

# Le cycle cardiaque

Dr O.BOUROUBI

## ❖ Objectifs

Etre capable de :

- ✓ Décrire la révolution cardiaque,
- ✓ Expliquer les différentes étapes du cycle cardiaque : systole et diastole de l'oreillette et du ventricule,
- ✓ Définir les principaux facteurs déterminants le cycle cardiaque,
- ✓ Corréler l'activité électrique et mécanique(ECG et phases du cycle),
- ✓ Expliquer les variations dynamiques des pressions intracardiaque et aortique,
- ✓ Expliquer les variations des volumes intracardiaque,
- ✓ Définir les différents volumes(VES,VTS,VTD) et pressions(PTS,PTD),
- ✓ Expliquer le fonctionnement des valves,
- ✓ Enoncer le débit cardiaque,
- ✓ Identifier l'origine de l'asynchronisme cardiaque ,
- ✓ Situer les bruits du cœur et leurs composants.

# Plan

- Introduction et généralités
- Cycle ventriculaire
- Cycle auriculaire
- Courbe des pressions
- Courbe des volumes
- Synchronisme des deux cœurs
- Le phonocardiogramme

# Cycle cardiaque

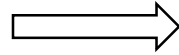
- L'activité cardiaque est un phénomène périodique.
  - Le cœur se contracte de façon cyclique selon une succession de révolutions cardiaques ou cycles cardiaques.
  - Activité cyclique : électrique et mécanique.
  - Les phénomènes du cycle cardiaque sont associés à la fréquence cardiaque.
- Le cycle comprend : deux phases principales : diastole et systole
- ✓ une phase de travail: la systole (1/3),
  - ✓ une phase de repos, la diastole (2/3)

# ⇒ Cycle cardiaque = systole + diastole

- La durée d'un cycle est en moyenne de 0,8 s:

0,5 s : diastole

0,3 s : systole



Le cœur se repose plus qu'il ne travaille :  
infatigable et non tétanisable

- « *Visiblement* » : 1 révolution cardiaque est constituée :

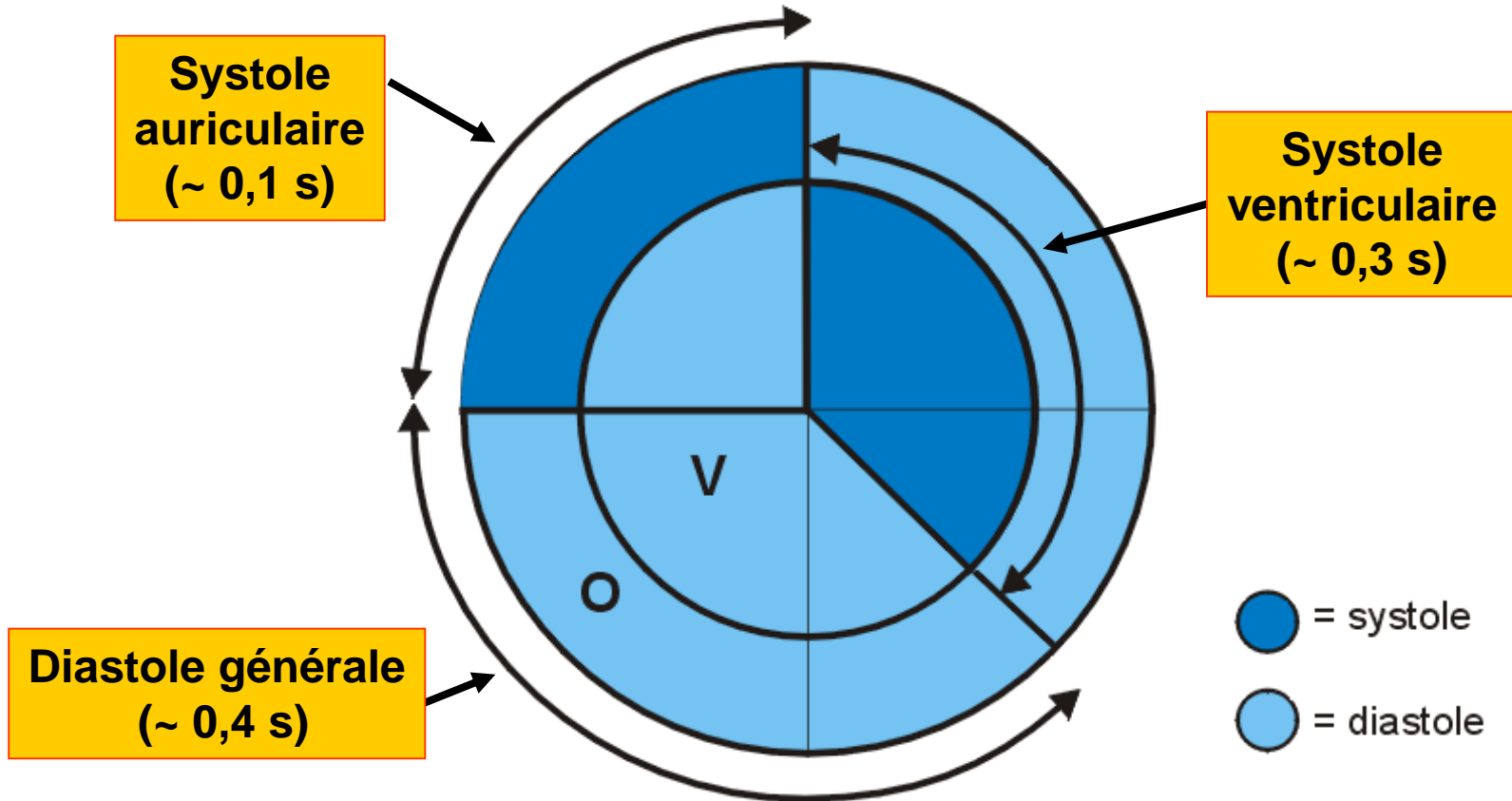
- ✓ d'une systole auriculaire

- ✓ d'une systole ventriculaire

- ✓ d'une diastole générale

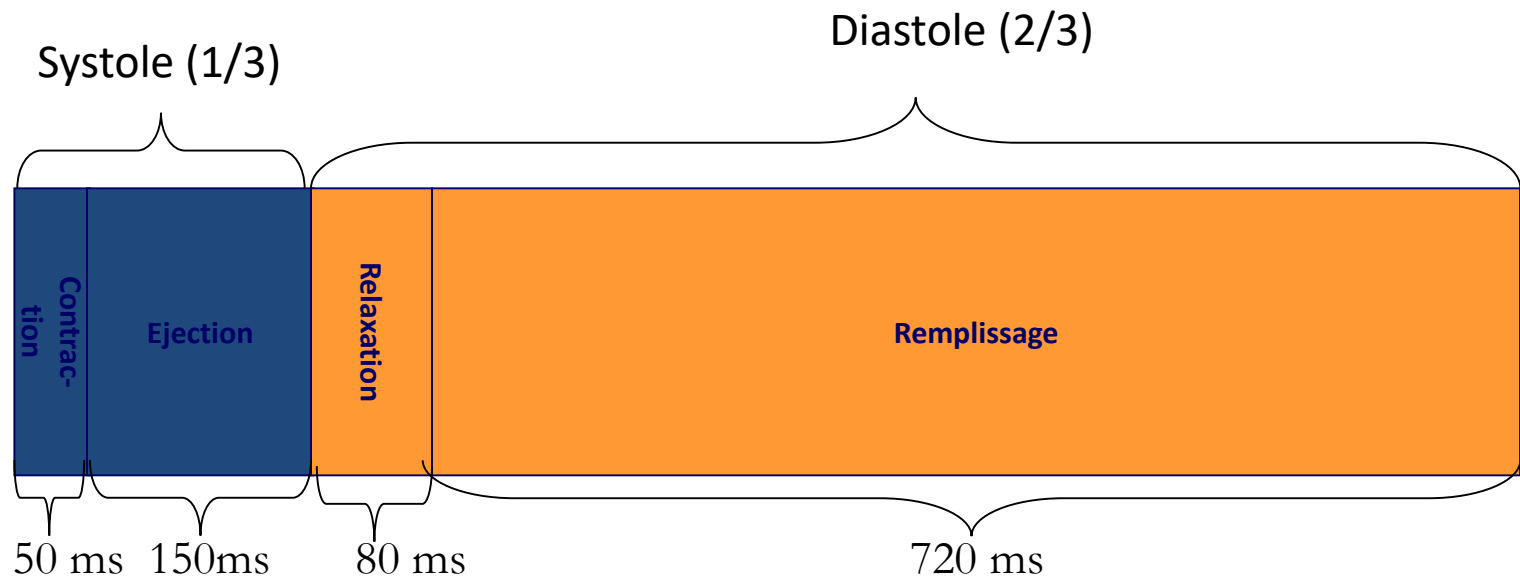
- La dépolarisation des cellules provoque la **systole**: contraction induisant l'éjection.
- La repolarisation des cellules entraîne la **diastole**: relâchement permettant le remplissage sanguin

## La révolution cardiaque



*Le cercle intérieur représente les ventricules et le cercle extérieur, les oreillettes*

- ☞ Alternance de contractions et de relaxations : pompe propulsant le sang
- ☞ Patron(nœud sinusal:NS) des répétitions des contractions et des relaxations
- ☞ Sang circule d'un système à haute pression vers un système à basse pression

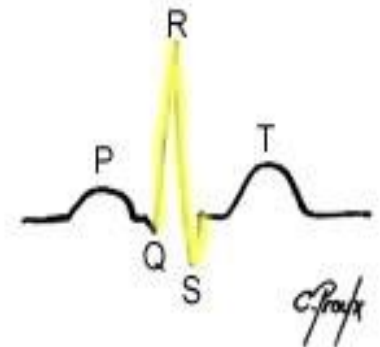
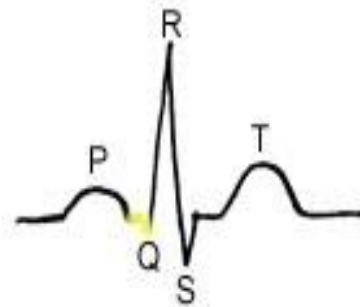
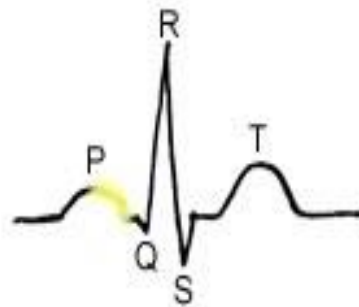
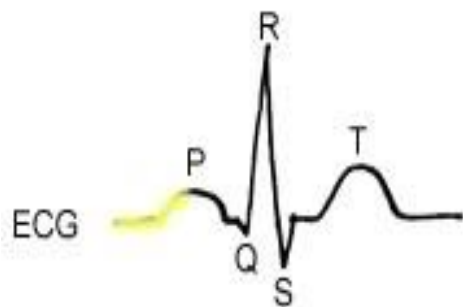
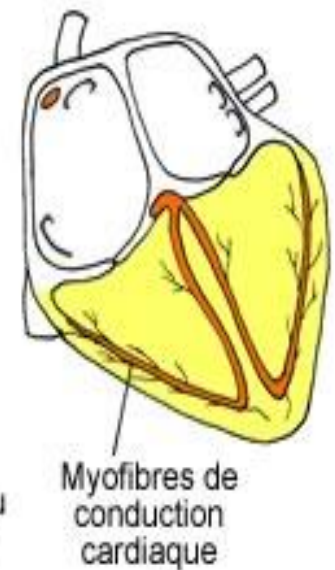
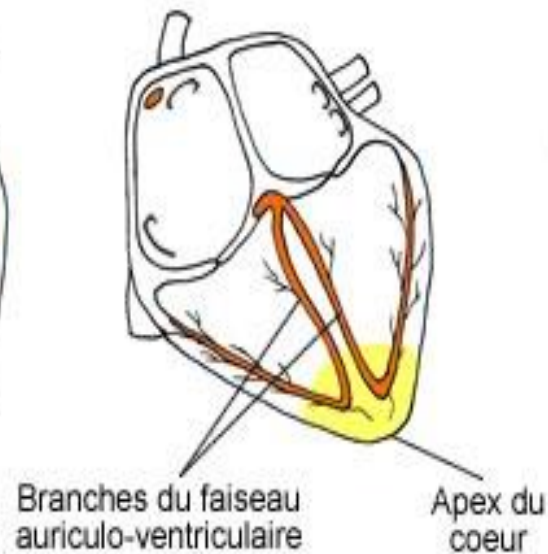
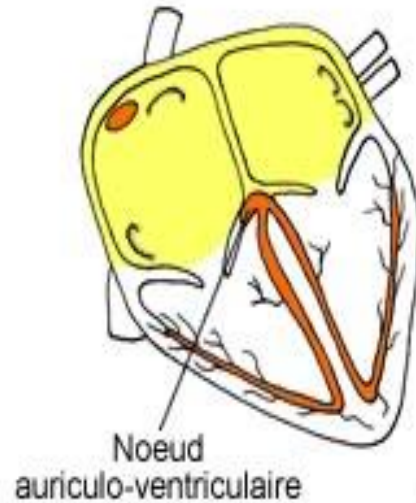
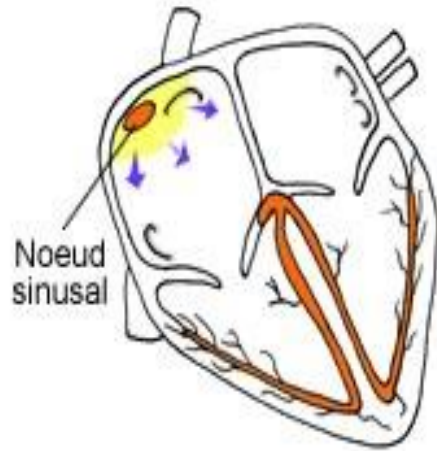


1. Le noeud sinusal induit la dépolarisation

2. Les influx se rendent au noeud auriculo-ventriculaire

3. Les influx atteignent l'apex du coeur

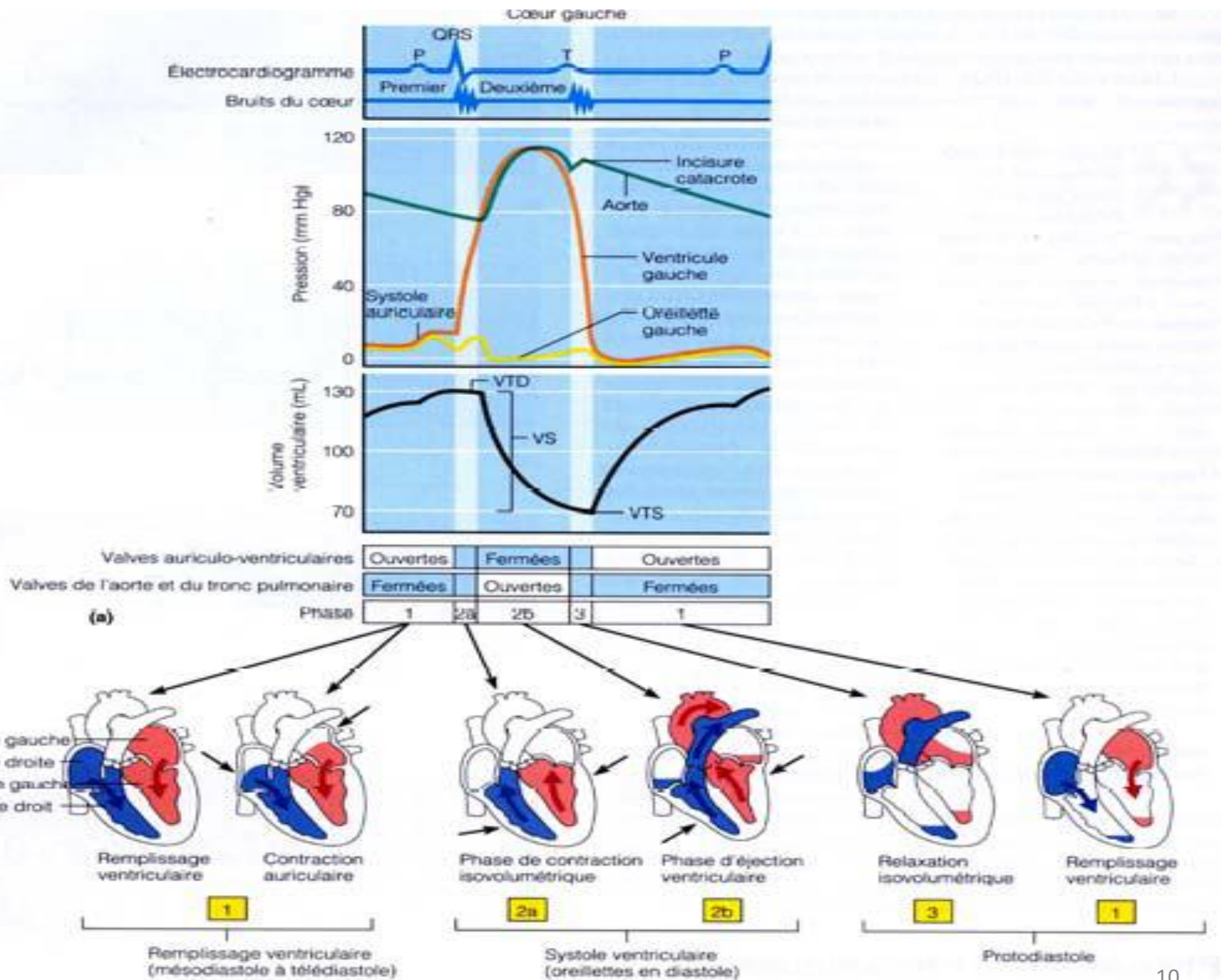
4. La dépolarisation se propage aux ventricules





Les variations de pression et de volume au niveau des ventricules, oreillettes et des artères permettent de suivre le fonctionnement cardiaque :

- On distingue 5 phases dans une révolution cardiaque.



## II -Le cycle ventriculaire

- On peut décrire un des deux cœurs généralement le gauche, mais les événements sont identiques à droite.

# En début de systole

## Contraction pre-iso volumétrique

$P^{\circ}\text{Ventricules} > P^{\circ}\text{Oreillettes}$   $\implies$  les VAV se ferment.

Mais  $P^{\circ}\text{Ventricule} < P^{\circ}\text{aorte}$   $\implies$  les Valves sigmoïdes (VS) restent fermées

$\implies$  Le sang dans les ventricules est à un volume maximum et constant

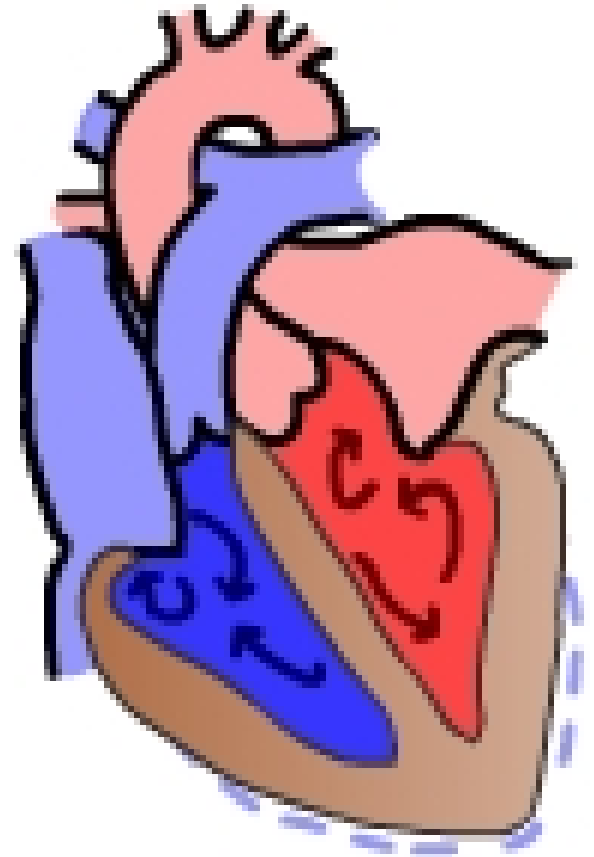
## Donc

- Le VG est rempli de sang
- Les valves AV sont fermées
- Dans le VG les pressions sont encore faibles.
- Dans l'aorte la pression est à un niveau élevé, les sigmoïdes aortiques sont fermées.

Les ventricules continuent à se contracter

---> la contraction s'effectue dans une chambre fermée, à volume constant.: **Contraction isovolumétrique**

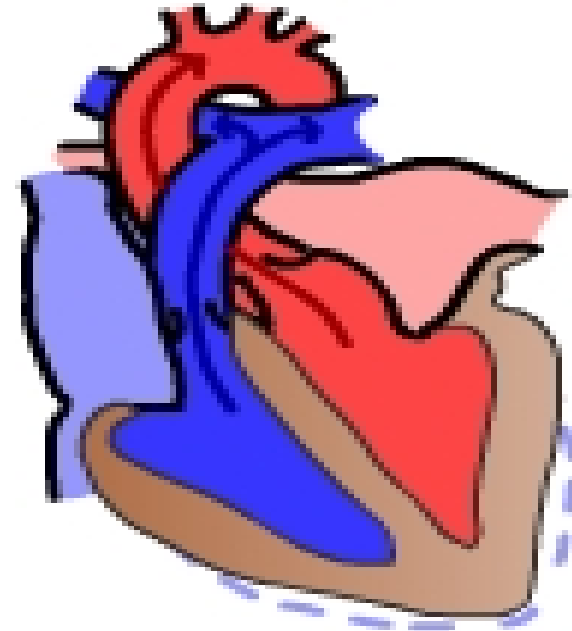
Le sang des veines caves et veines pulmonaire commence à remplir les oreillettes



# L'éjection systolique ou systole ventriculaire isotonique

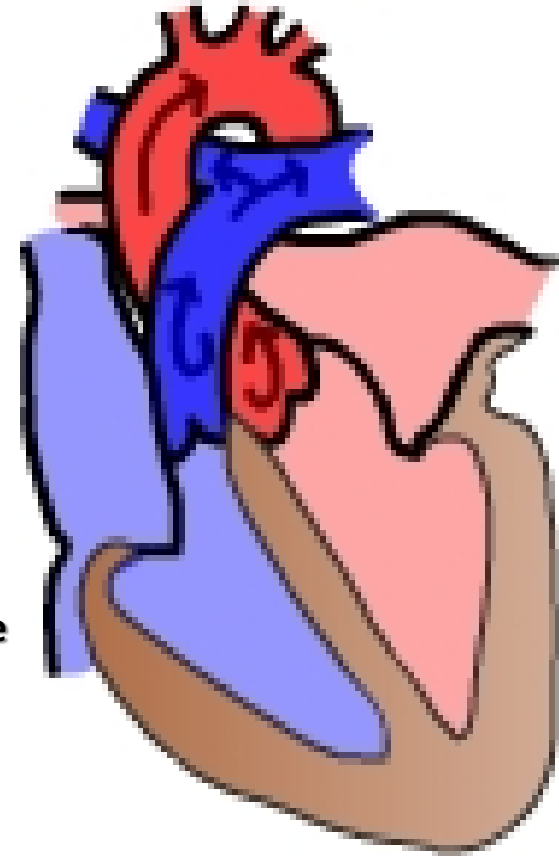
Ensuite,

- Les ventricules sont encore contractés
  - $P^{\circ}\text{Ventricules} > P^{\circ}\text{Artères}$ ,  $\longrightarrow$  les VS s'ouvrent
  - Les VAV restent fermées (cela évite au sang de remonter des ventricules aux oreillettes)
- Le sang ouvre les sigmoïdes aortiques : propulsion du sang dans l'aorte, pendant 1/5 de seconde.
- le cœur propulse le volume sanguin qui va **circuler pendant tout un cycle**:
- une partie du sang circule
  - une partie du sang est mise en réserve dans l'aorte par distension de l'aorte, puis il est redistribué pendant la diastole
- ✓ Le sang éjecté des ventricules vers les artères est de 70-100mL par ventricule.



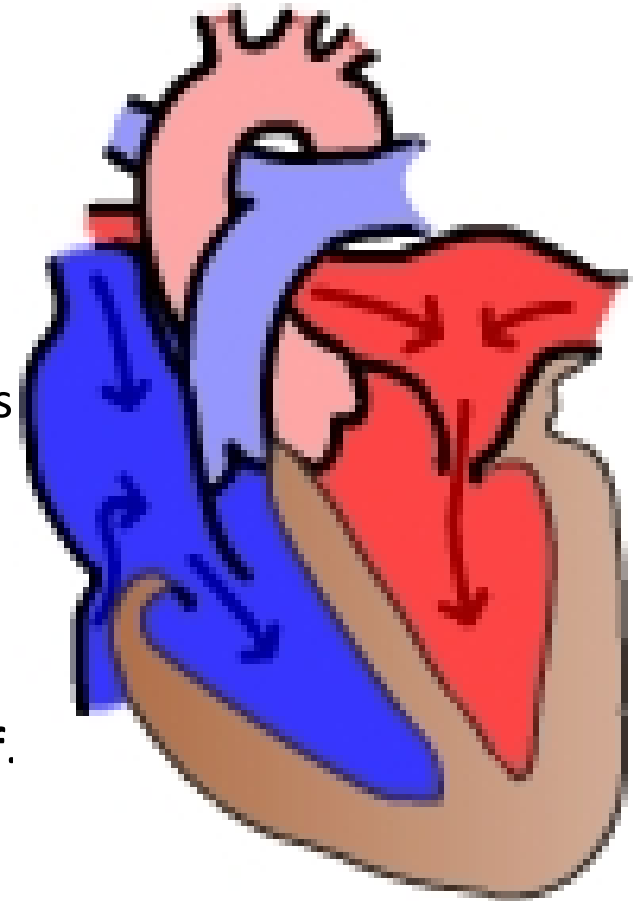
# La diastole

- En début de relaxation,
  - ✓ La pression dans les ventricules est encore élevée .
  - ✓ Les valves AV sont fermées (pression basse dans l'oreillette).
  - ✓ Dans l'aorte, la pression est toujours  $> 80$  mm Hg : il y a un petit mouvement rétrograde de sang de l'aorte vers le ventricule, puis fermeture des valves sigmoïdes.
- $P^\circ$  Ventricules diminue  $\longrightarrow P^\circ$  Ventricules  $< P^\circ$  Artères
  - ✓ les VS se ferment,
  - ✓ les VAV sont fermées  $\longrightarrow$  le volume ne change pas :
    - $\longrightarrow$  **Relaxation isovolumétrique**
- Le volume ventriculaire est minimum et constant : volume **télesystolique**
- Le myocarde est **relâché**
- Le sang éjecté, va progresser grâce à l'élasticité de l'aorte : **la circulation est continue dans les vaisseaux** (c'est l'élasticité artérielle qui donne la puissance).
- Le sang veineux finit de remplir les oreillettes.



# Remplissage passif

- ✓ La relaxation se poursuit.  
la pression est élevée dans l'aorte : les sigmoïdes sont fermées.
- ✓ L'oreillette s'est remplie de sang progressivement pendant les autres phases.
- ✓ La pression devient légèrement supérieure à celle des ventricules.
  - $P^{\circ}\text{Ventricules} < P^{\circ}\text{oreillettes}$  → les VAV s'ouvrent.
  - L'ouverture des valves AV provoque le passage du sang dans le ventricule : phase du remplissage **passif**.
- ✓ D'abord **rapide**, puis plus **lent** (*diastasis*), avec accès direct du sang des veines dans le ventricule.
- ✓ Le myocarde est totalement relâché.
- ✓ Le sang des oreillettes remplit passivement les ventricules de **80%**.



# La systole auriculaire

- Le cycle se termine par la contraction des oreillettes.
- Elle est de faible intensité, sous une pression de quelques mm Hg : peu importante physiologiquement.
- $P^{\circ}\text{Oreillettes} > P^{\circ}\text{ventricules}$
- Fin du remplissage des ventricules par cette contraction des oreillettes
- Le ventricule se remplit un peu plus:

## remplissage actif (20%)

- Les sigmoïdes sont fermées (cela évite au sang artériel de retomber dans les ventricules: pas de valves entre les veines pulmonaires et l'oreille gauche)





- La localisation du sang dans les cavités cardiaques permet de distinguer :
  - Les phases de remplissage des ventricules : diastole (80%) et systole auriculaire (20%)
  - Les phases d'éjection du sang : systole ventriculaire.

## Le cycle ventriculaire:

### 1. systole:

#### a. Contraction:

- i. Contraction préisovolumétrique
- ii. Contraction isovolumétrique

#### b. L'éjection:

- i. Éjection rapide
- ii. Éjection lente

### 2. Diastole:

#### a. Phase de relaxation iso volumétrique

#### b. Phase de remplissage

- i. Remplissage rapide
- ii. Période intermédiaire (diastasis)
- iii. Remplissage terminale

- Cycle auriculaire

- ❖ Systole auriculaire (contraction et éjection)

- ❖ Diastole auriculaire (relâchement et remplissage)

L'ensemble est sous le jeu de pression /volume sous contrôle du couplage électro-mécanique.

- Généralement on décrit le cœur gauche.
- Pour le cœur droit, les pressions sont divisées par trois à quatre.
- Les volumes déplacés sont les mêmes à droite et à gauche.

## I- Courbe de pression

### A. **ventriculaire**

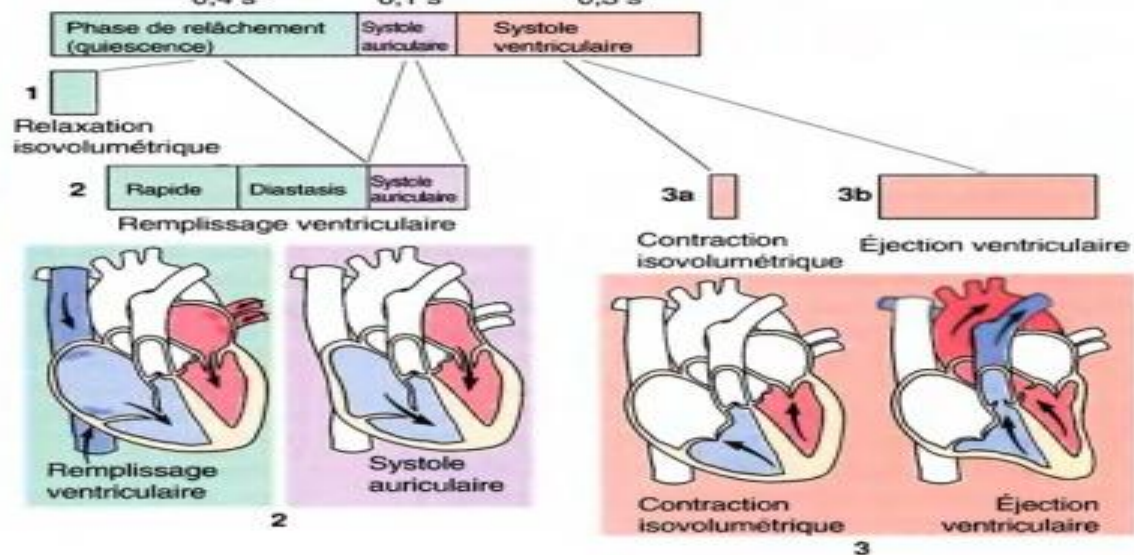
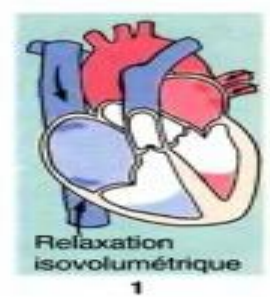
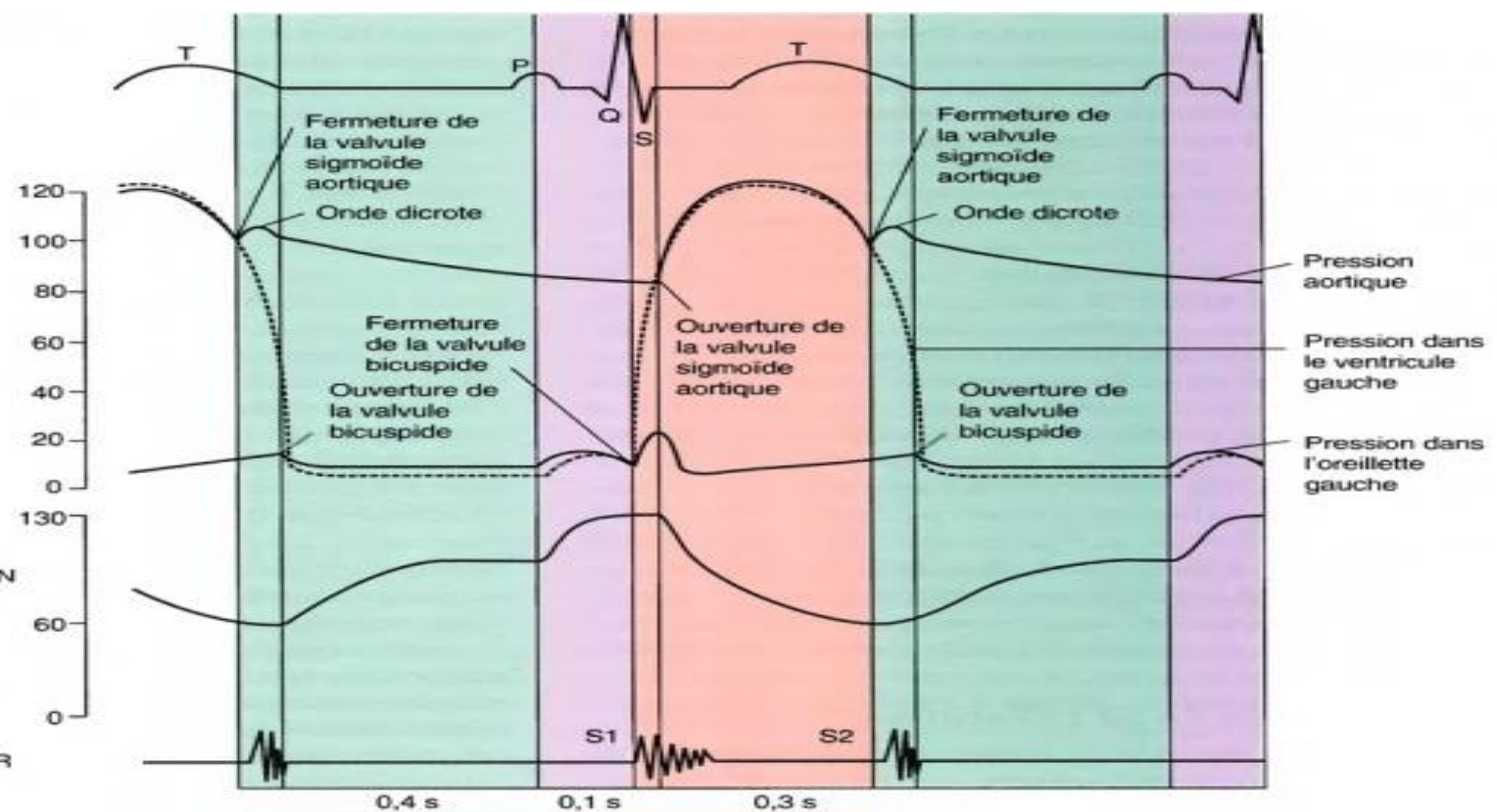
- La pression est quasi nulle au début du cycle.
- Elle va augmenter jusqu'à provoquer l'ouverture de la valve aortique
- Les sigmoïdes s'ouvrent à la pression aortique minimale.
- Le ventricule continue sa contraction jusqu'à la pression maximale.
- Puis il se détend, la pression baisse, ce qui détermine la fermeture des sigmoïdes à la pression aortique minimale
- En fin de relaxation, quand le ventricule a repris sa forme initiale, on observe une petite dépression qui correspond à l'aspiration du sang après l'ouverture de la mitrale.

a) ECG

b) PRESSION (mm Hg)

c) VOLUME SANGUIN DU VENTRICULE GAUCHE (ml)

d) BRUITS DU CŒUR



## B. Courbe de pression aortique

- La pression aortique est comprise entre 60 et 130 mm Hg.
- Quand les sigmoïdes sont ouvertes, la pression ventriculaire et aortique sont identiques.
- Incisure catacrote : la fermeture des valves sigmoïde est provoquée par un reflux du sang en direction du ventricule.
- Onde dicrote : le rebond de pression aortique est dû à la force élastique de l'aorte. (elle traduit la qualité de l'élasticité aortique).
- Au total : une circulation **pulsée** d'origine ventriculaire donne lieu à une circulation **redressée** (*continue*) dans l'aorte.

## C. P° de la cavité auriculaire

- Quand les valves AV sont ouvertes, les pressions auriculaire et ventriculaires sont identiques.
- La pression augmente modérément pendant la diastole après la pression négative du début.
- On observe un renforcement final due à la systole auriculaire.
- Au début de la contraction ventriculaire, les valves AV bombent vers l'oreillette : petit reflux qu'on peut sentir au niveau des veines jugulaires.
- Pendant le reste de la systole, la l'augmentation de la pression se fait de façon progressive en raison du remplissage.



## Tableau des pressions normales en mm de HG

Cavités explorées	Valeurs normales
Ventricule gauche <ul style="list-style-type: none"> <li>• Systolique</li> <li>• Protodiastolique</li> <li>• Télédiastolique</li> </ul>	125 0 <12
Ventricule droit <ul style="list-style-type: none"> <li>• Systolique</li> <li>• Protodiastolique</li> <li>• Télédiastolique</li> </ul>	25 0 +5
Oreillette gauche (pression moyenne)	2-4
Oreillette droite (pression moyenne)	0-2
Aorte <ul style="list-style-type: none"> <li>• Systolique</li> <li>• Diastolique</li> <li>• Moyenne</li> </ul>	125 70 85
Artère Pulmonaire <ul style="list-style-type: none"> <li>• Systolique</li> <li>• Diastolique</li> <li>• Moyenne</li> </ul>	25 15 15

## II - Courbe des volumes

- ✓ Le cœur a le volume d'un poing. Son poids est de 300 g
- ✓ Il existe un volume minimal : le ventricule ne se vide pas complètement.  
On distingue :
  - le volume éjecté : 50 à 70 %.
  - le volume résiduel : 30 ml. Volume **télesystolique**
- La persistance de sang évite que les parois entrent en contact, ce qui créerait des lésions de l'endocarde.
- ✓ Le volume est maximal en fin de remplissage c'est à dire en début de cycle. **Volume télédiastolique**
- ✓ Par définition le volume sanguin ventriculaire:
  - ne change pas pendant la contraction et la relaxation isovolumiques.
  - est minimal en fin d'éjection.
- ✓ L'éjection est d'abord rapide puis plus lente.
- ✓ De même, le remplissage est rapide puis lent.

# Au total: les effets circulatoires du cycle cardiaque

**Volume d'éjection systolique (VES)** : Volume de sang éjecté du cœur par les ventricules à chaque contraction (100 ml)

**Volume télédiastolique (VTD)** : Volume de sang contenu dans les ventricules juste **avant** la systole ventriculaire (160 ml) = *volume précharge*

**Volume télésystolique (VTS)** : Volume de sang contenu dans les ventricules **à la fin** de chaque systole (60 ml) = *volume postcharge*

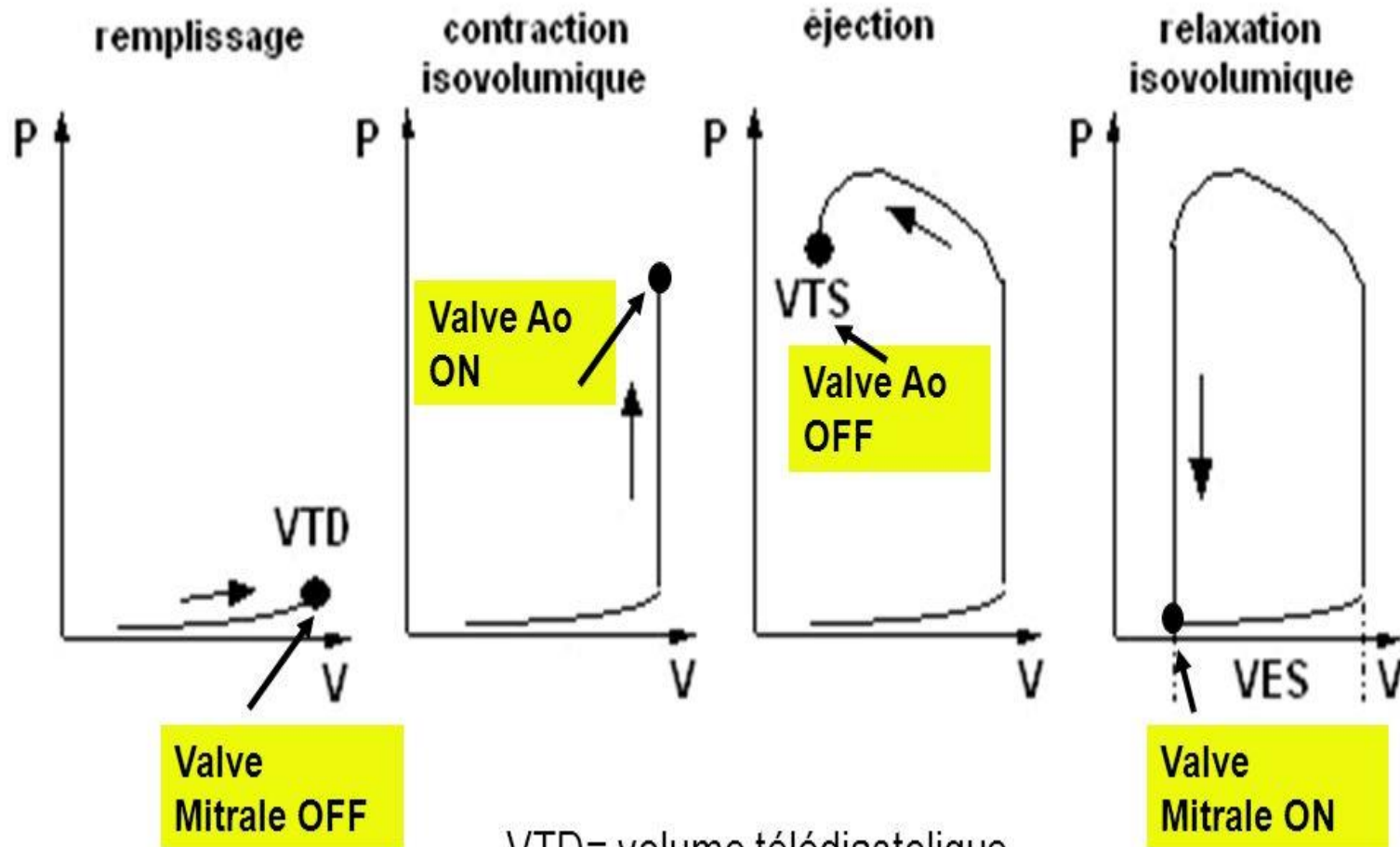
$$VES = VTD - VTS$$

**Fréquence cardiaque (Fc)** : nombre de contractions ventriculaires par seconde.

Elle est exprimée en battements par minute bats/min (moyenne = 60 - 70 bats/min).

Fc max: variable suivant les individus, elle diminue progressivement avec l'âge et avec l'entraînement.

# Pression et volume ventriculaire au cours du cycle cardiaque



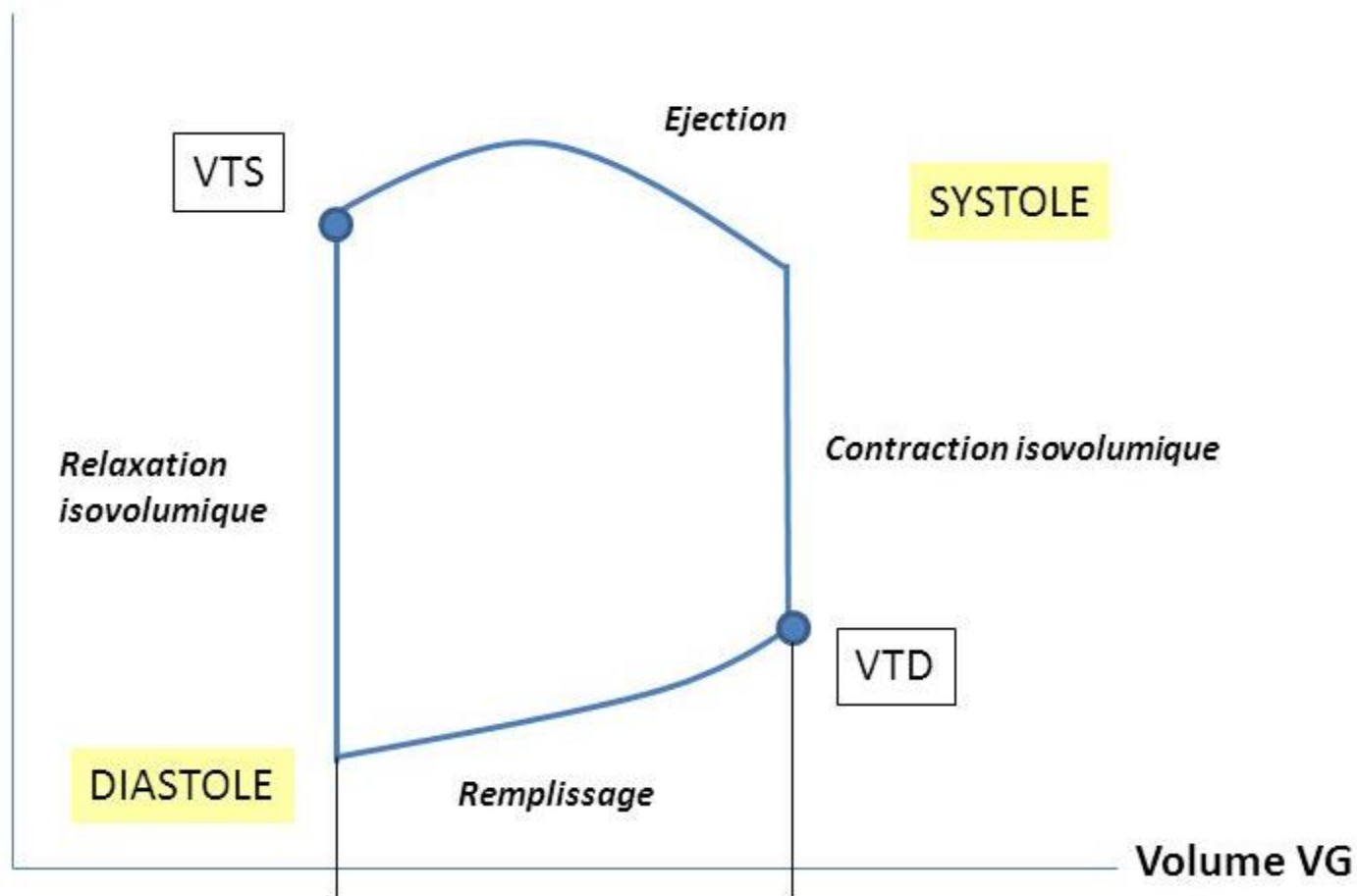
VTD= volume télédiastolique

VTS= volume télésystolique

VES=volume d'éjection systolique= $VTD - VTS$

# COURBE PRESSION/VOLUME

Pression VG



Katz, J Am Coll Cardiol 1988

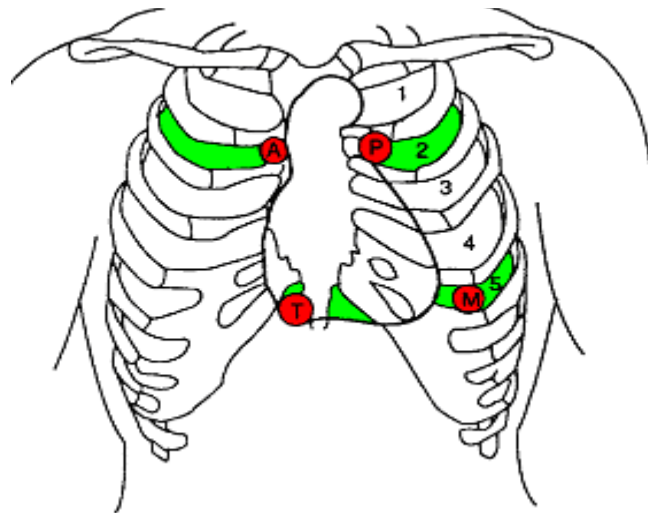
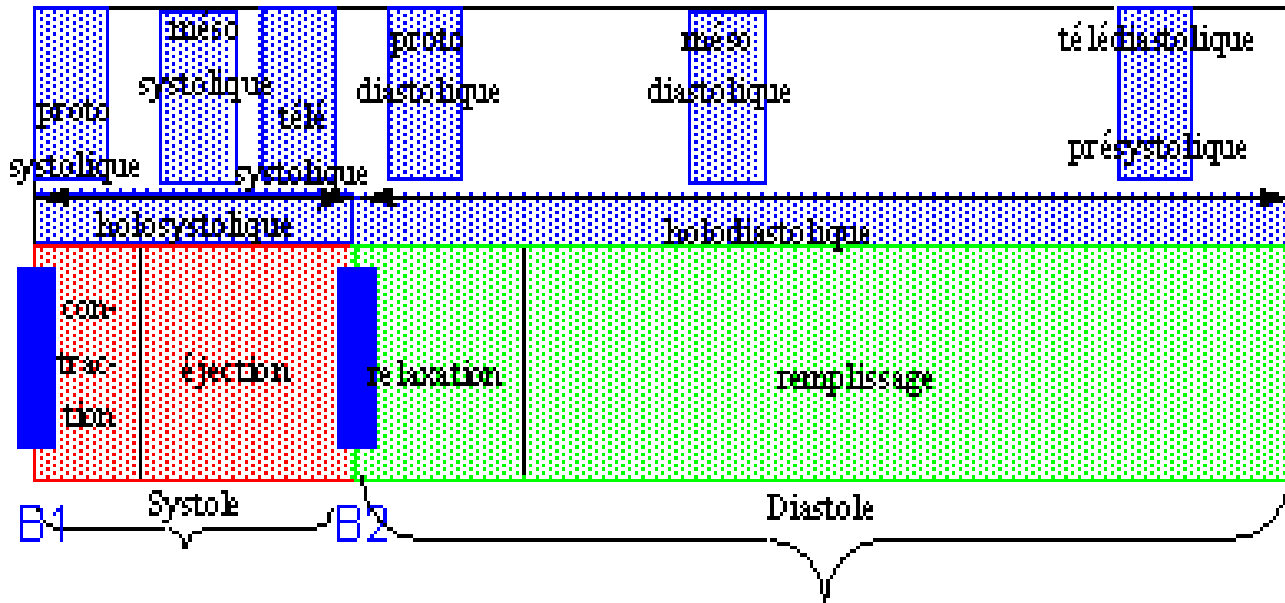
VES

# Synchronisme des deux cœurs

- Normalement, les deux cœurs fonctionnent en même temps
- Cependant il existe un décalage de 50 ms entre le phénomène électrique et les manifestations anatomiques et hémodynamiques.
- Au phonocardiogramme, les deux cœurs marchent effectivement de façon synchrone (les cœurs sont synchrones mais en léger déphasage: il existe un décalage .)
- les deux bruits sont fusionnés (on les entend en même temps).
- Les événements du cœur gauche encadrent ceux du cœur droit.
- Ceci est important pour les bruits anormaux : permet de connaître le cœur concerné par le décalage.

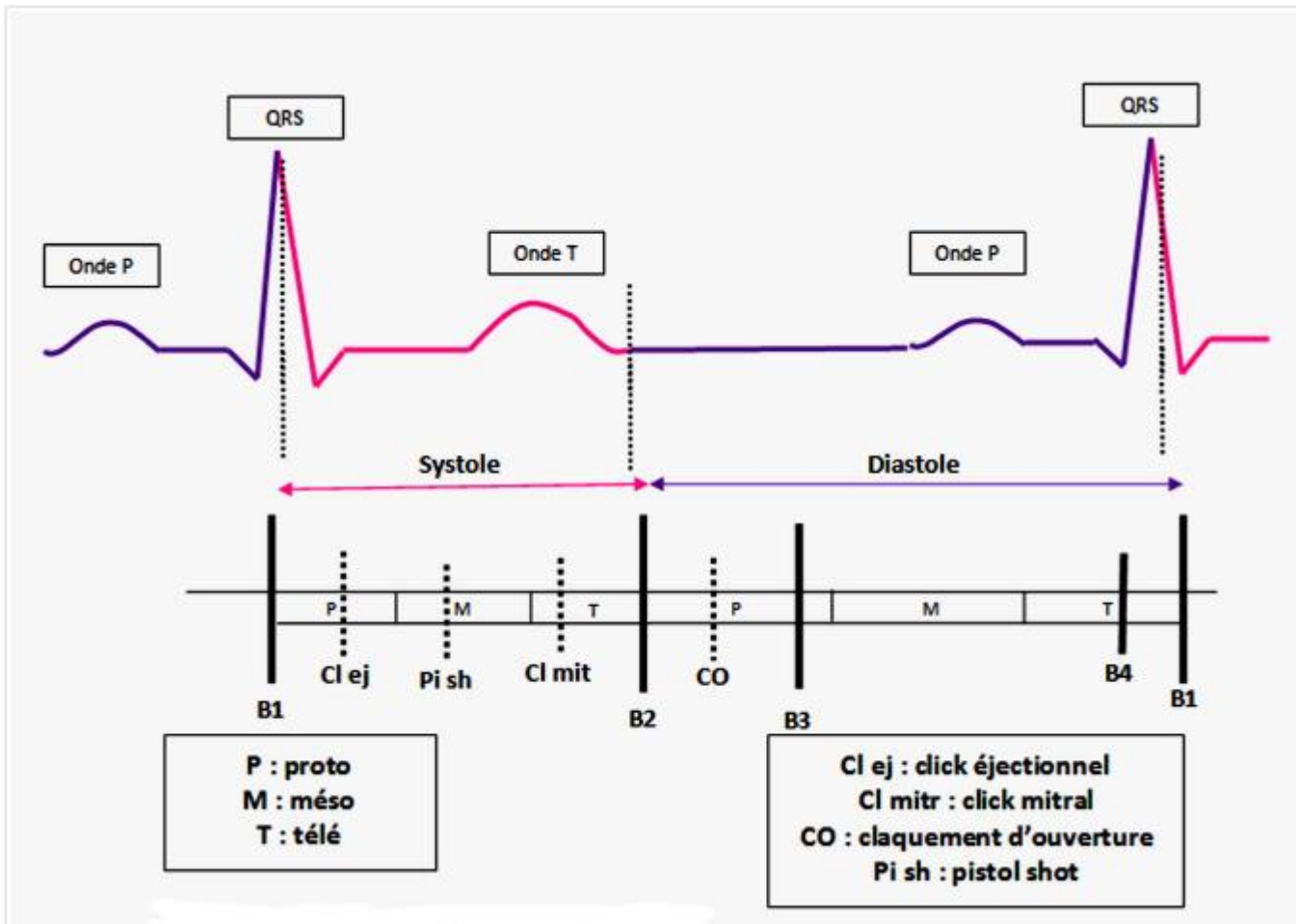
# Le phonocardiogramme

- ❖ Les bruits normaux du cœur correspondent aux **fermetures** des valves:
  - d'admission (tricuspide, mitrale) = premier bruit "TOUM"
  - d'éjection (pulmonaire, aortique) = deuxième bruit "TA "
  
- ❖ Enregistrement qui correspond aux 2 bruits du cœur lors de la fermeture des valvules objective:
  - 1er bruit : sourd et long « toum » = fermeture des valvules auriculo-ventriculaires
  - 2ème bruit : court et sec « ta » = fermeture des valvules sigmoïdes.
  
- ❖ Séquence : TOUM - systole (« petit silence ») – TA – diastole (« grand silence »)
  
- 3ème bruit remplissage rapide du ventricule
- 4ème bruit contraction auriculaire



Foyers d'auscultation des différents bruits





# METHODES D'ETUDE DE L'HEMODYNAMIQUE CARDIAQUE

- ❖ **Auscultation,**
- ❖ **Mesure des pressions intracardiaques :**
  - **Cathétérisme et montée de sondes manométriques : courbes pression-temps**
- ❖ **Mesure des volumes**
  - ***Volumes instantanés : VTS et VTD***
  - **Cathétérisme + injection de produit de contraste + clichés radio**
  - **Echocardiographie et écho-doppler .**
  - **Mesure des axes et calcul des volumes (avec hypothèse géométrique)**
  - ***Courbe volume - temps***
  - **Médecine nucléaire: marquage radioactif des globules rouges (Scintigraphie cardiaque)**
  - **Mesure de la radioactivité au cours du temps (d'une contraction)**

# Références

- **Atlas de poche de physiopathologie** Auteur: Stefan Silbernagl Florian Lang Editeur :Medecine-sciences Flammarion
- **Atlas de poche de physiologie** écrit par Stefan SILBERNAGL, Agamemnon DESPOPOULOS, éditeur LAVOISIER MÉDECINE SCIENCES, collection Atlas
- **CARDIOLOGIE ET MALADIES VASCULAIRES** Société Française de Cardiologie Editeur: MASSON
- **Comprendre la physiologie cardiaque** auteur: Etienne\_paul d'Alché MÉDECINE SCIENCES FLAMMARION