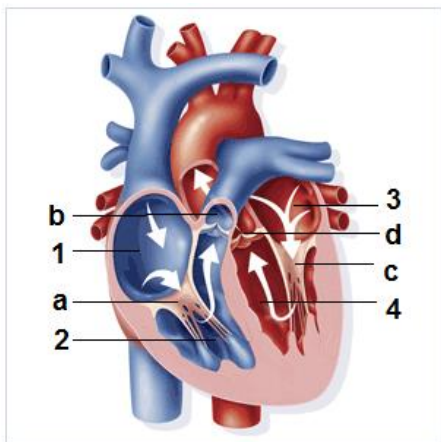


## I- Généralités



### Cavités cardiaques :

- 1- Atrium/oreillette D
- 2- Ventricule D
- 3- Atrium/oreillette G
- 4- Ventricule G

Atrium = chambre d'admission

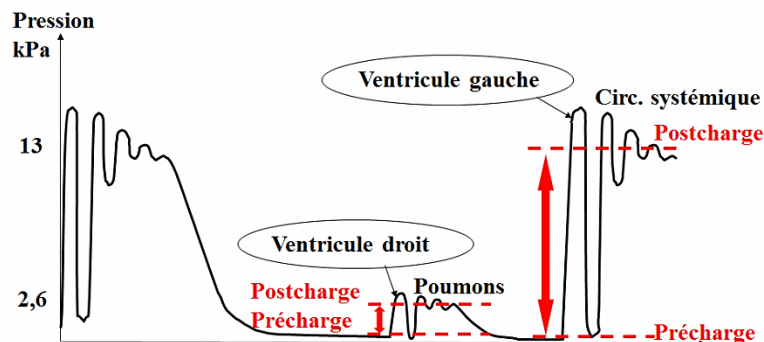
Ventricule = chambre de chasse

### Valves (unidirectionnelles !)

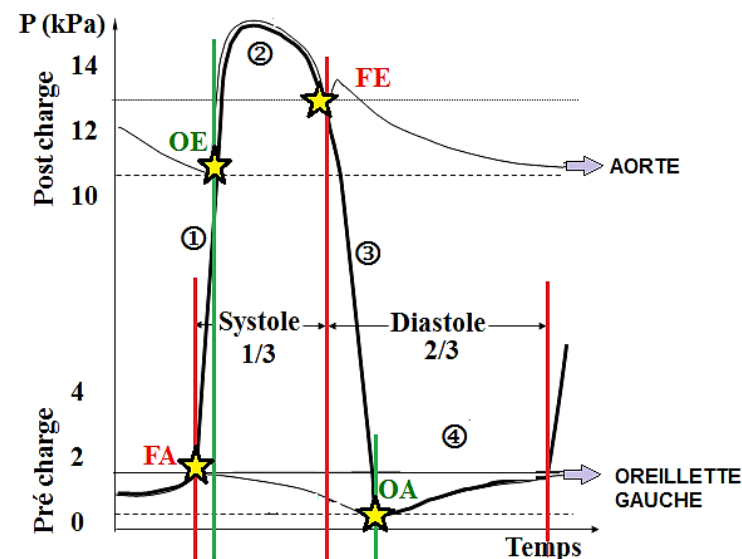
- a- **Tricuspidé** (à Droite)
- b- Sigmoïde pulmonaire
- c- **Mitrale** (à Gauche)
- d- Sigmoïde aortique

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 (**précharge**) et le secteur artériel (**postcharge**).

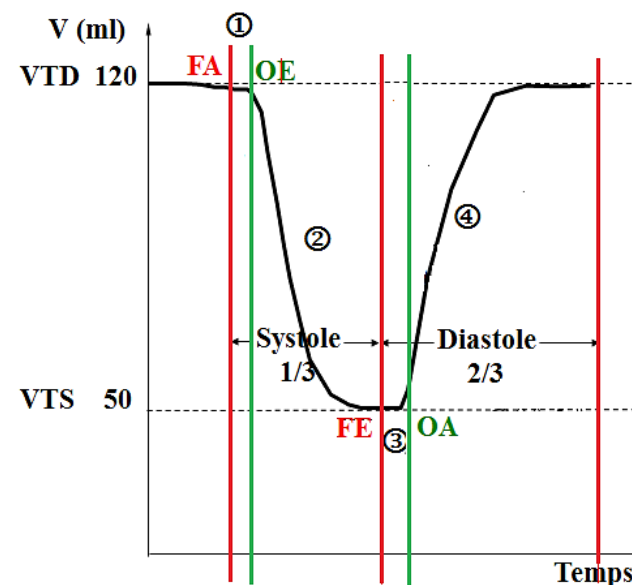
- La **précharge** vaut **1 kPa** à l'arrivée dans les ventricules (quel qu'il soit)
- La **postcharge** varie en fonction du ventricule :
  - ⇒ Postcharge **systémique** = **13 kPa** au niveau de **l'aorte**
  - ⇒ Postcharge **pulmonaire** = **2.6 kPa** au niveau des **artères pulmonaires**






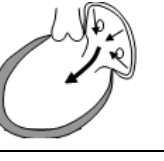
### Courbes pression-temps

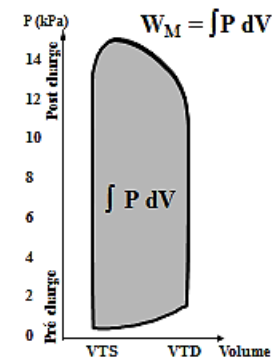
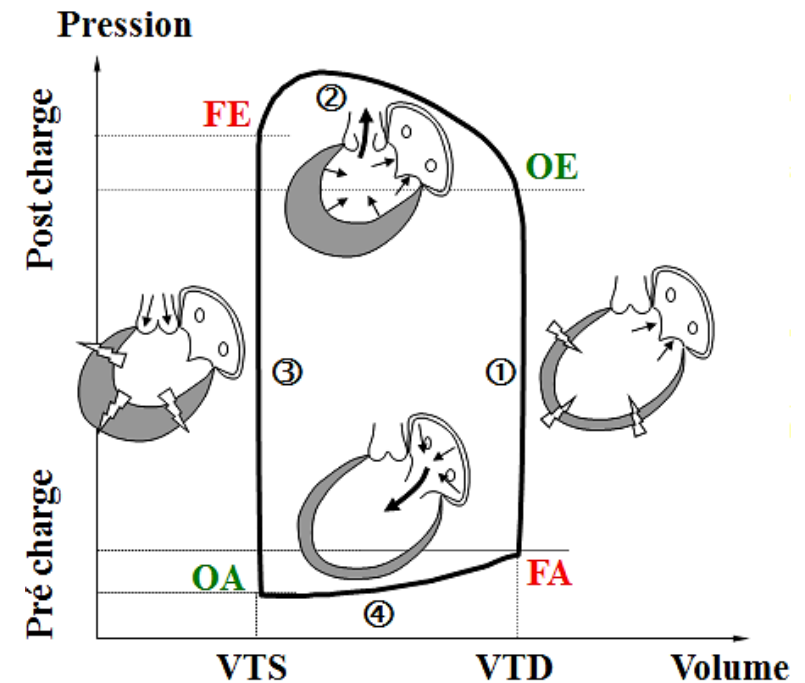


### Courbes volume-temps :



Cycle cardiaque du ventricule Gauche :

SYSTOLE (1/3)	<b>❶ CONTRACTION ISOVOLUMETRIQUE</b> → après fermeture de la valve d'admission ( <b>FA</b> )= « <b>TOUM</b> » → volume constant → augmentation de la pression	
	<b>❷ EJECTION</b> → après ouverture de la valve d'éjection ( <b>OE</b> ), à partir du moment où la pression ventriculaire > pression aortique	
DIASTOLE (2/3)	<b>❸ RELAXATION ISOVOLUMETRIQUE</b> → après fermeture de la valve d'éjection ( <b>FE</b> ) = « <b>TA</b> » → volume constante → diminution de la pression	
	<b>❹ REMPLISSAGE</b> → après ouverture de la valve d'admission ( <b>OA</b> ) à partir du moment où la pression atriale > pression ventriculaire	

**VTD = Volume Télédiastolique = 120 mL**⇒ volume **maximal**, présent dans le ventricule à la fin du remplissage**VTS = Volume Télésystolique = 50 mL**⇒ volume **minimum** présent dans le ventricule à la fin de l'éjection➤ **Courbe pression-volume au niveau du ventricule Gauche (+++):**➤ **Travail cardiaque****Travail mécanique :**  $W_M = P \times V$  (c'est la surface grisée de la courbe P-V)**Travail de mise en tension du muscle cardiaque :**  $W_T$   
La loi de Laplace donne la charge  $T$  (tension pariétale) contre laquelle les  $\ell$  du myocarde doivent se contracter :

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

$P$  = pression  
 $r$  = rayon  
 $e$  = épaisseur

**Travail total :**  $W = W_M + W_T$ Le **rendement cardiaque** est donné par :  $\frac{W_M}{W_M + W_T} = 5 \text{ à } 10 \%$

## II- Méthode d'étude de l'hémodynamique cardiaque

### ➤ L'AUSCULTATION

En physiologie : les bruits normaux du ♥ correspondent aux **FERMETURES** des valves :

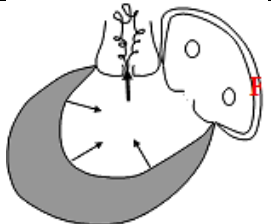
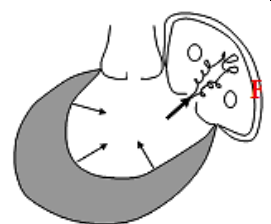
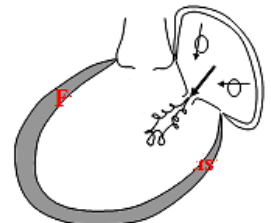
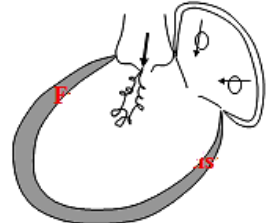
- **d'admission** (tricuspide ou mitrale) = **TOUM** (premier bruit)
- **d'éjection** (pulmonaire ou aortique) = **TA** (deuxième bruit)

Les cœurs droits et gauches sont synchrones, sinon, dédoublement des bruits.

On obtient la séquence suivante :

**TOUM – systole (petit silence) – TA – Diastole (grand silence)**

En pathologie : on peut entendre des **souffles cardiaques** qui correspondent à un **écoulement turbulent** (donc anormal) de sang au niveau des valves.

	RETRECISSEMENT	FUITE
SYSTOLE (TOUM-TA)	 Valves aortique ou pulmonaire	 Valves mitrale ou tricuspide
DIASTOLE (TA- TOUM)	 Valves mitrale ou tricuspide	 Valves aortique ou pulmonaire

### ➤ MESURE DES PRESSIONS INTRA-CARDIAQUES

Par **cathétérisme** artériel et montée de sondes manométriques

### ➤ MESURE DES VOLUMES

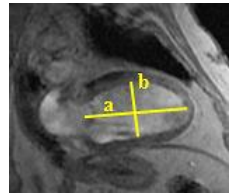
L'**échographie**, l'**IRM** (en séquences dynamiques) et le **cathétérisme** (avec injection d'un produit de contraste puis clichés RX dynamiques) permettent d'estimer :

- le volume d'éjection systolique : **VES = VTD – VTS = 70mL**
- le débit : **D = VES x fréquence cardiaque**
- la fraction d'éjection : **FE = VES/VTD**  
⇒ la FE normale pour le VG est ≥ 60%

Ces volumes dépendent de la **méthode** utilisée, de la **surface corporelle** et du **sexe**.

Rq : le calcul des volumes est réalisé en prenant pour hypothèse que les ventricules/atriums sont des ellipsoïdes de révolution.

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



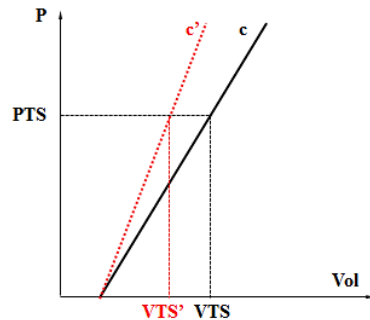
En **médecine nucléaire**, on marque les globules rouges avec un produit radioactif. La radioactivité mesurée dans la région d'intérêt en fonction du temps sera proportionnelle à son volume.

## III- Déterminants de la performance ventricul<sup>R</sup>

**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**.

Ces performances dépendent de 5 paramètres (+++):

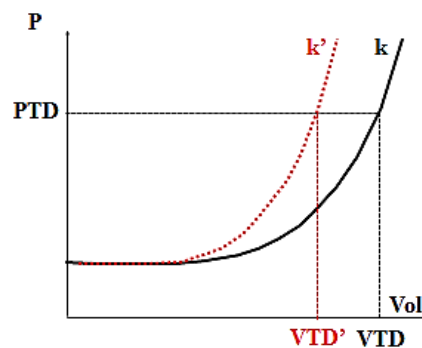
- 1- **Contractilité** myocardique
  - 2- **Compliance** myocardique
  - 3- **Pré-charge** ventriculaire
  - 4- **Post-charge** ventriculaire
  - 5- **Fréquence** cardiaque
- } font varier le VES

**CONTRACTILITE**

Elle définit le point **FE** en fin de **systole** sur la courbe pression-volume. Le couple PTS/VTS est défini par la contractilité du ventricule dans une situation donnée.

$$PTS = c * VTS - b$$

Lorsque la **contractilité augmente** (courbe en rouge), le **VTS diminue donc le VES augmente** (car  $VES = VTD - VTS$ ). La contractilité diminue en cas d'insuffisance systolique.

**COMPLIANCE**

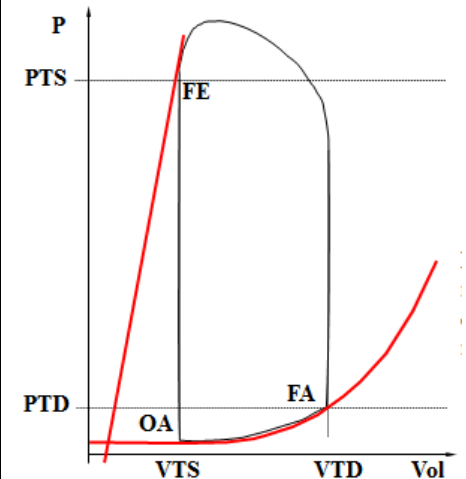
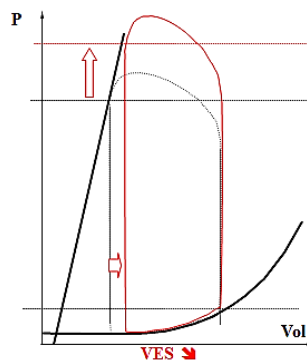
Elle définit la façon dont le ventricule se laisse **distendre passivement** (par simple entrée de sang) en **diastole**.

Le couple PTD/VTD est défini par la contractilité du ventricule dans une situation donnée. La courbe est donnée par :

$$P(v) = a \cdot e^{k \cdot v} + b, \text{ avec } k = \text{élastance} = \frac{1}{\text{compliance}}$$

**ATTENTION : lorsque la compliance diminue, k augmente donc la courbe obtenue est celle en rouge.**

Lorsque la compliance diminue (courbe en rouge) lors d'une insuffisance diastolique, le **VTD diminue donc VES également**.

**POST-CHARGE VENTRICULAIRE**

Elle est liée aux résistances à l'éjection du ventricule : c'est la pression en sortie de ventricule

Une **augmentation de la post-charge** entraîne une **augmentation du VTS donc une diminution du VES**. Au final, le **débit est plus faible** mais le cœur doit mettre plus de force pour lutter contre les résistances périphériques donc le **travail mécanique augmente**.

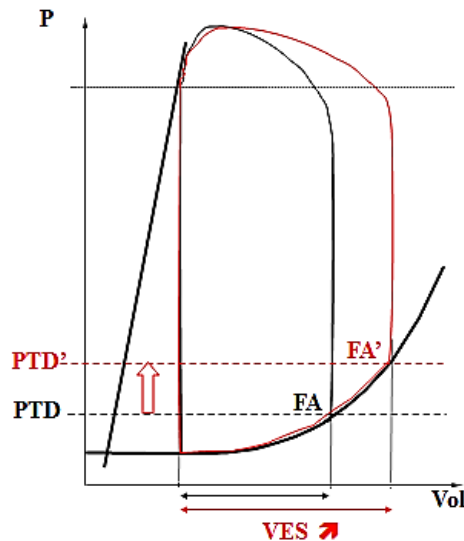
**FREQUENCE CARDIAQUE**

Elle agit directement et rapidement sur le débit :  **$D = FC \times VES$**

La **fréquence cardiaque maximale théorique** est donnée par :  **$FC_{max} = 220 - \text{âge}$**

*Rq : plus il y a de contractions par unité de temps et plus la consommation d'énergie augmente ( $W_M + W_T$ ) donc moins bon est le rendement.*

## PRE-CHARGE VENTRICULAIRE

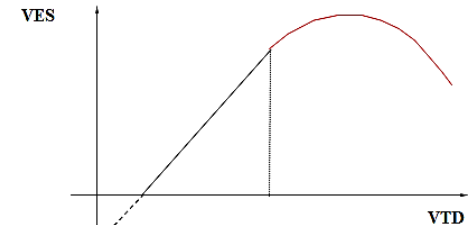


Une **augmentation de la pré-charge ventriculaire** se traduit par une augmentation du PDT (courbe en rouge). Ainsi, la fermeture de la valve d'admission se fait plus tardivement (tout en restant sur la courbe k) et permet une **augmentation du VTD donc du VES**.

Au final, le **débit cardiaque augmente** mais le **travail mécanique également** ( $\nearrow$  de la surface)

**ATTENTION :** au-delà d'un certain étirement, le **VES diminue**. C'est ce qu'explique la **loi de Starling** qui définit le volume d'éjection en systole (VES) en fonction de l'étirement des fibres myocardiques en diastole (qui dépend de VTD et PDT donc de la pré-charge).

- partie linéaire (physiologique) :  $\nearrow$ VTD entraîne  $\nearrow$ VES
- partie non linéaire (décompensation) :  $\nearrow$ VTD entraîne  $\searrow$ VES



### ★ Conséquences de l'insuffisance ventriculaire gauche sur les poumons :

PHYSIOLOGIQUEMENT	PATHOLOGIQUEMENT
<p>Dans la <u>partie linéaire</u> de la loi de Starling, plus la précharge augmente et plus la contractilité du VG augmente.</p> <p><b>Si le débit du VD <math>\nearrow</math> =&gt; la précharge du VG <math>\nearrow</math> =&gt; le débit du VG <math>\nearrow</math></b></p> <p>La loi de Starling assure ainsi un <b>débit identique</b> entre les ventricules droit et gauche.</p> <pre> graph LR     VD[VD] --&gt; P[Poumons]     P --&gt; VG[VG]           </pre>	<p>Dans l'insuffisance ventriculaire gauche, on se retrouve dans la <u>partie non linéaire</u> de la Loi de Starling. Au-delà d'une certaine pré-charge, le VG perd de sa contractilité et son VES diminue.</p> <p>Le sang va s'accumuler dans le VG (puisqu'il ne sera plus correctement expulsé) puis progressivement dans les poumons. L'engorgement de sang au niveau pulmonaire entraîne un « <b>œdème aigu du poumon</b> » (passage de sang/plasma des capillaires vers les alvéoles pulmonaires et engorgement pulmonaire).</p> <pre> graph LR     VD[VD] --&gt; P[Poumons]     P --&gt; VG[VG]           </pre>