▶  $W_m = P \times V$
- ▶ Il est proportionnel à **l'aire de la boucle pression/volume**.





# B – Travail de mise en tension

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

*T = tension pariétale*

*t = temps*

*$\alpha$  = coefficient de proportionnalité*

- ▶ Loi de Laplace appliquée au myocarde :

$$T = \frac{\Delta P \times r}{e}$$

*e = épaisseur*

- ▶ Lorsque la pression augmente :

→ l'augmentation de l'**épaisseur** (hypertrophie myocardique) peut compenser

→ l'augmentation du **rayon** (dilatation) qui survient ensuite aggrave



# C – Travail total et rendement

► Travail total :  $W = W_M + W_T$

► Rendement =  $\frac{W_M}{W_M + W_T} = 5 \text{ à } 10 \%$

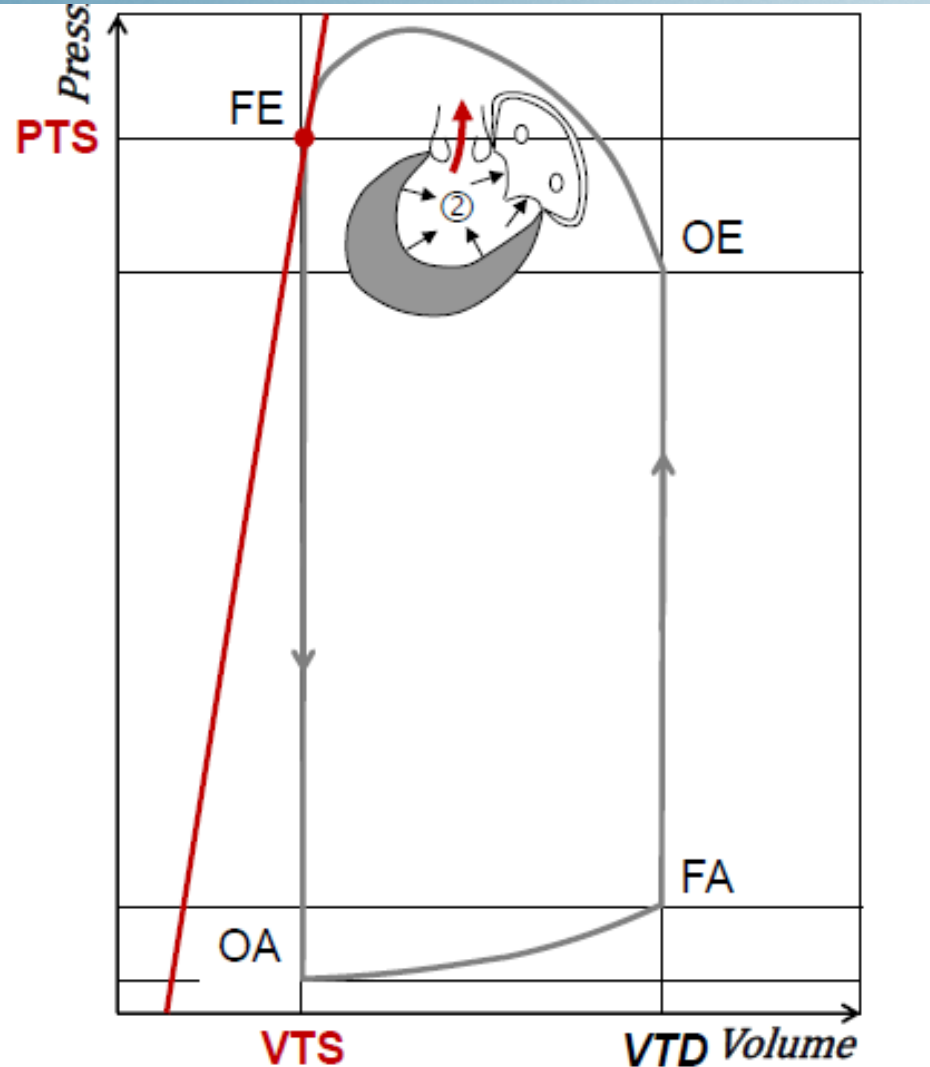


# III – Déterminants de la performance ventriculaire

- ▶ Performance ventriculaire = Capacité à assurer un **débit** circulatoire et des conditions de **pression** suffisantes pour répondre aux **besoins** de l'organisme avec un **travail minimum**.
- ▶ Débit :  $Q = VES \times \text{Fréquence cardiaque (FC)}$
- ▶ Pression :  $\Delta P = Q \times R$
- ▶ 5 paramètres : contractilité, compliance, pré-charge, post-charge, fréquence cardiaque.



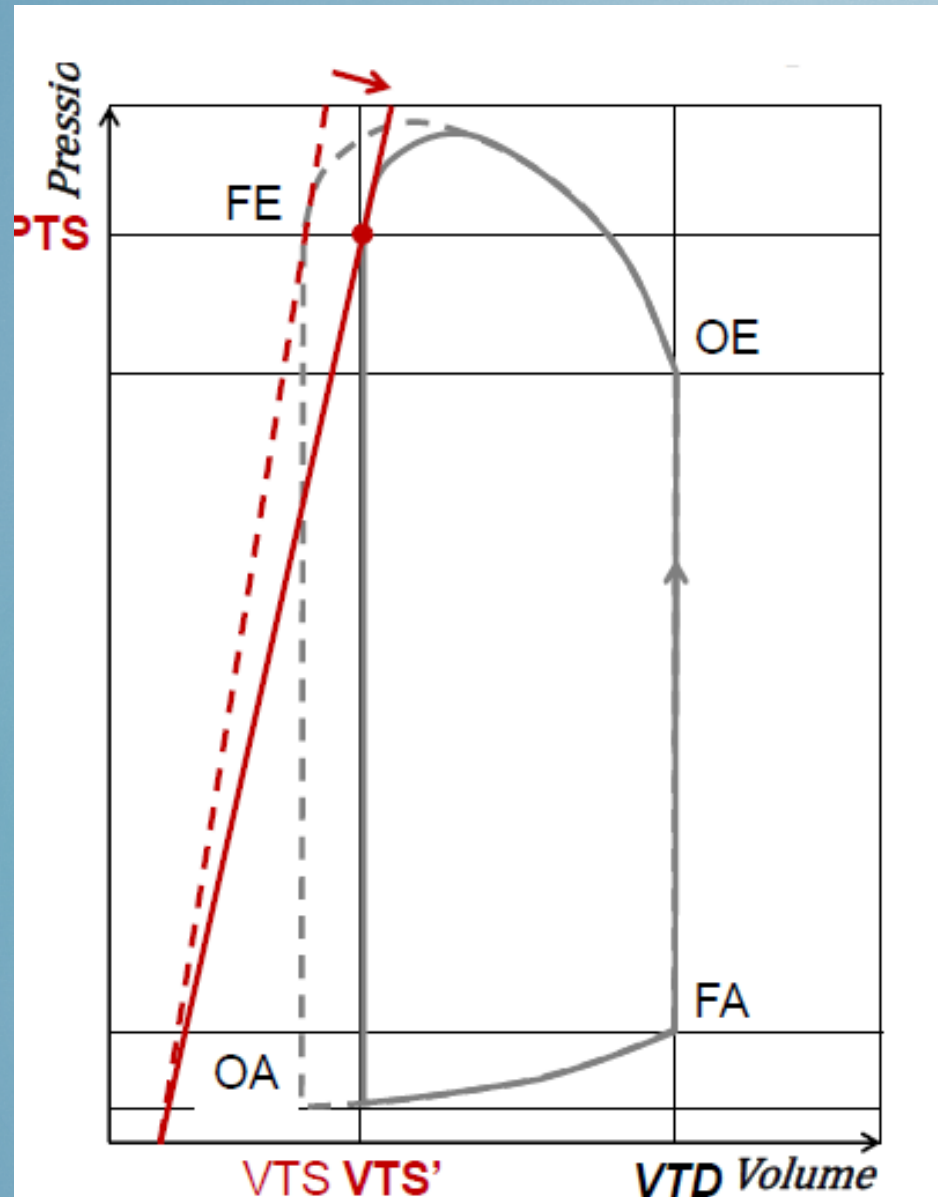
# A - Contractilité



→ Relation pression/volume **télésystolique** en fin d'éjection (FE).

- ▶ • Le **couple PTS/VTS** est défini par la contractilité du ventricule.
- ▶ • Selon les variations de pression et de volume, ce point se déplace sur une droite.
- ▶ • La contractilité  $c$  est la pente de cette droite :  $\text{PTS}(\text{VTS}) = c \times \text{VTS} - b$





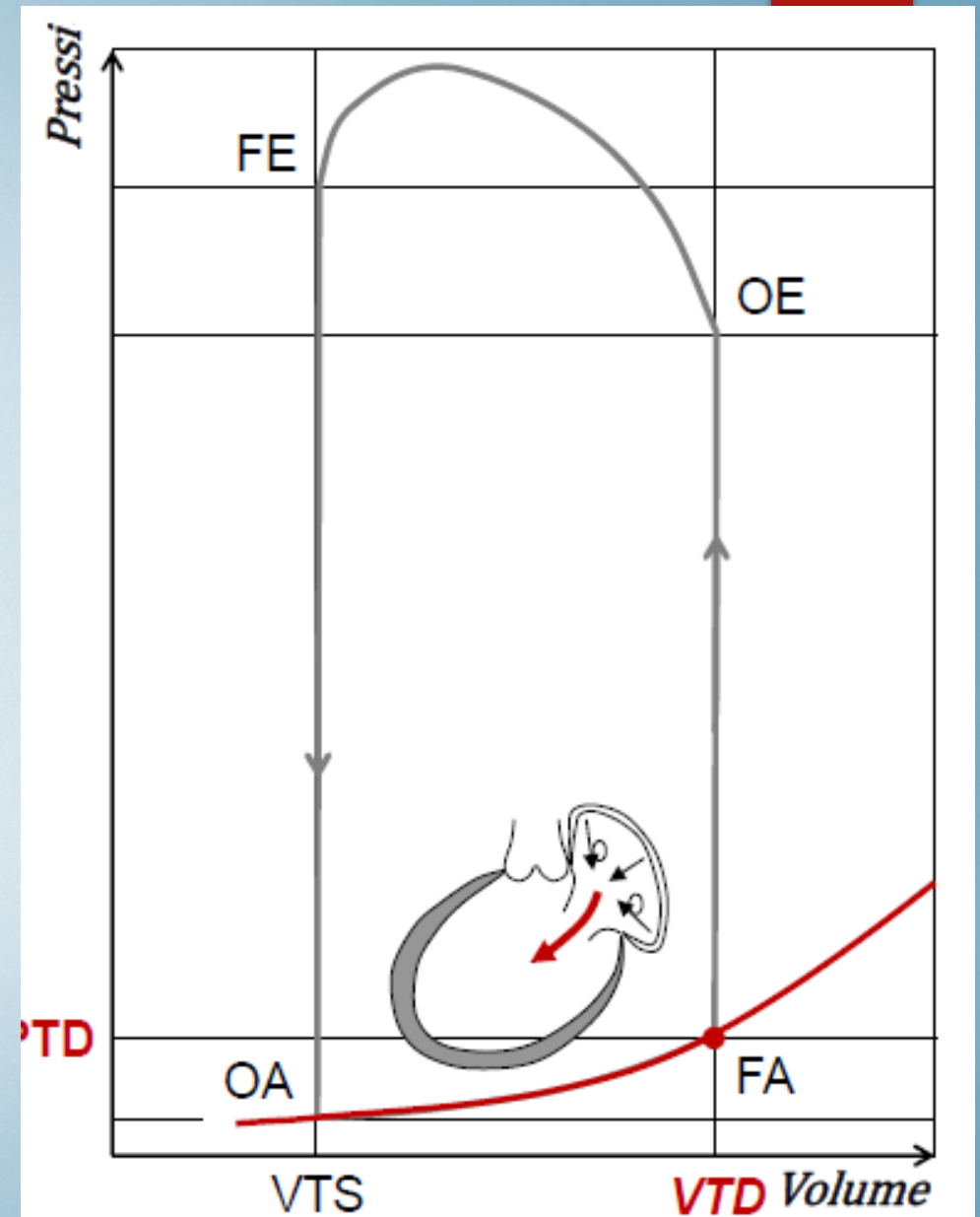
- ▶ La diminution de la contractilité  $c'$  induit un nouveau couple PTS/VTS' et une modification de la boucle pression/volume.
- ▶ La **pente diminue** et la PTS reste inchangée donc le VTS augmente et donc le VES diminue.
- ▶  $VTS \nearrow$
- ▶ Donc  $VES \searrow$
- ▶ Car  $VES = VTD - VTS$  et VTD ne change pas



# B - Compliance

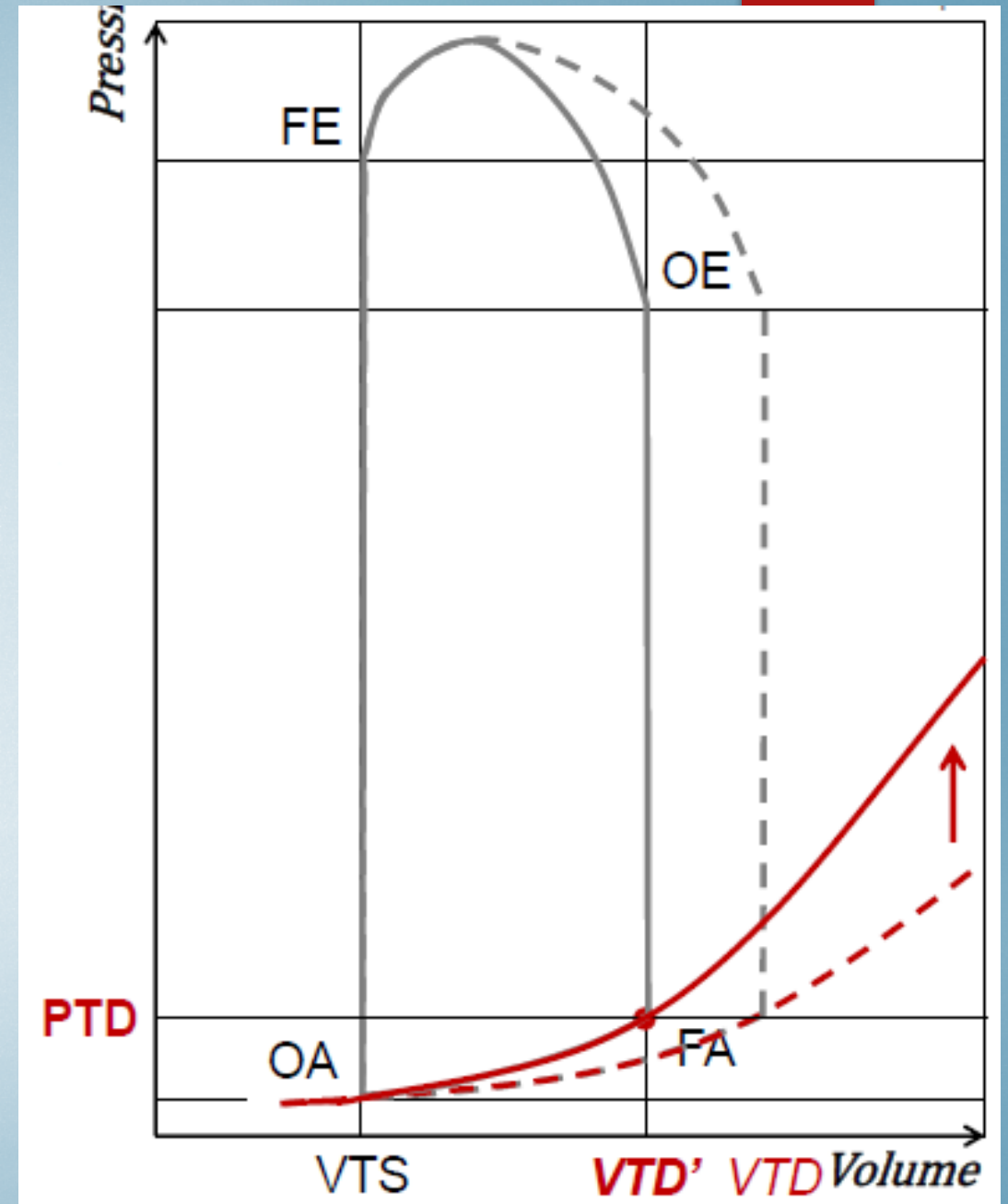
→ Relation pression/volume **télédiastolique** en fin de remplissage (FA).

- ▶ ● Le **couple PTD/VTD** est défini par la compliance du ventricule.
- ▶ ● Selon les variations de pression et de volume, ce point se déplace sur une courbe : c'est la **courbe de compliance** du ventricule.



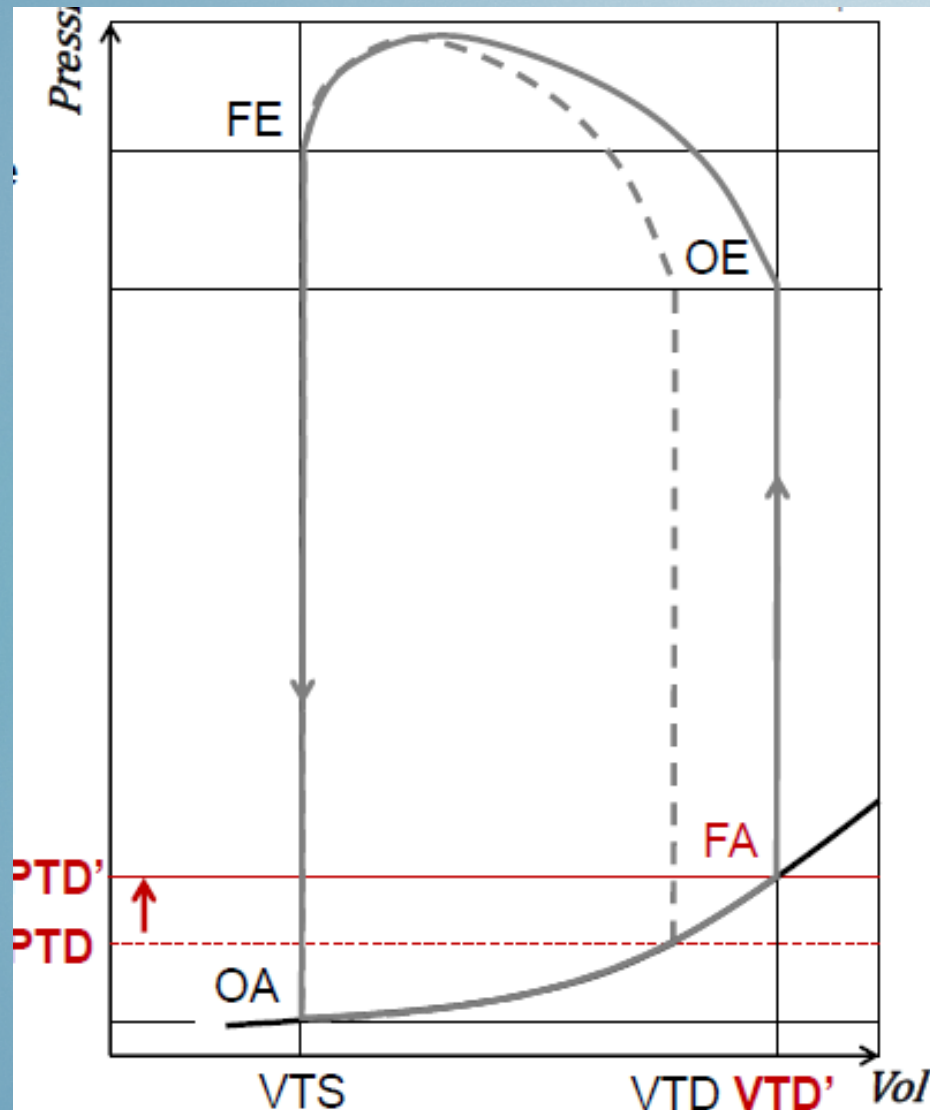


- ▶ La diminution de la compliance produit un nouveau couple PTD/VTD' et modifie la boucle pression/volume.
- ▶ La **courbe monte** et la PTD ne change pas donc le VTD diminue et le VES diminue.
- ▶  $VTD \searrow$
- ▶ Donc  $VES \searrow$





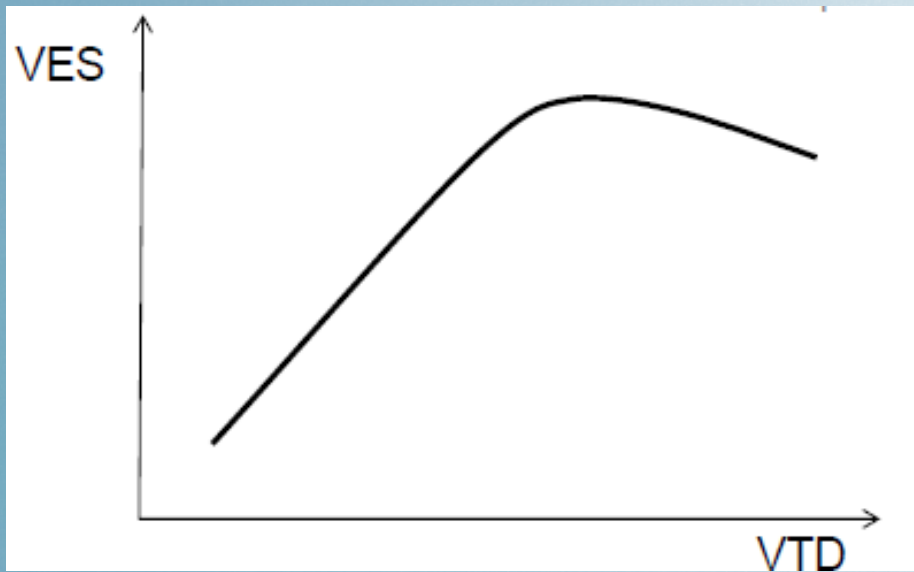
# C – Pré-charge ventriculaire



- ▶ → Pression du **retour veineux**
- ▶ Si PTD augmente, la boucle se modifie suivant la **courbe de compliance**.
- ▶ Nouvelle pression de fermeture de la valve d'admission **FA**.
- ▶ VTD augmente donc VES augmente.
- ▶ WM augmente car la surface sous la boucle a augmenté.
- ▶ **VTD ↗**
- ▶ **VES ↗**
- ▶ **WM ↗**



# Loi de Starling : relation VTD / VES



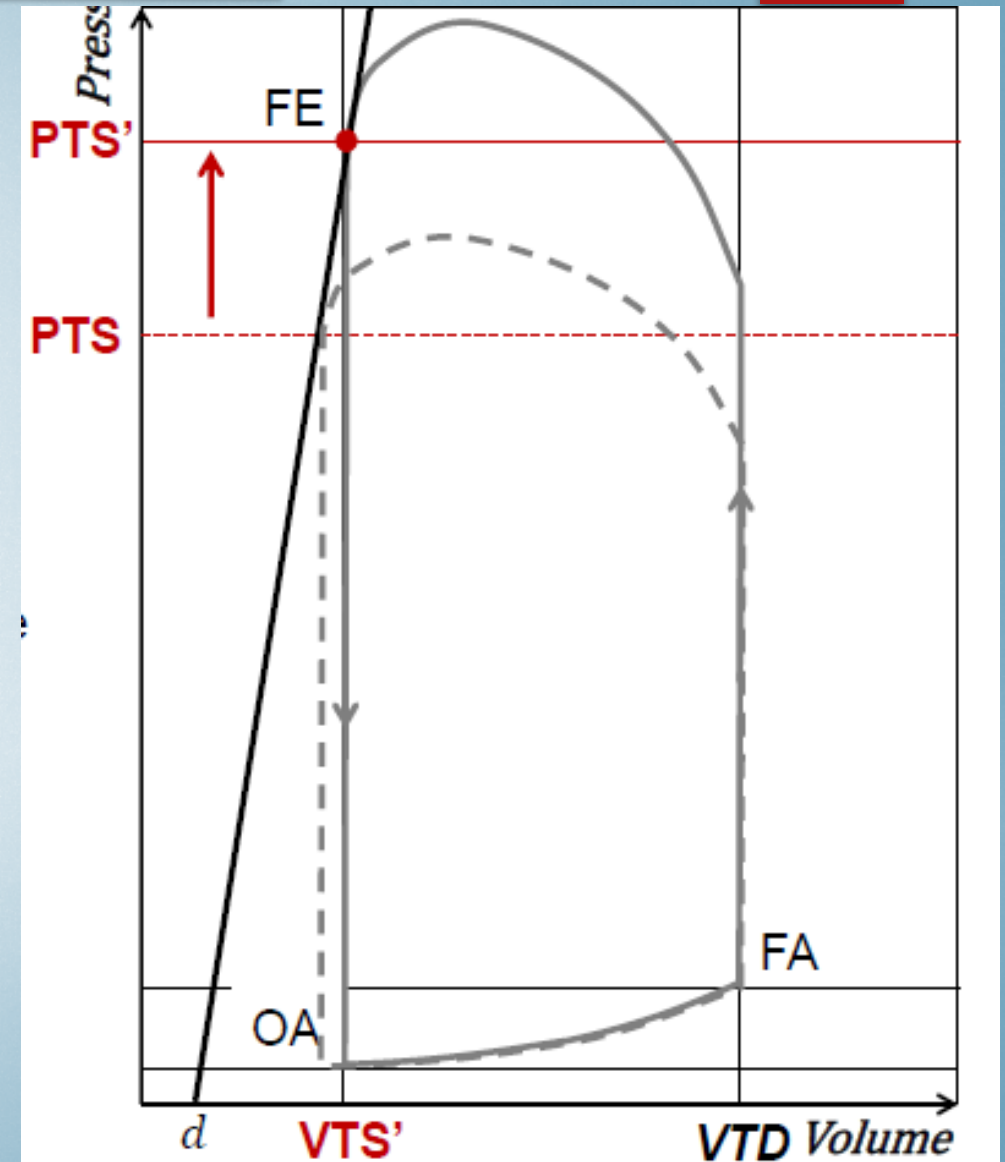
- ▶ Le VES augmente linéairement avec le VTD jusqu'à un étirement maximum.
- ▶ Il y a une limite : si le VTD devient trop élevé, le cœur n'arrive pas à éjecter plus de sang.



# D – Post-charge ventriculaire

→ Pression en sortie du ventricule = **PTS**, liée aux **résistances** ( $\Delta P = RQ$ )

- ▶ Si PTS augmente, la boucle pression/volume se modifie en suivant la **droite de contractilité**.
- ▶ Nouvelle pression de fermeture de valve d'éjection **FE**.
- ▶ VTS augmente donc VES diminue.
- ▶ **WM augmente.**
- ▶ **VTS** ↗ donc **VES** ↘
- ▶ **WM** ↗





# E – Fréquence cardiaque

→ Nombre de contractions ventriculaires par seconde.

- ▶ • Agit directement sur le débit :  $Q = FC \times VES$
- ▶ • Permet une **adaptation rapide**
- ▶ • Fréquence maximale théorique :  $FC_{max} = 220 - \text{âge}$
- ▶ • Quand FC augmente, le travail cardiaque par unité de temps augmente.





*The End*