

Cycle cardiaque

I INTRODUCTION

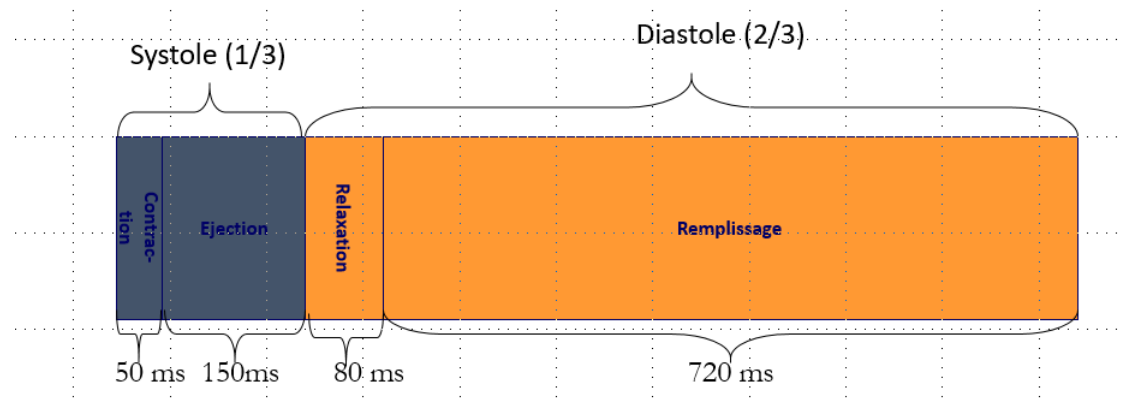
- L'activité cardiaque est un phénomène périodique:
 - Activité cyclique : électrique et mécanique.
- Le cœur se contracte de façon cyclique selon une succession de révolutions cardiaques ou cycles cardiaques.

⇒ Cycle cardiaque = Tous les phénomènes associés à la fréquence (fréquence cardiaque)

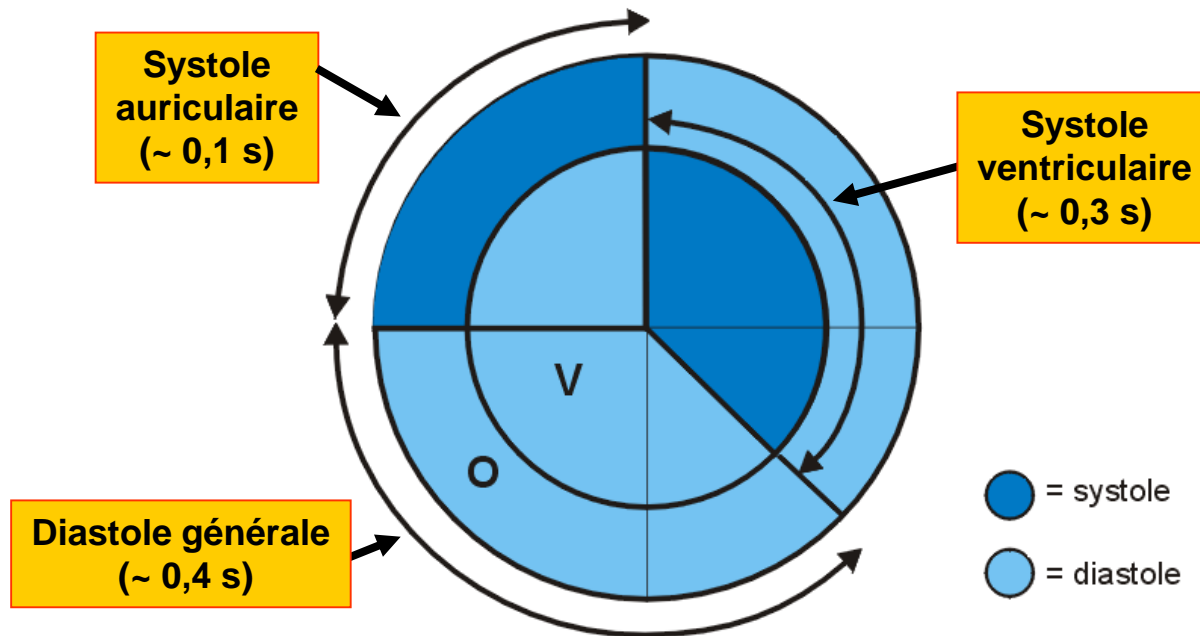
- Le cycle comprend :
 - ✓ une phase de travail: la systole (1/3),
 - ✓ une phase de repos: la diastole (2/3)
- Cycle cardiaque = systole + diastole

- La durée d'un cycle est en moyenne de 0,8 s: 0,5 s en diastole et 0,3 s en systole
- Le cœur se repose plus qu'il ne travaille et c'est pourquoi il est infatigable et non tétanisable
- 1 révolution cardiaque est constituée :
 - ✓ d'une systole auriculaire
 - ✓ d'une systole ventriculaire
 - ✓ d'une diastole générale
- La dépolarisation des cellules provoque la **systole**: la phase de contraction puis éjection.
- La repolarisation des cellules qui entraîne la **diastole**: la phase de relâchement qui permet le remplissage sanguin des cavités auriculaires et ventriculaires

- ✓ Le cœur est le siège d'une activité électrique et mécanique périodique :
=> Révolution cardiaque ou cycle cardiaque
- ✓ **Cycle cardiaque = systole + diastole**
- ✓ La durée d'un cycle est en moyenne de 0,8 s : 0,5 s en diastole et 0,3 s en systole



La révolution cardiaque

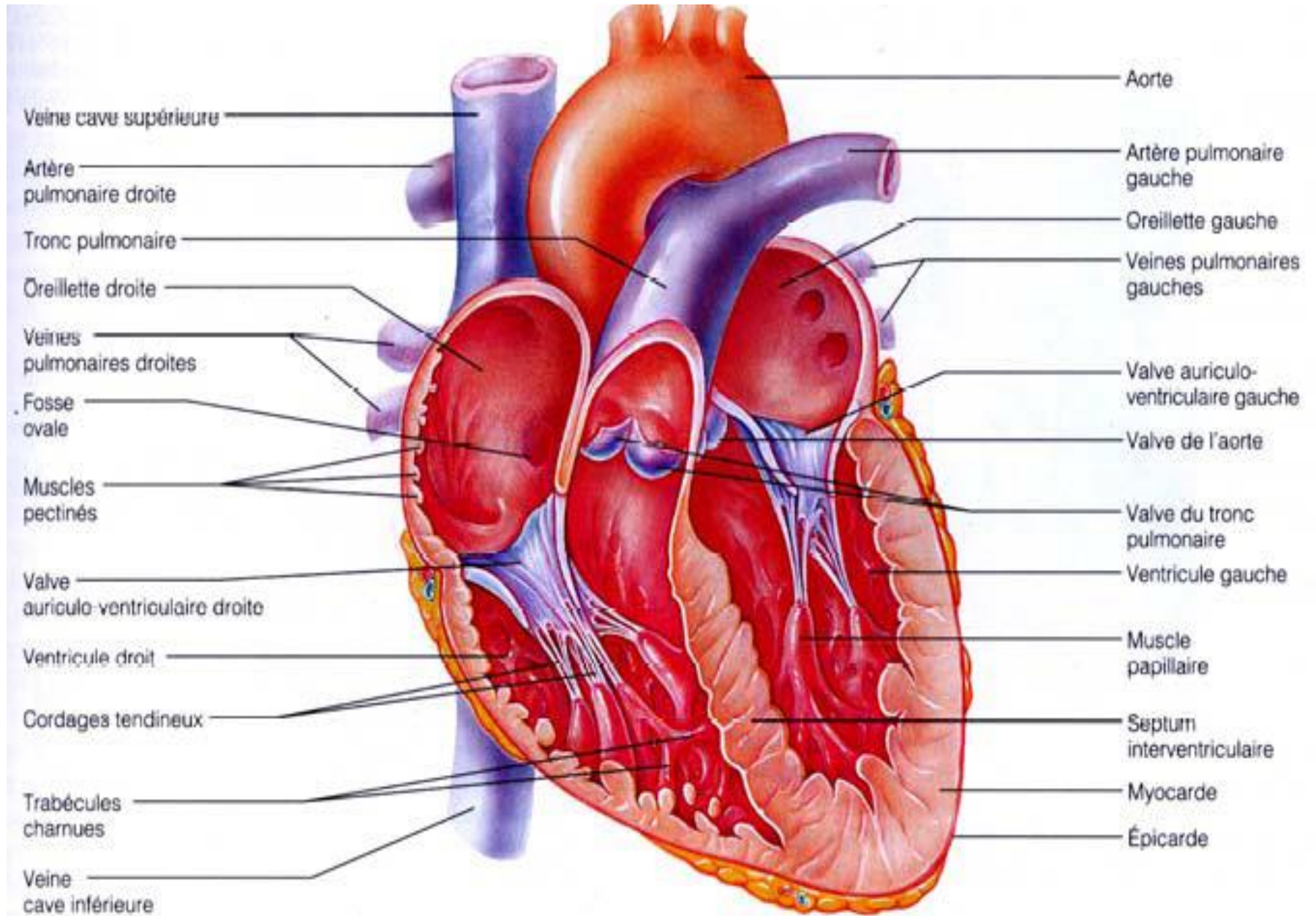


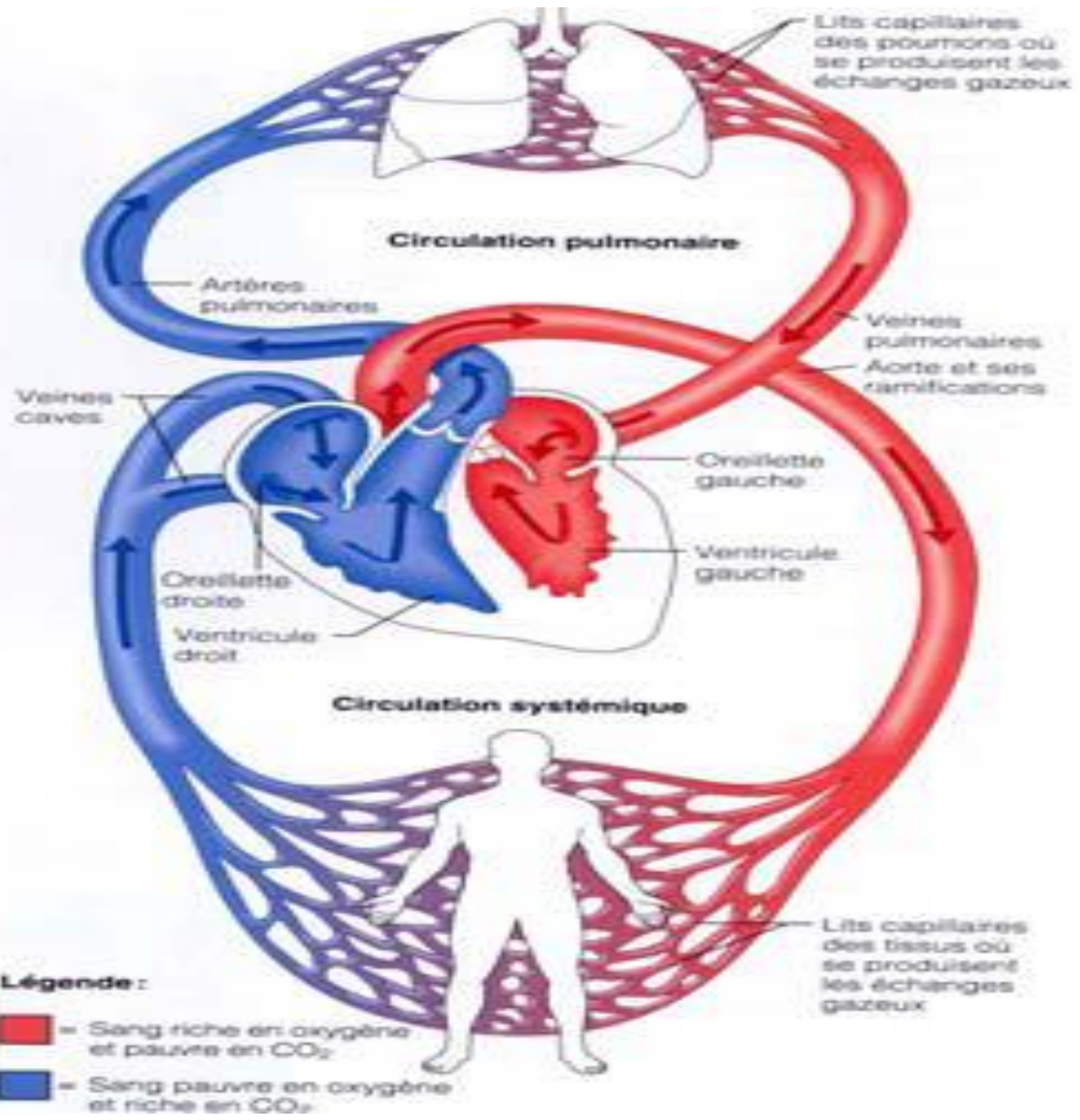
- Le cercle interne représente les ventricules
- Le cercle externe représente les oreillettes

▪ *L'étude du fonctionnement cardiaque se fait par des enregistrements :*

- de l'activité mécanique du cœur (de l'hémodynamique cardiaque: cardiogramme :Cathétérisme cardiaque droit et gauche, Gazométrie étagée, Echocardiographie, Echodoppler
- des bruits du cœur (phonogramme)
- de l'activité électrique du cœur (électrocardiogramme).

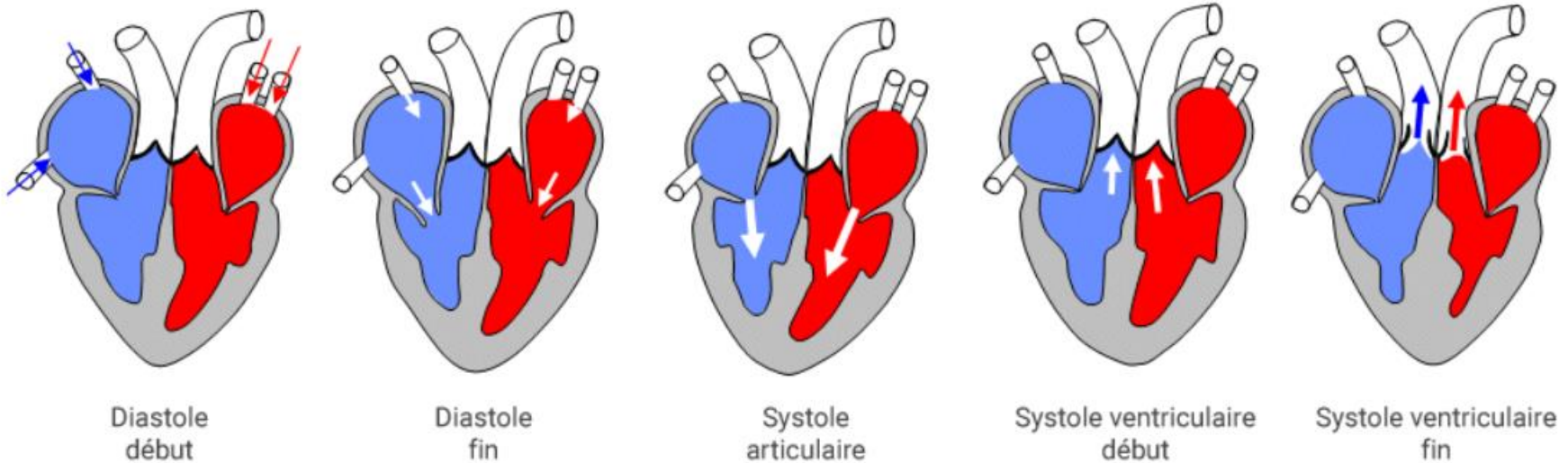
II RAPPEL





III Analyse des phases du cycle cardiaque:

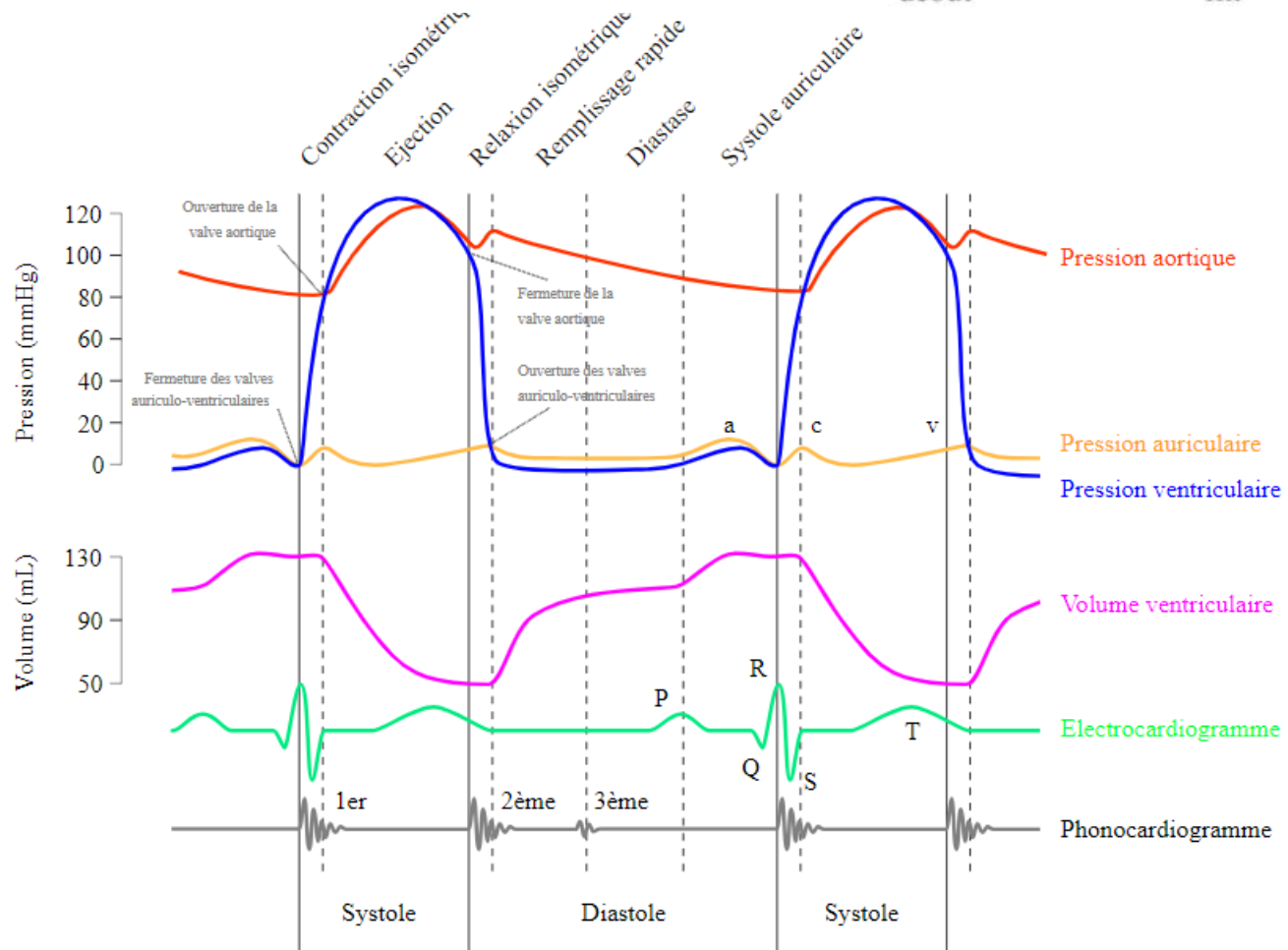
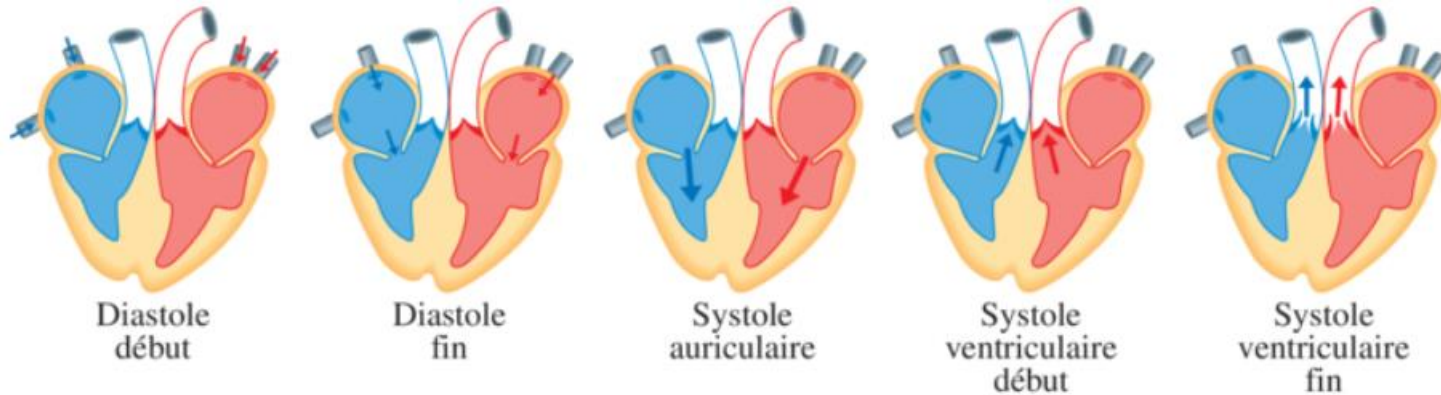
- Cycle cardiaque c'est le travail de deux pompes côte à côte fonctionnant au même rythme, à des régimes de pression différents,



Le cycle cardiaque

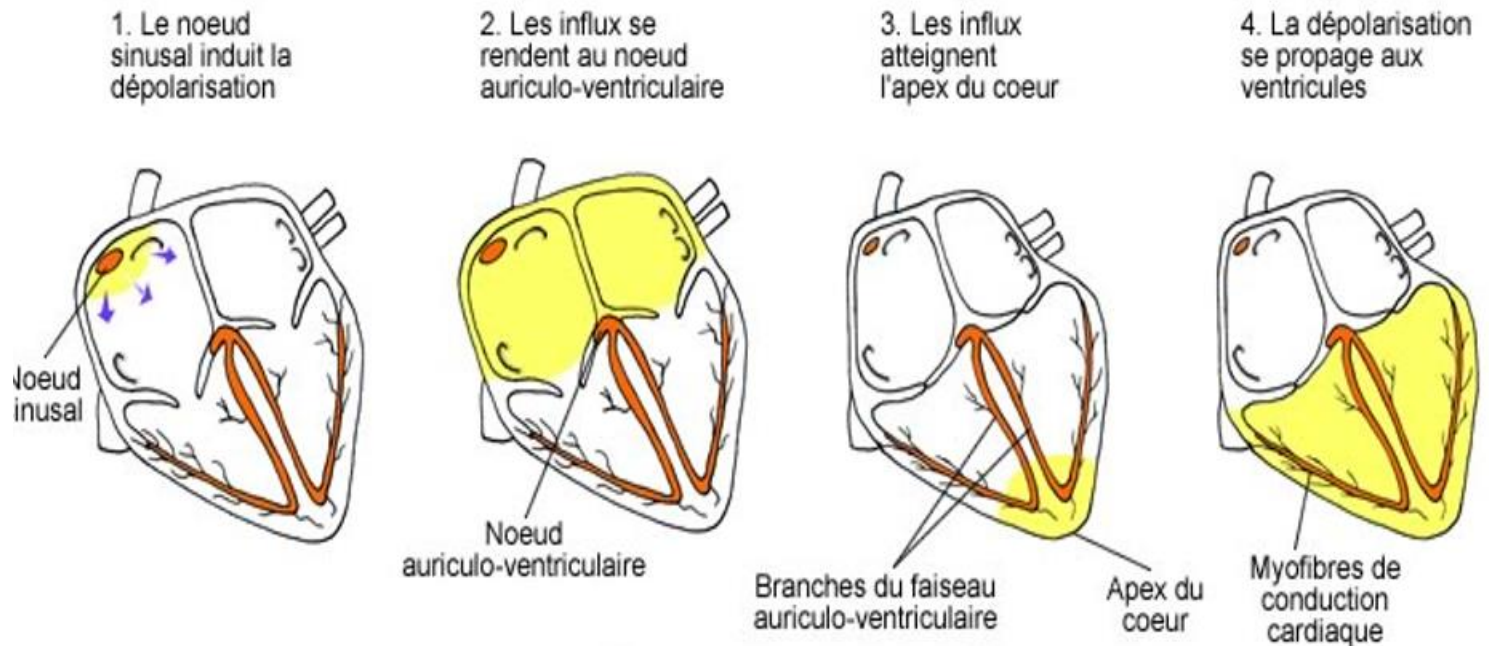
Les variations de pression et de volume au niveau des ventricules, oreillettes et des artères déterminent le fonctionnement cardiaque :

- On distingue 5 phases dans une révolution cardiaque.



A -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 préisovolumétrique puis

- ✓ $P_{\text{Ventricules}} > P_{\text{Oreillettes}}$ les VAV se ferment.
- ✓ Mais $P_{\text{Ventricule}} < P_{\text{Aorte}}$ → les Valves sigmoïdes (VS) restent fermées
- ✓ Le sang reste dans les ventricules à un volume maximum et constant

donc

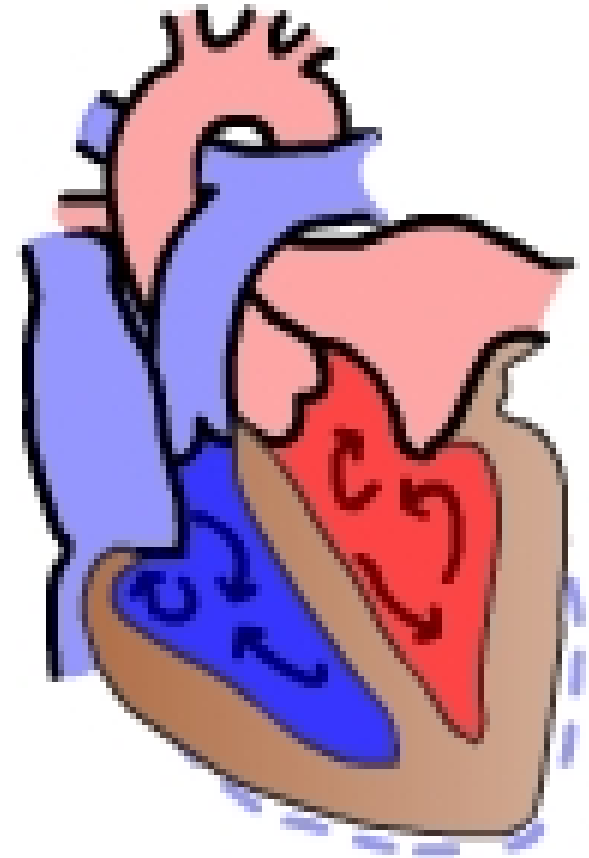
- le VG est rempli de sang
- les valves AV sont fermées
- Dans le VG les pressions sont encore faibles.
- dans l'aorte la pression est à un niveau élevé, les sigmoïdes aortiques sont fermées.

Les ventricules se contractent

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

Contraction isovolumétrique

Le sang des veines caves commence à remplir les oreillettes



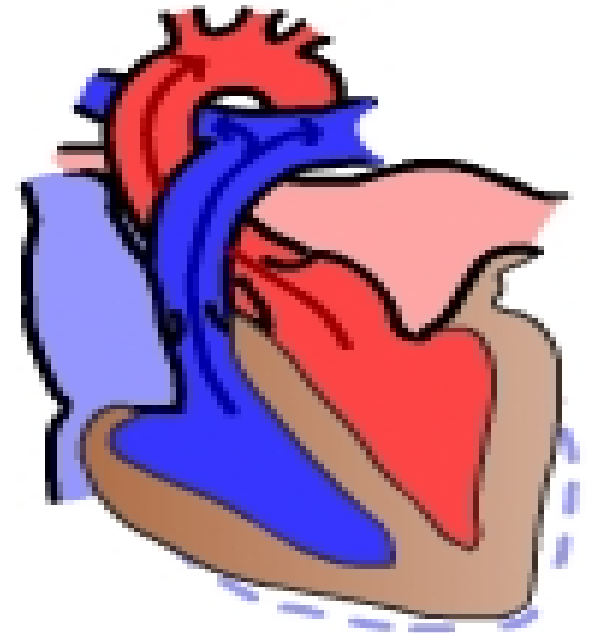
L'éjection systolique ou systole ventriculaire isotonique

Ensuite,

- ✓ Les ventricules sont encore contractés
- ✓ $P_{\text{Ventricules}} > P_{\text{Artères}}$, \longrightarrow les VS s'ouvrent
- ✓ Les VAV restent fermées (cela évite au sang de remonter des ventricules aux oreillettes)

➤ Le sang a ouvert 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 est éjecté des ventricules vers les artères (environ 70mL par ventricule)



La diastole

➤ Le myocarde est totalement relâché

En début de relaxation, la pression dans les ventricules est encore élevée : les valves AV sont fermées (pression basse dans l'oreillette).

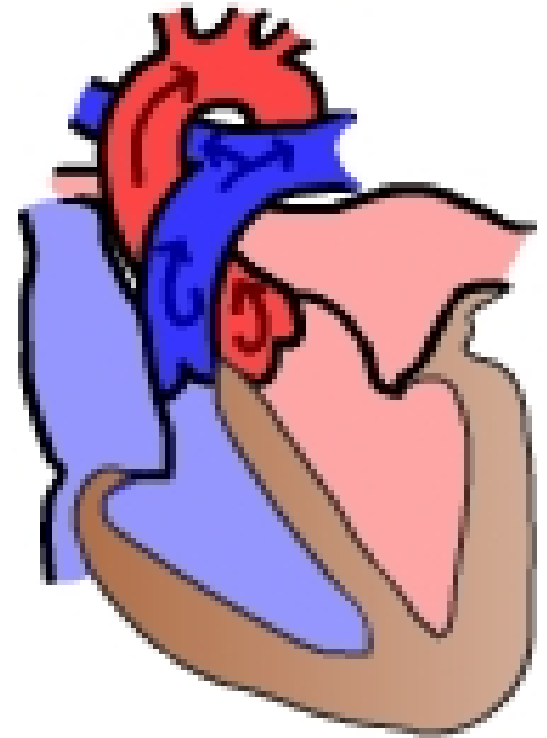
Dans l'aorte, la pression est toujours > 80 mm Hg → il y a un petit mouvement rétrograde de sang de l'aorte vers le ventricule, puis fermeture des valves sigmoïdes.

▪ P_{Ventricules} diminue et P_{Ventricules} < P_{Artères} les VS se ferment, les VAV sont fermées → le volume ne change pas : **Relaxation isovolumétrique**

Le volume ventriculaire est minimum et constant : volume télésystolique (environ 135mL par ventricule)

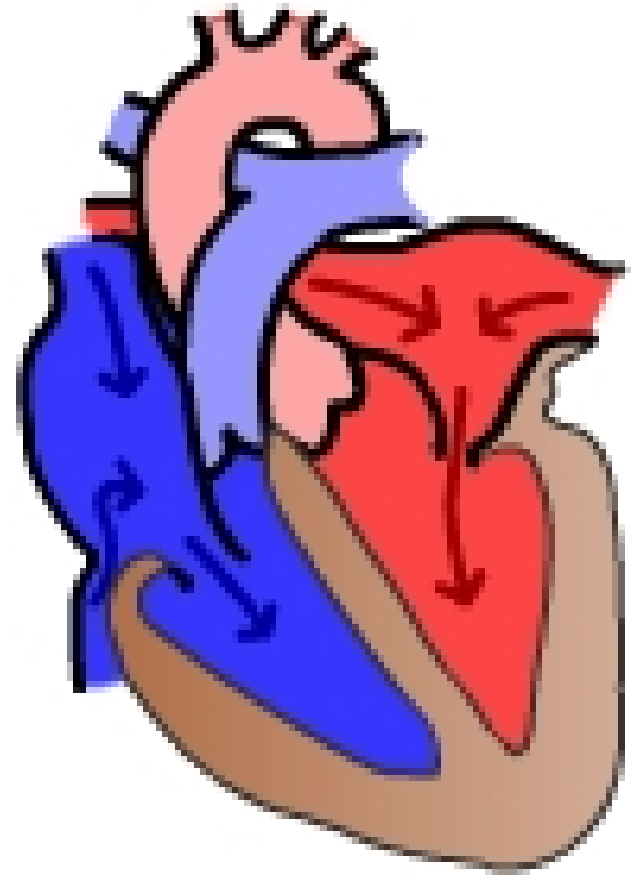
➤ Le sang va ensuite progresser par l'élasticité de l'aorte : **la circulation est continue dans les vaisseaux** (c'est l'élasticité artérielle qui donne la puissance.

➤ 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. $P_{\text{Ventricules}} < P_{\text{Oreillettes}}$
→ les VAV s'ouvrent.
- -L'ouverture des valves AV provoque le passage du sang dans le ventricule : c'est la phase de remplissage, d'abord rapide, puis plus lent (diastasis), avec accès direct des veines dans le ventricule.
- -Le myocarde est toujours relâché.
- -Le sang des oreillettes remplit passivement les ventricules (**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.
- $P_{\text{Oreillettes}} > P_{\text{ventricules}}$
- 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)



- 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**

1. Systole auriculaire(contraction et éjection)
2. Diastole auriculaire(relâchement et remplissage),

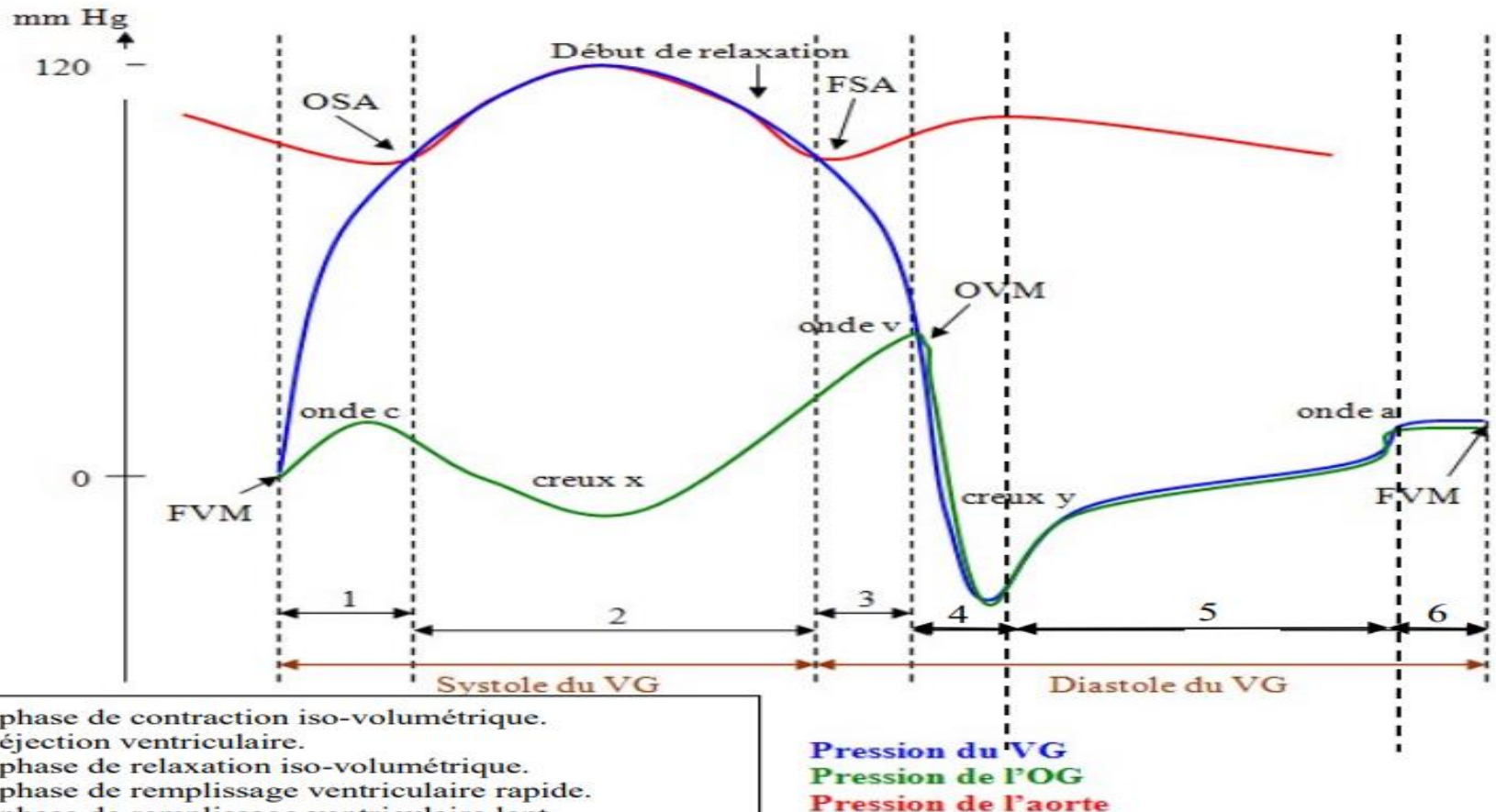
L'ensemble de ces phénomènes est:

- sous le jeux de pression/volume
- sous control du couplage électro-mécanique.

C - Hémodynamique

On décrit généralement le cœur gauche.

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



METHODES D'ETUDE DE L'HEMODYNAMIQUE CARDIAQUE

❖ Auscultation

❖ Mesure des pressions intracardiaques :

Cathétérisme et montée de sondes manométriques : courbes pression-temps

❖ Mesure des volumes

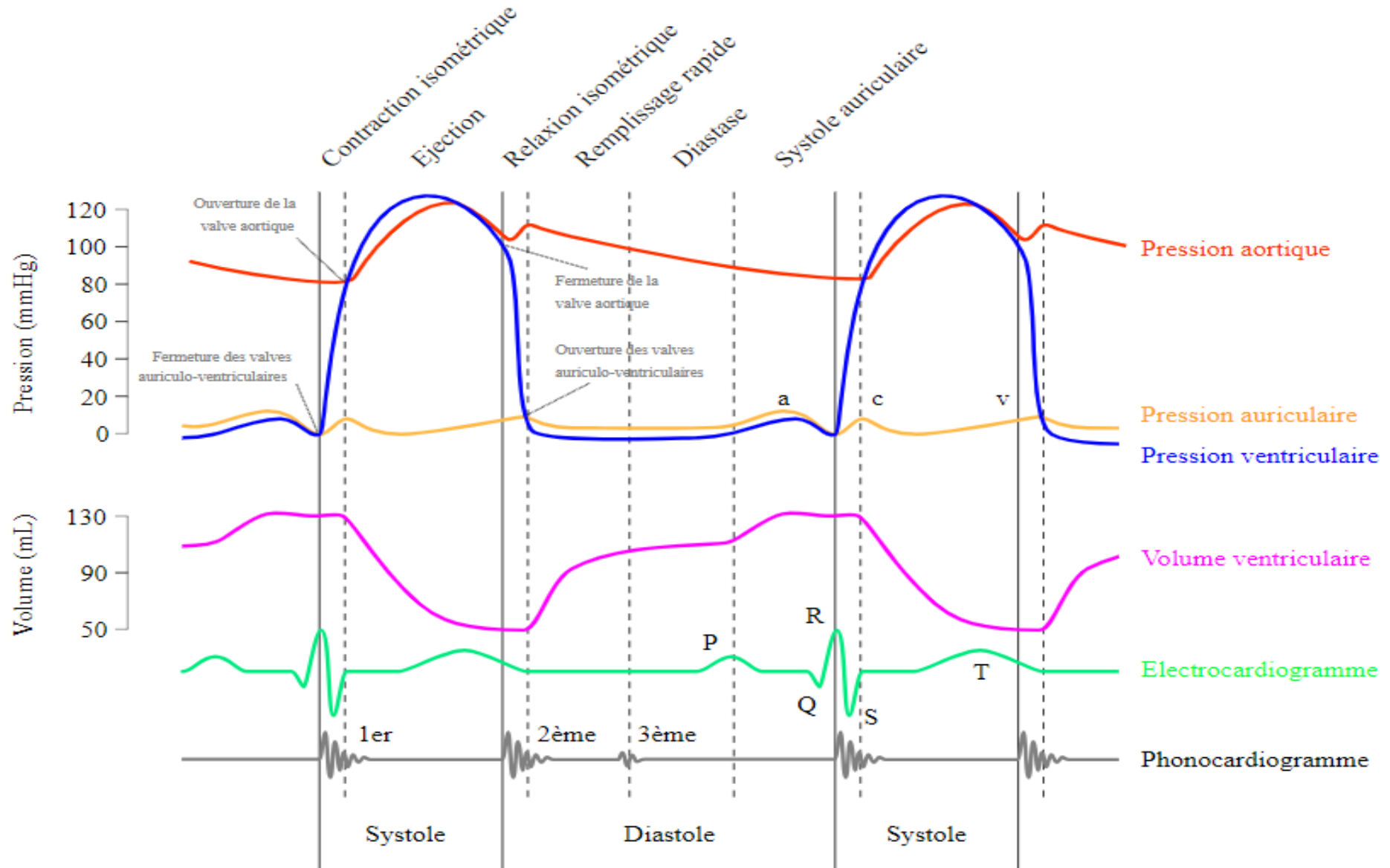
➤ *Volumes instantanés : VTS et VTD*

- Cathétérisme + injection de produit de contraste + clichés radio
- Echocardiographie
- Mesure des axes et calcul des volumes (avec hypothèse géométrique)

➤ *Courbe volume - temps*

- Médecine nucléaire: marquage radioactif des globules rouges
- Mesure de la radioactivité au cours du temps (d'une contraction)

Le diagramme de Wiggers



- 1- Courbe de pression

- a. **Courbe de pression 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.

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 dans l'aorte.

c. Courbe de pression 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 montée en pression se fait de façon progressive en raison du remplissage.

Tableau de différentes pressions

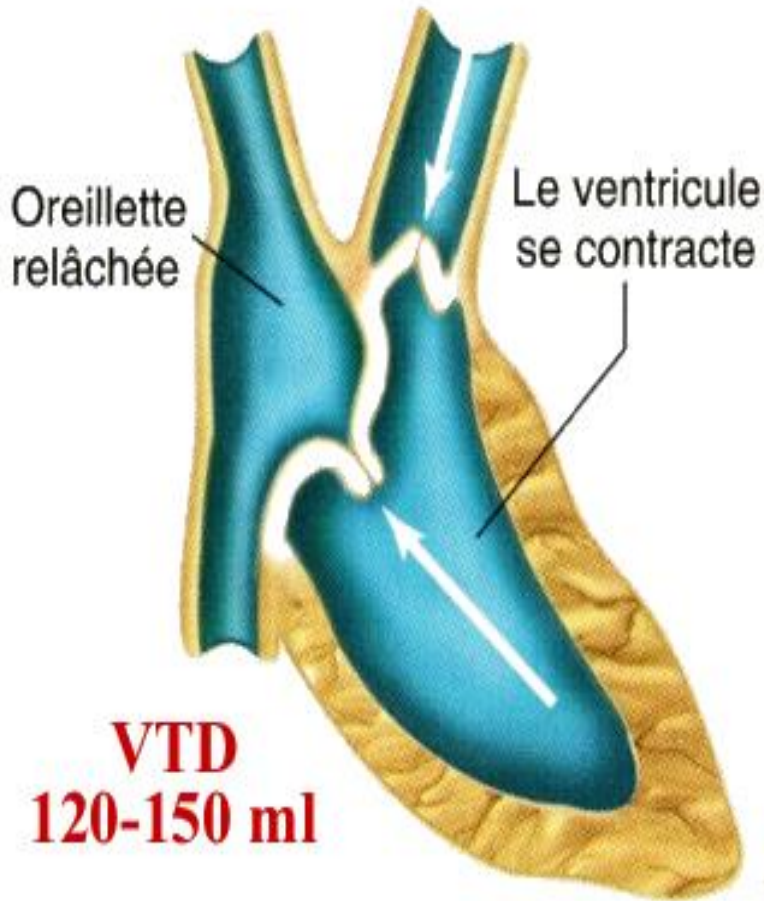
pression	Valeurs moyennes(mmHg)	Valeurs normales(mmHg)
Oreillette	3	0-8
Ventricule droit systole	25	15-30
Ventricule droit diastole	4	0-8
Artère pulmonaire	15	9-16
Oreillette gauche	8	2-12
Ventricule gauche systole	130	90-140
Ventricule gauche diastole	9	5-12
Artère brachiale	85	70-105

2 - Courbe des volumes

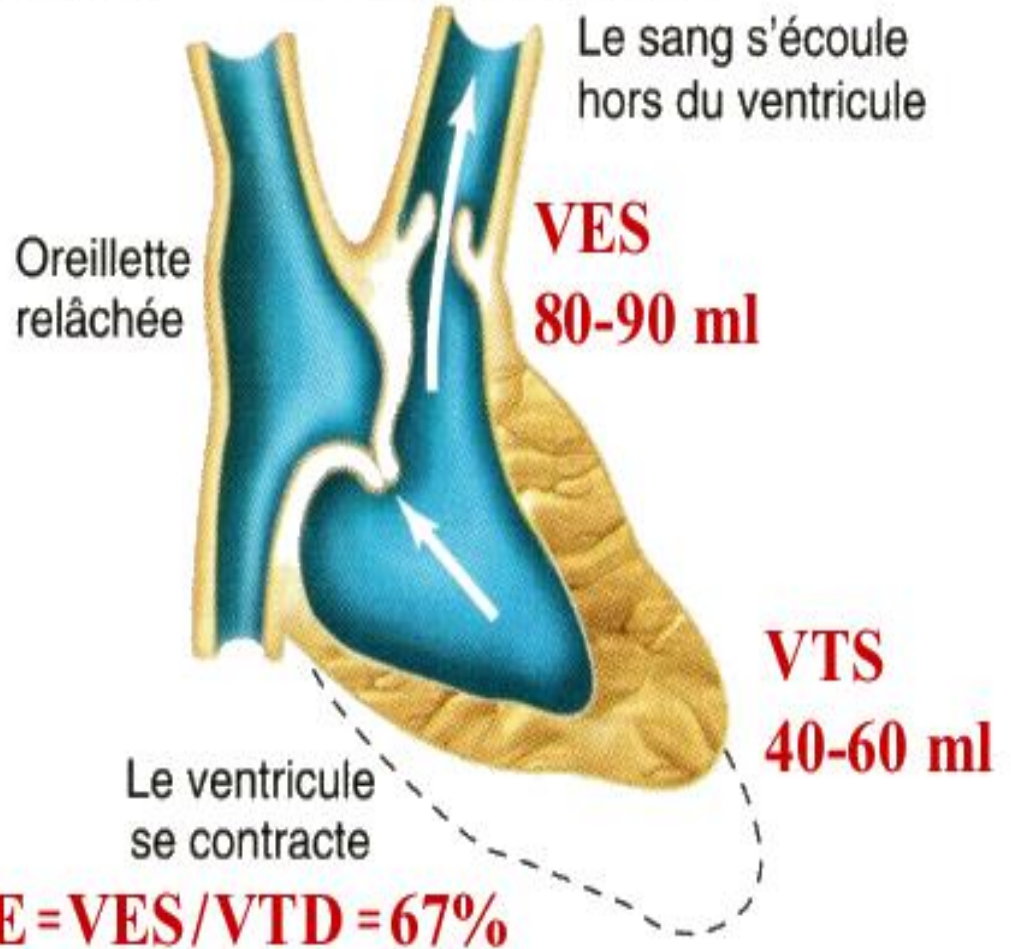
- ✓ Le coeur a le volume d'un poing. Son poids est de 300 g. Les cavités ont un volume de 100 ml en réplétion complète.
- ✓ Il existe un volume minimal : le ventricule ne se vide pas complètement. On distingue :
 - le volume éjecté : 50 à 70 %.
 - le volume résiduel : 30 ml. Volume **télésystolique**
- ✓ 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, il ne change pas pendant la contraction et la relaxation isovolumiques. Il est minimal en fin d'éjection.
- ✓ L'éjection est d'abord rapide puis plus lente.
- ✓ De même, le remplissage est rapide puis lent.

Volumes sanguins et cycle cardiaque

Contraction ventriculaire isovolumétrique



Éjection ventriculaire



Au total: les effets circulatoires du cycle cardiaque

- Au cours du cycle cardiaque, on distingue : les variations de volume suivantes:
 - Volume télé diastolique: 110 à 120 ml de sang
 - Volume d'éjection systolique: 70 ml de sang
 - Volume télé systolique: 40 à 50 ml de sang

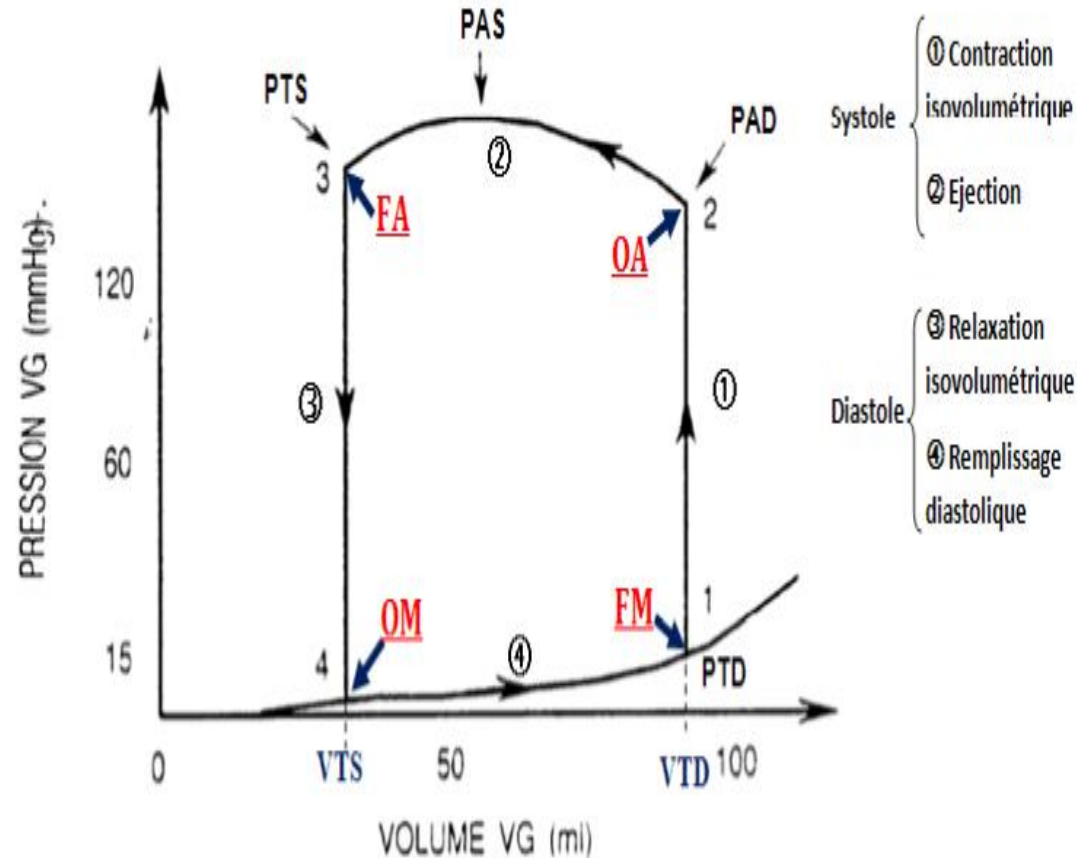
3-Courbe des débits

- Le débit est mesuré dans l'aorte initiale. Il est positif quand il se dirige vers l'aorte.
- La courbe varie uniquement pendant l'éjection : la courbe est nulle pendant la diastole et pendant les phases isovolumiques car les valves sigmoïdes sont fermées.
- Le débit aortique est de 5 l/mn au repos : c'est un débit moyen.
- Pour un cycle de 1 sec, l'éjection est de 200 à 300 ms pour 50 à 70 ml éjecté (50 ml pendant $\frac{1}{3}$ sec = 150 ml/s : c'est le débit moyen pendant la systole).
- Après la contraction, le cœur se relâche : le sang tend à revenir en arrière et ferme les valves aortiques : petit pic de débit négatif en phase de relaxation isovolumique.
Il marque l'efficacité des valves sigmoïdes (il devient énorme quand les valves sont défectueuses).

Relation pression /volume

A partir de la relation pression, en fonction du volume de ventricule gauche on peut définir une boucle pression volume:

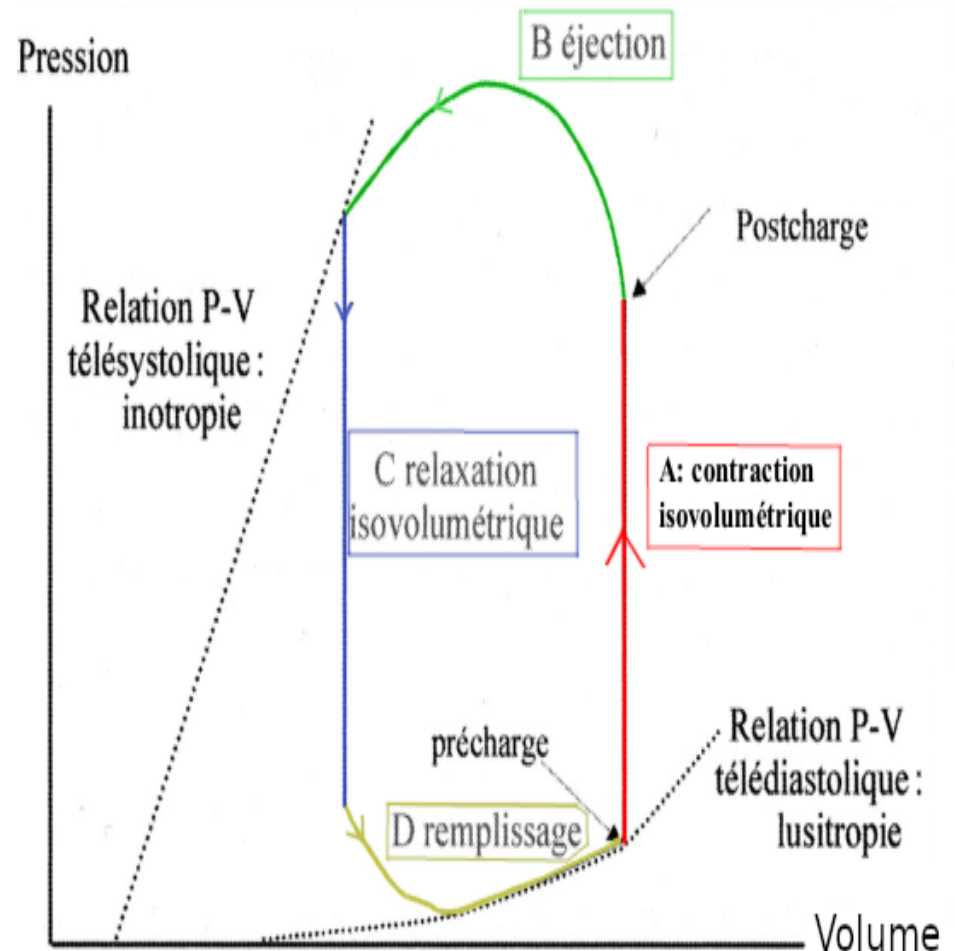
- ✓ La systole **débute** au point télédiastolique (PTD) du VG ou point 1.
- ✓ La contraction isovolumétrique fait passer la pression du point 1 au point 2, **phase la plus consommatrice d'énergie**.
- ✓ Après commence la phase d'éjection (jusqu'au point 3).
- ✓ Cette phase d'**éjection** se caractérise par une diminution progressive du volume avec un sommet de pression : le **pic de pression systolique** (représente la pression artérielle systolique PAS).



FM : Fermeture de la valve mitrale. OM : Ouverture de la valve mitrale.

FA : Fermeture de la valve aortique. OA : Ouverture de la valve aortique.

- ✓ La pression baisse progressivement jusqu'au point 3 : pression télésystolique (PTS).
- ✓ Lors de la phase de **relaxation isovolumétrique diastolique** du VG, la pression chute du point 3 au point 4.
- ✓ La valve mitrale s'ouvre le remplissage du VG s'effectue.
- ✓ La pente du point 4 au point 1 témoigne de la compliance du VG et de la tension intraventriculaire.
- ✓ Cette boucle P/V témoigne du **travail du cœur**.



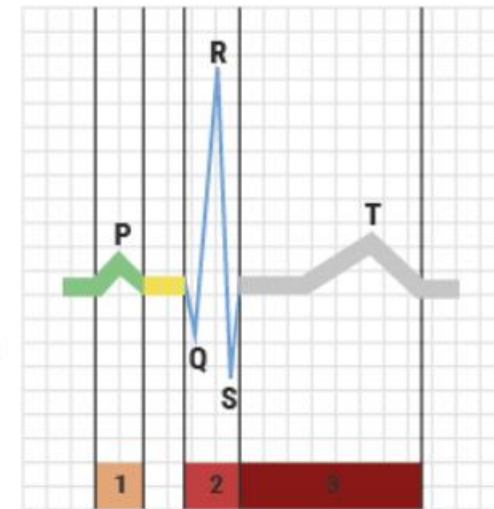
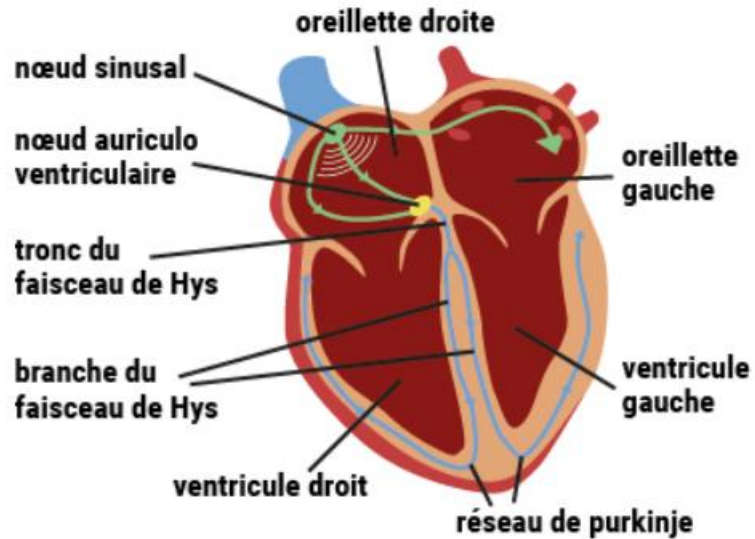
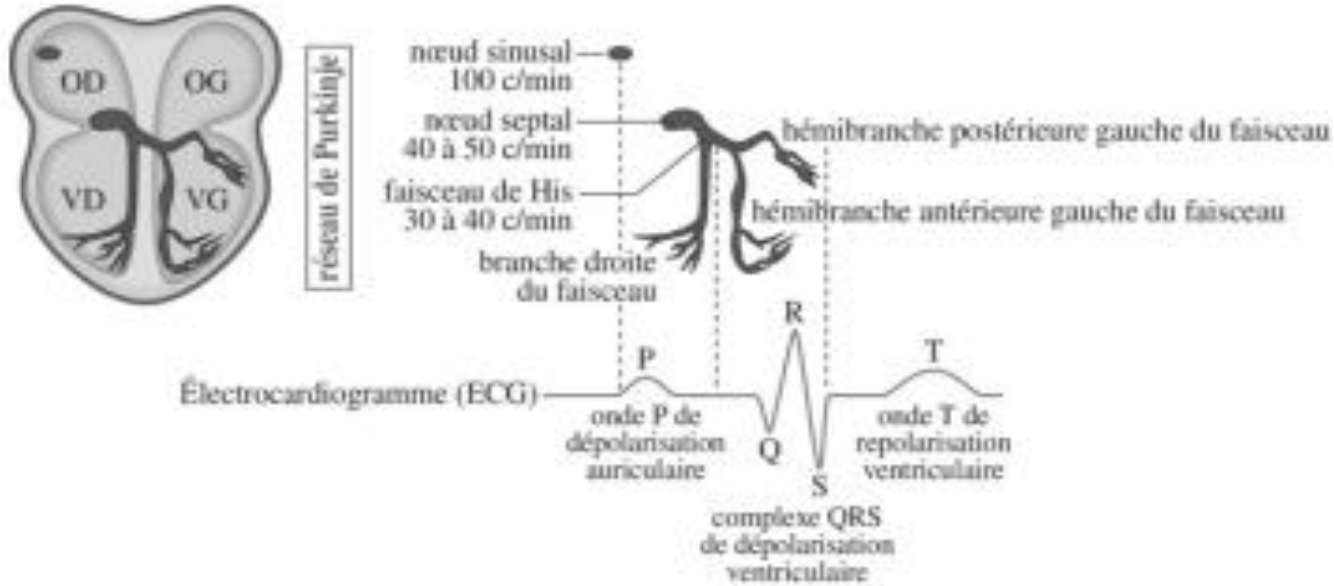
Signes électriques : ECG

- Il existe un décalage de 50 ms entre le phénomène électrique et les manifestations anatomiques et hémodynamiques.
- Le cycle électrique commence à l'onde P.
 - Onde P : dépolarisation auriculaire qui précède la systole auriculaire.
 - Complexe QRS : excitation ventriculaire
 - Onde T : repolarisation ventriculaire.

- Onde P (0,08-0,1 s) auriculogramme = dépolarisation de l'oreillette qui précède et déclenche la systole auriculaire
- Complexe QRST (0,3-0,6 s) : ventriculogramme ou potentiel d'action ventriculaire (forme asymétrique liée à l'inégalité de la taille des ventricules)
 - o Onde QRS (0,06-0,1 s) = dépolarisation du ventricule qui précède et déclenche la systole ventriculaire
 - o Onde T = repolarisation du ventricule qui précède la diastole
- PR (0,12-0,2 s) : temps de conduction auriculo-ventriculaire.

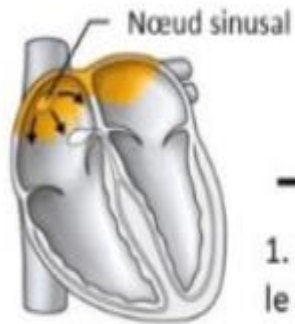
- Le retour au potentiel de repos est très long, ce qui explique que les fibres musculaires cardiaques sont intétanisables.

Contraction cardiaque et ECG

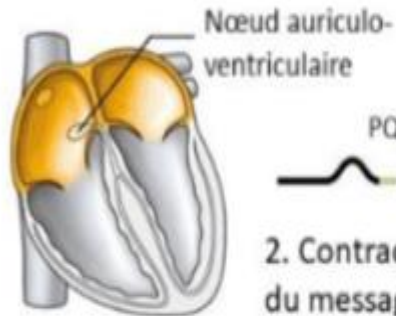


- 1 contraction des oreillettes
- 2 contraction des ventricules
- 3 repolarisation des ventricules

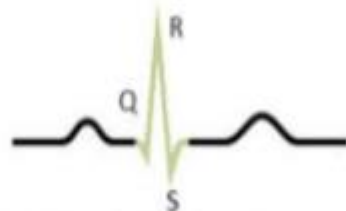
Cycle cardiaque et ECG



1. Dépolarisation des oreillettes initiée par le nœud sinusal.



2. Contraction des oreillettes et conduction du message nerveux au nœud auriculo-ventriculaire. Les ventricules se remplissent.



3. Dépolarisation des ventricules. Repolarisation des oreillettes.



4. Contraction des ventricules. Les oreillettes commencent à se remplir.



5. Repolarisation des ventricules depuis l'apex du cœur.



6. La repolarisation des ventricules est complète, le cœur est relâché, les cavités se remplissent passivement.

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*

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 **mécaniques** 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.

Au total: les effets circulatoires du cycle cardiaque

- Au cours du cycle cardiaque, on distingue les variations de volume suivantes:
 - Volume télé diastolique(**VTD**): 110 à 120 ml de sang
 - Volume d'éjection systolique(**VES**): 70 ml de sang
 - Volume télé systolique(**VTS**): 40 à 50 ml de sang