

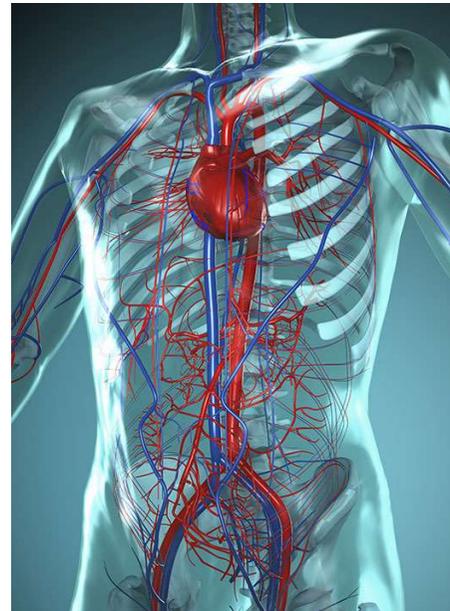
# *Introduction à la physiologie cardiovasculaire*

université  
PARIS-SACLAY

FACULTÉ DE  
PHARMACIE

UEM 907

Master 1 «Sciences des médicaments et des produits de santé »



1

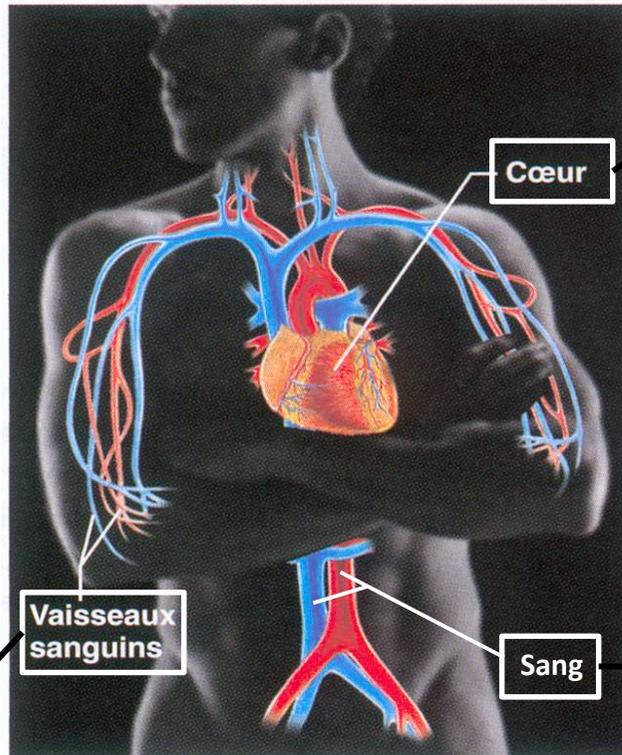


**Pr Anne Garnier**

Unité UMR-S 1180 - Faculté de Pharmacie  
Bâtiment Henri Moissan, HM1  
Jessica.sabourin@universite-paris-saclay.fr

# Introduction

- **système cardiovasculaire** → 3 composantes reliées entre elles



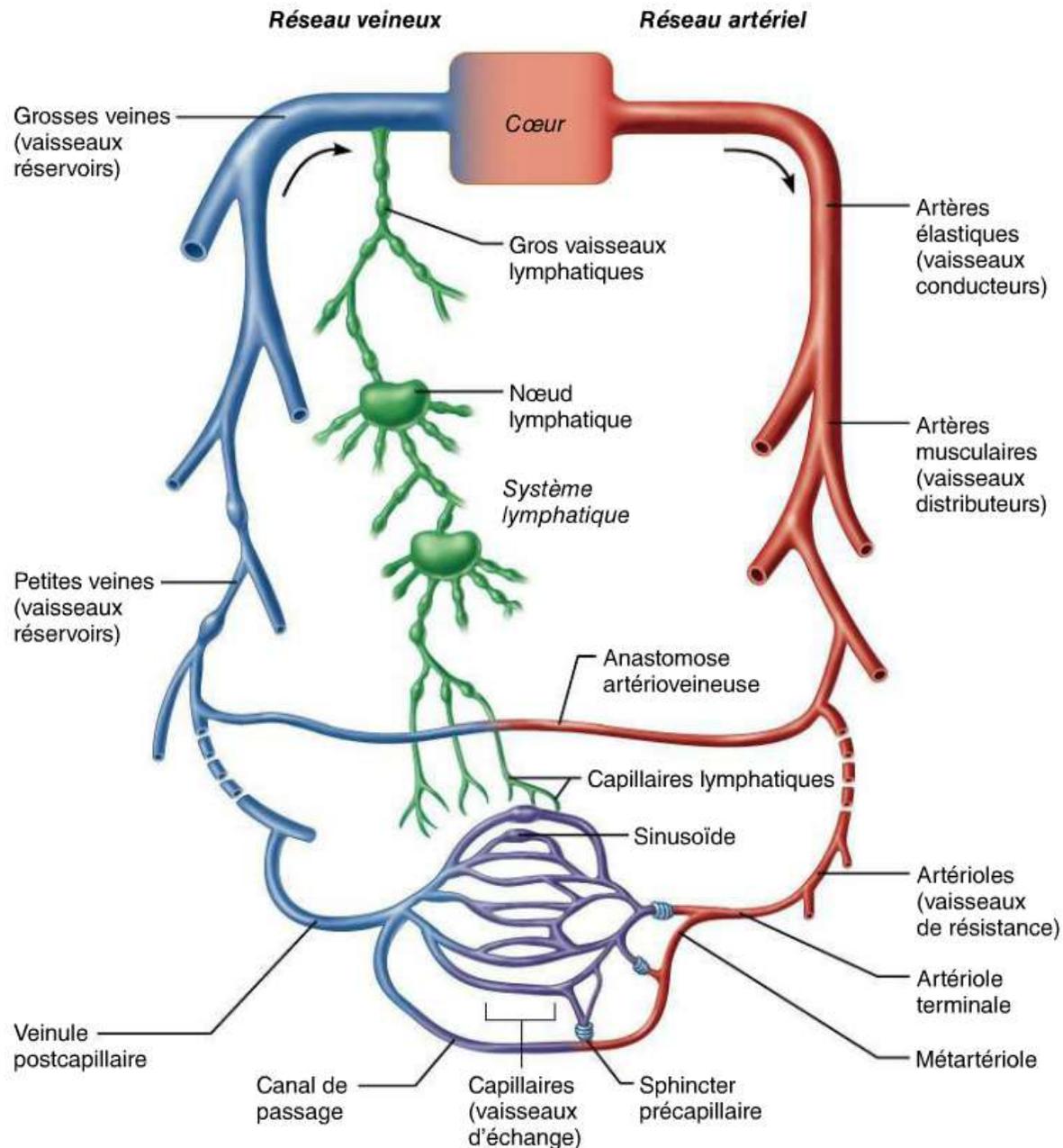
**centre** du système CV =  
**organe moteur ou pompe**  
→ 5 l/min sang dans les vaisseaux  
→ fonctionne en permanence

= **transporteur**  
→ nutriments, déchets et gaz

= **réseau fermé**  
→ circulation du sang

- ☞ apporter **O<sub>2</sub> et nutriments** aux tissus et ôter **déchets, CO<sub>2</sub> et chaleur**
- ☞ **communication des cellules entre-elles** ↔ substances / sang (hormones)

# Vue générale du système vasculaire



👉 le **système vasculaire** = système clos ( $\approx 100\ 000\ \text{km}$ ) composé de **3 types** de vaisseaux sanguins :

- **les artères**

→ transporter le sang à partir du cœur jusqu'aux tissus

- **les veines**

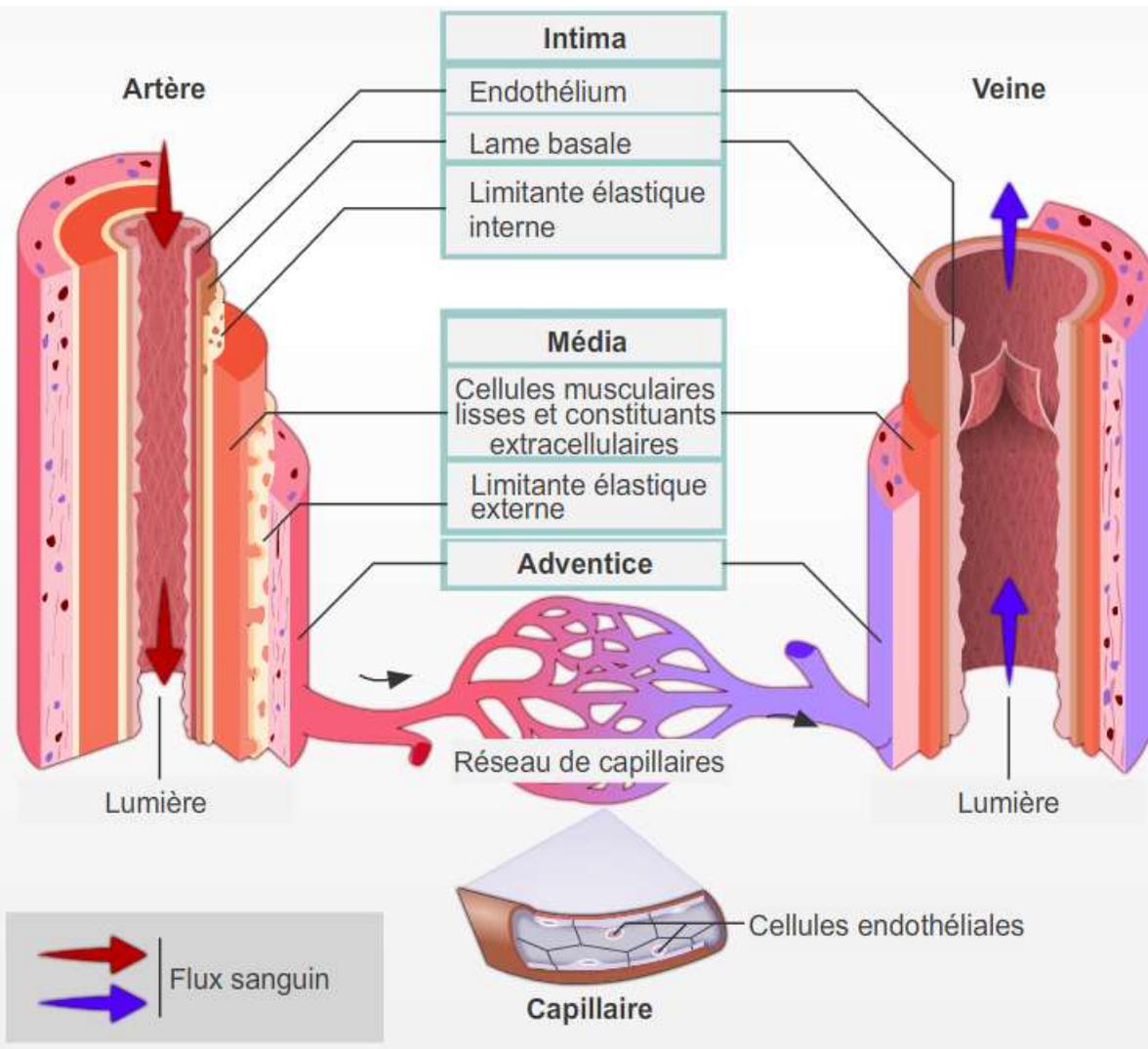
→ ramener le sang des tissus jusqu'au cœur

- **les capillaires**

→ vaisseaux microscopiques, seule partie perméable du système circulatoire = lieu des échanges entre le sang et les tissus

# Structure de la paroi des vaisseaux

- la paroi **des artères et des veines** : **mêmes éléments** mais importance **relative** en fonction du type de vaisseau → propriétés caractéristiques **spécifiques**



- la paroi **des artères et des veines** est constituée de **trois couches** :

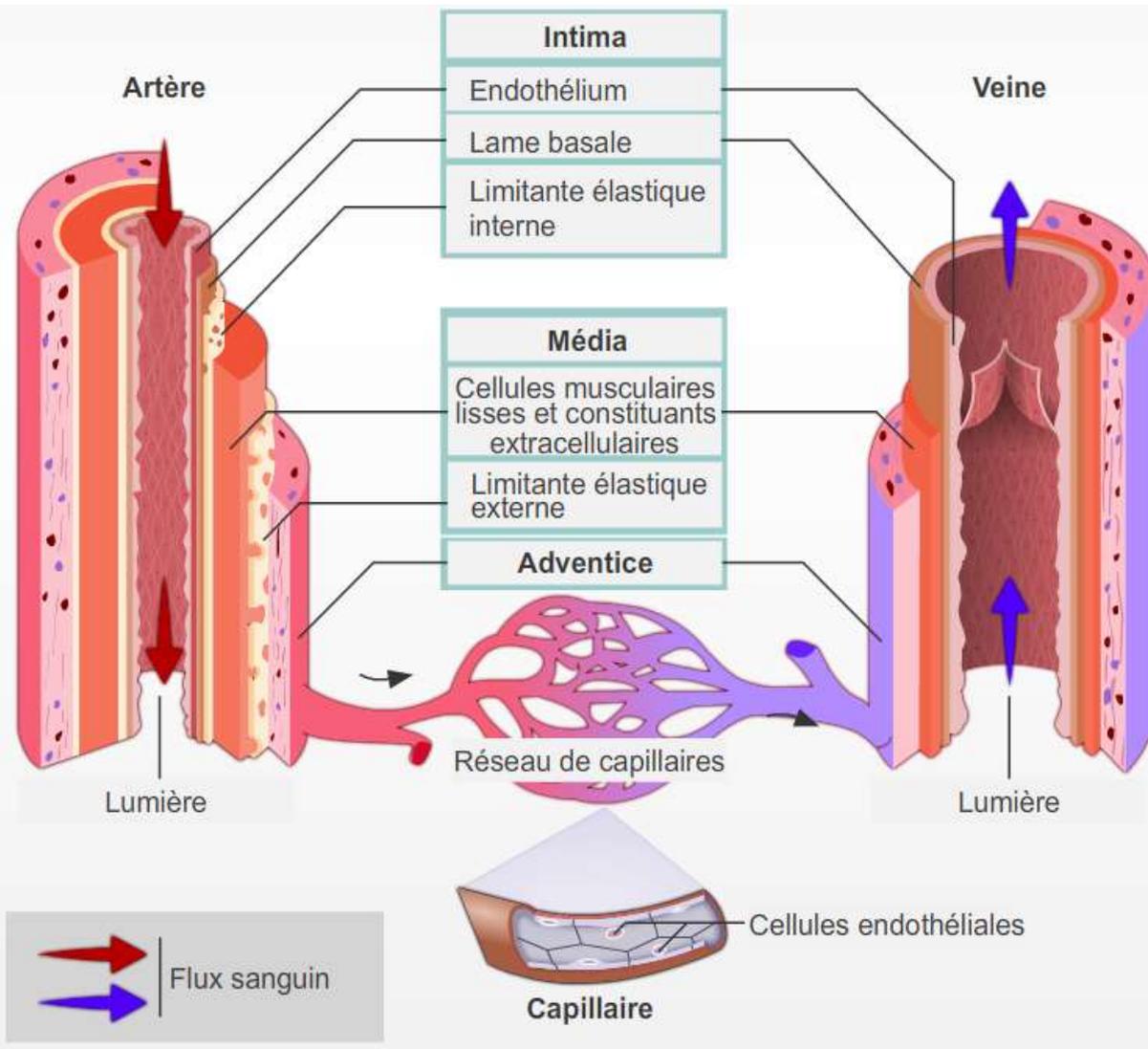
◇ **l'intima**, tunique interne  
→ rôle majeur de **l'endothélium**

- régulation PA locale
- (-) formation thrombus
- croissance des vaisseaux (angiogénèse)
- échanges sang/cellules sous-jacentes

◇ la **média**, tunique moyenne

- rôle majeur des **cellules musculaires lisses** / contrôle du  $\emptyset$  des vaisseaux

# Structure de la paroi des vaisseaux



◊ l'adventice, tunique externe

- vaisseaux **sanguins** → nutrition de la paroi
- vaisseaux **lymphatiques**
- **terminaisons nerveuses**  $\Sigma$  (artères et veines de pt calibre) → libération de NA → CML sous-jacentes (média) → R  $\alpha 1$ -Adr = vasoconstriction / R  $\beta$  Adr = vasodilatation

• la paroi **des capillaires** une seule couche de cellules endothéliales = **endothélium**

- (+) échanges sang/tissus
- 3 types / lame basale
- capillaires continus
- capillaires fenêtrés
- sinusoides

# Réseau vasculaire : 2 circuits du sang

## 1. La grande circulation ou circulation systémique

= part du **cœur gauche** → **apporter O<sub>2</sub>** et **nutriments aux tissus et organes**

- **réseau artériel : aorte** → **artérioles**

- **conduction** du sang / déformation

- réseau à **haute pression**, peu de résistance à l'écoulement du sang

- **réseau artériolaire**

- réseau **résistif** = forte résistance à l'écoulement du sang

- capacité à **modifier son diamètre** (fibres musculaires lisses) → adaptation du débit aux besoins des tissus

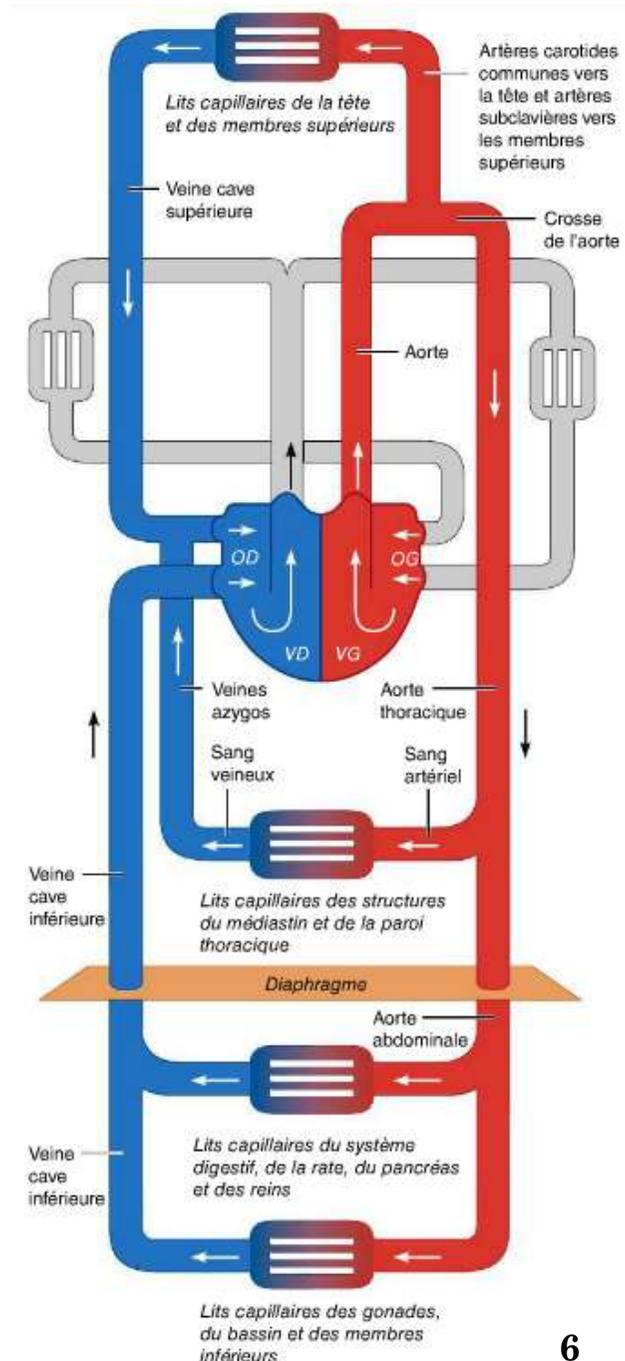
- **réseau capillaire**

- assurer **les échanges** de gaz, nutriments et déchets entre le sang et les cellules

- **réseau veineux**

- retour du sang au cœur

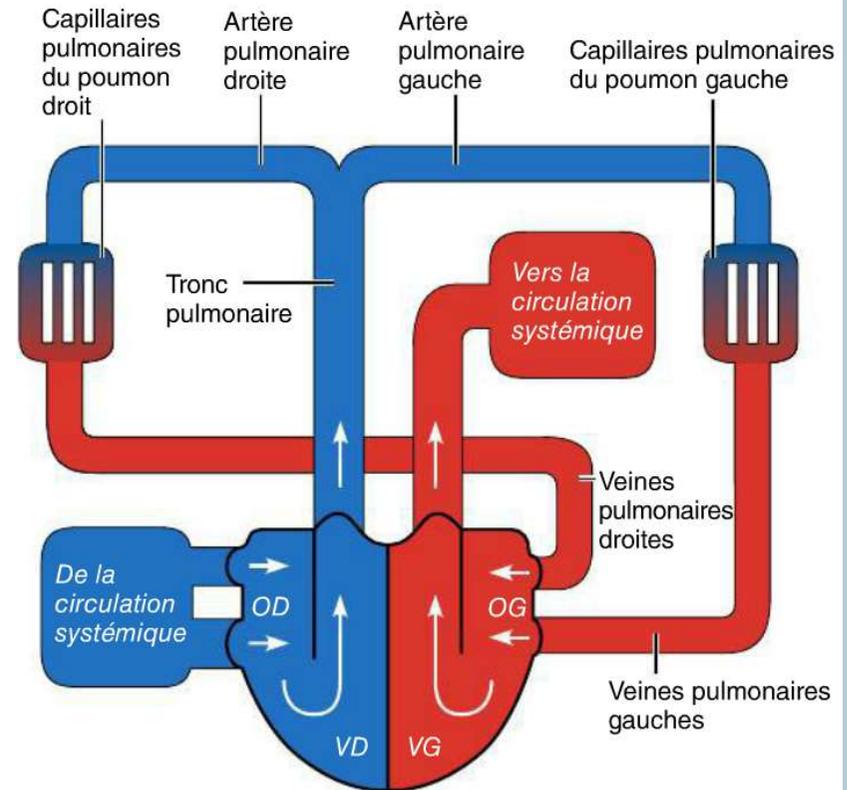
- réseau à **basse pression** (action du cœur, pompes respiratoires et musculaires, valvules internes)



## 2. La petite circulation ou circulation pulmonaire

= part du **cœur droit** → **oxygénation du sang**

- réseau à **basse pression**
  - pas de sphincter précapillaire
- **résistance faible**
  - parois artères pulmonaires **déformables** → amortissement écoulement par saccades du sang et perfusion continue des capillaires
- échanges **uniquement de gaz**



# Pression du sang dans le secteur à haute pression

- **pression sanguine** = force exercée par le sang sur les parois du vaisseau sanguin qui le contient (pression artérielle / pression veineuse)

☞ **secteur à haute pression** : du ventricule gauche en systole jusqu'aux artérioles

- pression **pulsatile** ↔ changements de pression du VG au cours du cycle cardiaque

- pression maximale = **pression systolique** (PAS) / contraction du VG

→ force de contraction du VG

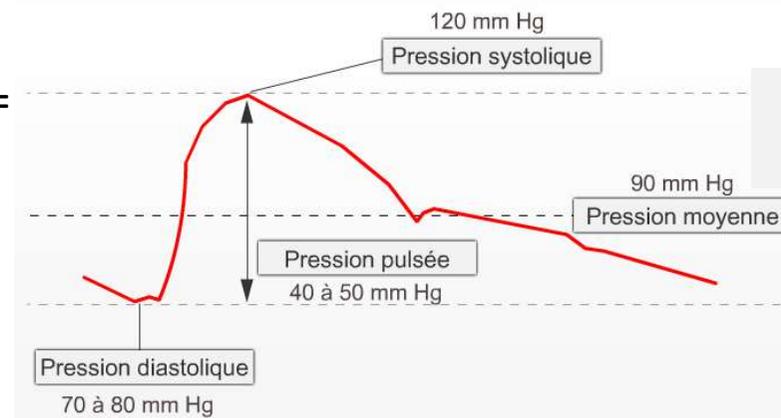
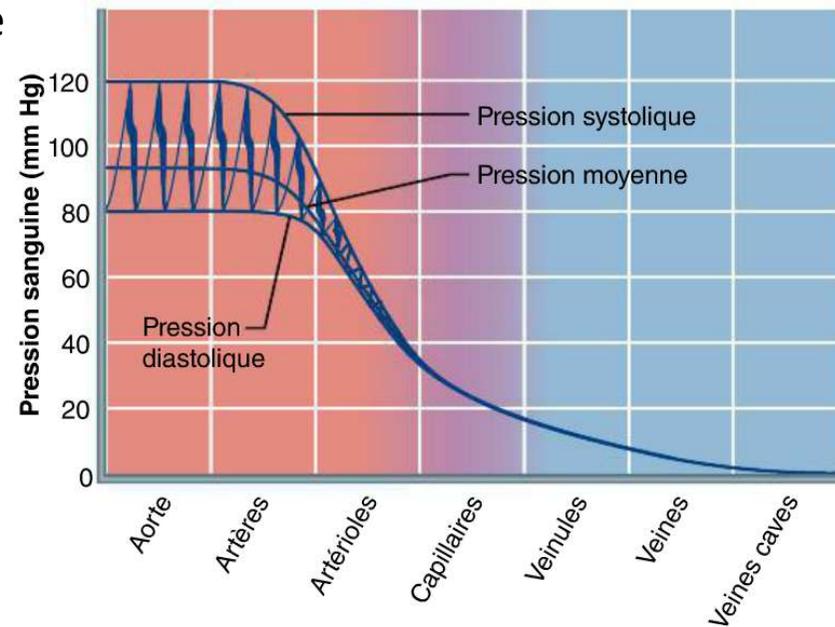
- pression minimale = **pression diastolique** (PAD) / relaxation du VG

→ résistances périphériques des artérioles

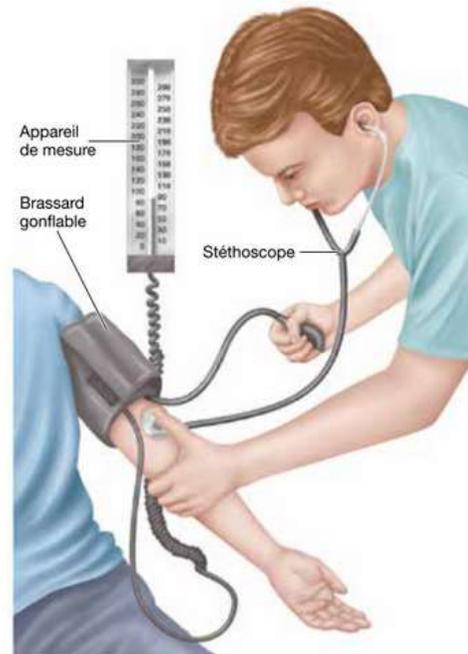
- **pression différentielle ou pulsée (PD)** = PAS - PAD → rigidité artérielle

- **pression artérielle moyenne (PAM)**

$PAM = PAD + 1/3 PD$



# Mesure de pression artérielle et variations pathologiques



(a) Mesure de la tension artérielle avec un sphygmomanomètre plus couramment appelé tensiomètre

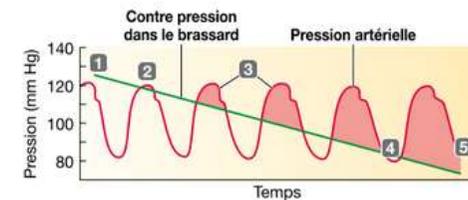
## ■ Hypotension :

Il n'existe pas vraiment de valeurs seuils à partir desquelles on parle d'hypotension artérielle.

## ■ Hypertension (HTA) :

Si la PAS est supérieure à 140 mm Hg et/ou la PAD est supérieure à 90 mm Hg.

L'HTA peut être permanente (retrouvée à trois reprises au moins) ou paroxystique lorsque les chiffres sont élevés de façon transitoire, ce qui nécessite un enregistrement sur 24 h pour en assurer le diagnostic. La gravité de l'HTA est liée aux complications qu'elle peut entraîner à long terme : risque de développer des accidents vasculaires cérébraux ou myocardiques, une hypertrophie du ventricule gauche. Chez le sujet plus âgé, elle va souvent s'accompagner d'une altération de la fonction rénale.



(c) Graphique représentant l'évolution dans le temps de la tension artérielle et de la contre-pression dans le brassard avec l'apparition et la disparition du son lié à l'écoulement turbulent dans l'artère

Avec une pression artérielle de 120/80 mm Hg :



Contre pression dans le brassard supérieure à 120 mm Hg :

Pas d'écoulement dans l'artère.

1 Pas de son audible.



Contre pression dans le brassard entre 120 et 80 mm Hg :

Écoulement turbulent quand la pression dans l'artère est supérieure à la contre pression dans le brassard.

2 Le premier son est entendu lors du pic de pression systolique.

3 Son intermittent du fait de la variation de pression artérielle au cours du cycle.



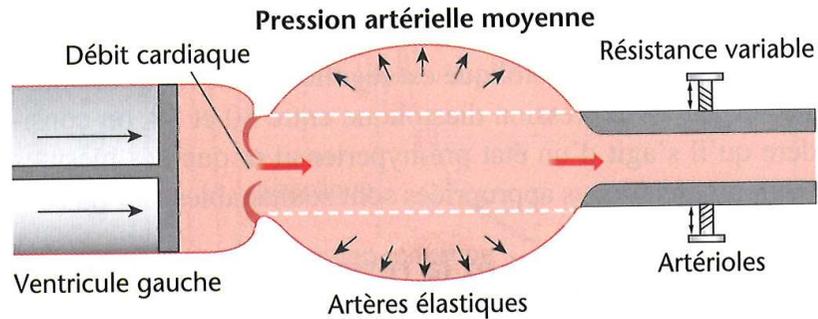
Contre pression dans le brassard inférieure à 80 mm Hg :

Écoulement laminaire dans l'artère.

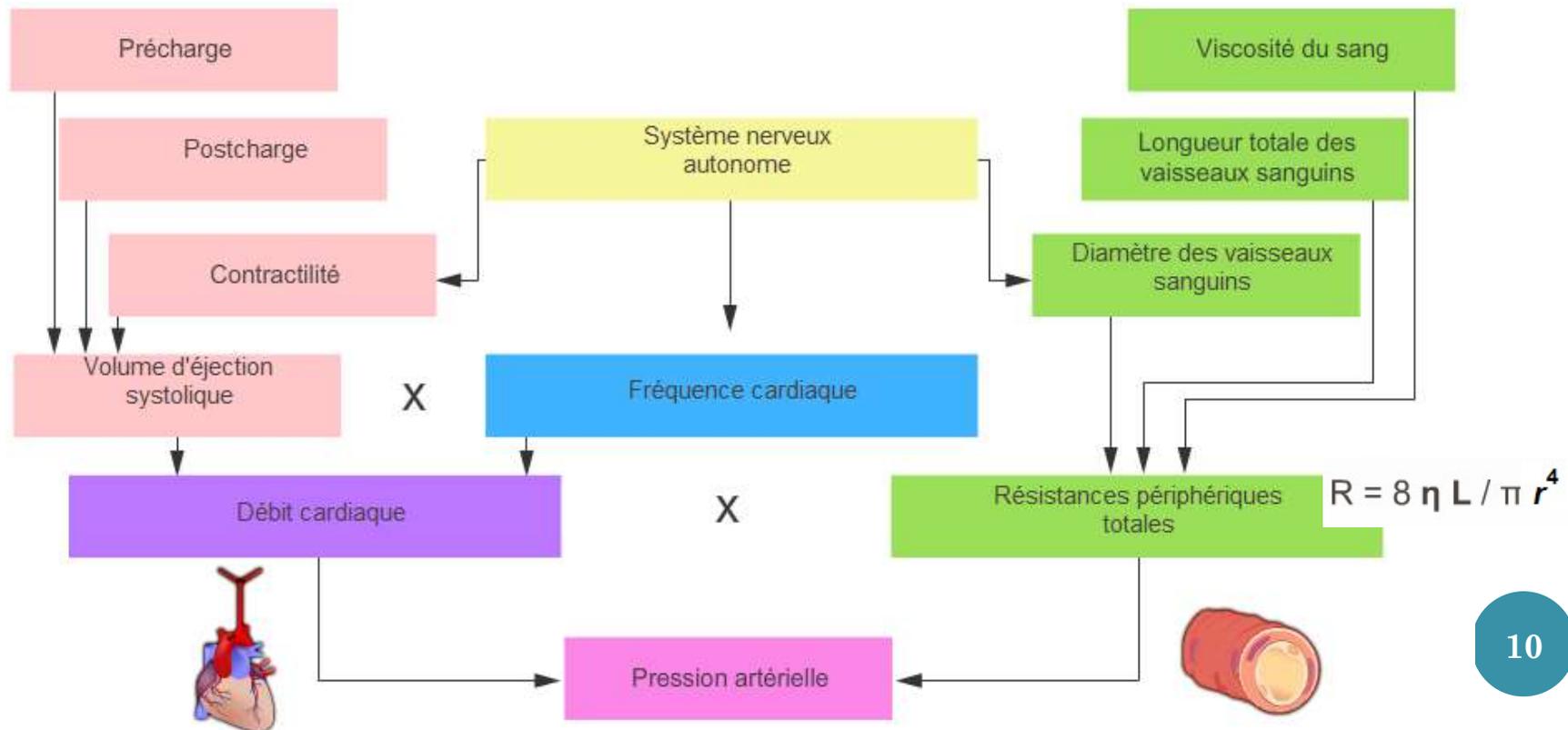
4 Le dernier son est entendu lors de la pression diastolique minimale.

5 Pas de son audible.

# Contrôle de la pression artérielle



- **pression artérielle** : équilibre entre le flux de sang entrant dans les artères ↔ **débit cardiaque** et le flux de sang sortant des artérioles ↔ **résistances périphériques**



# Systemes de régulation de la pression artérielle

- **action à court terme** (quelques sec) à travers :

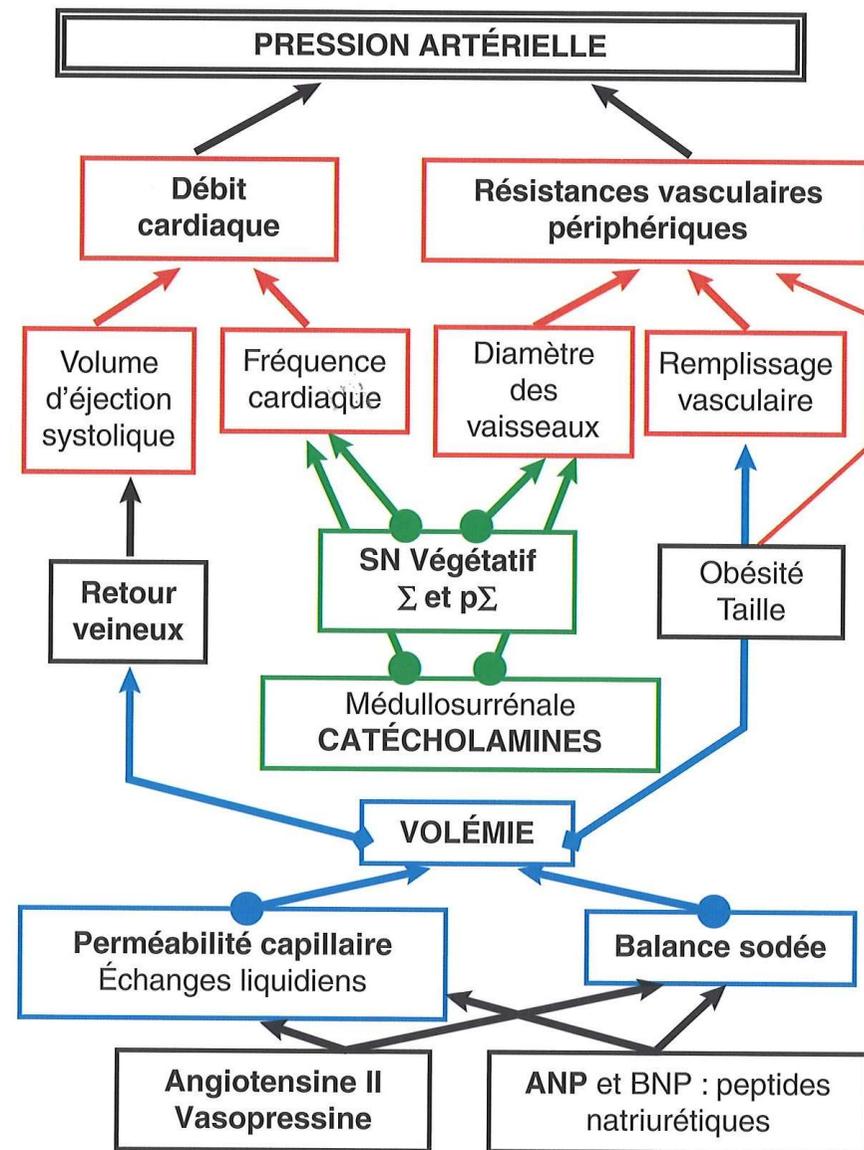
- le **baroréflexe (SN végétatif)** pour la pression **systemique**
- l'**endothélium** pour la pression **locale**

- **action à long terme** → les reins au cœur de la régulation :

- le système **rénine-angiotensine-aldostérone**
- les **peptides natriurétiques cardiaques**

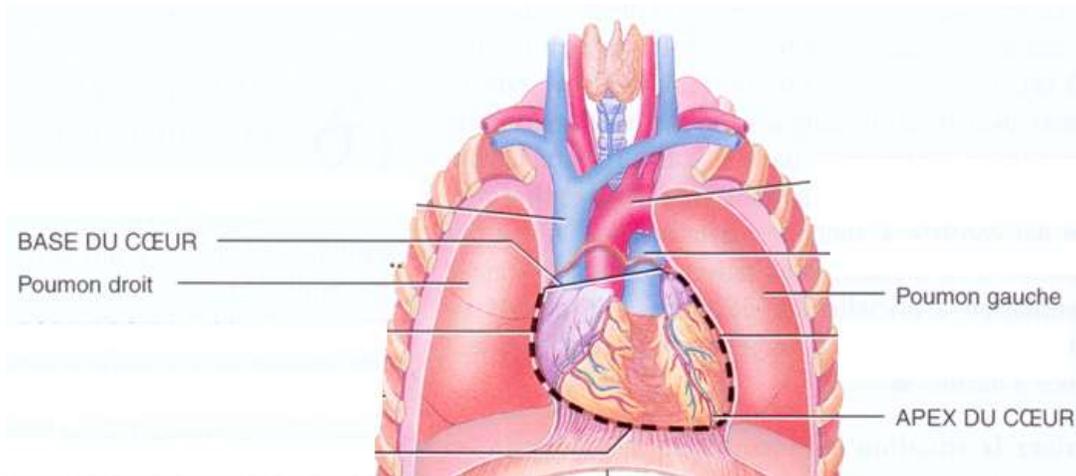
☞ bien distinguer :

- le **contrôle de la PA systemique** des vaisseaux ↔ maintenir une pression appropriée de tous les organes
- le **contrôle du débit de perfusion d'un organe ou tissu** ↔ une régulation locale

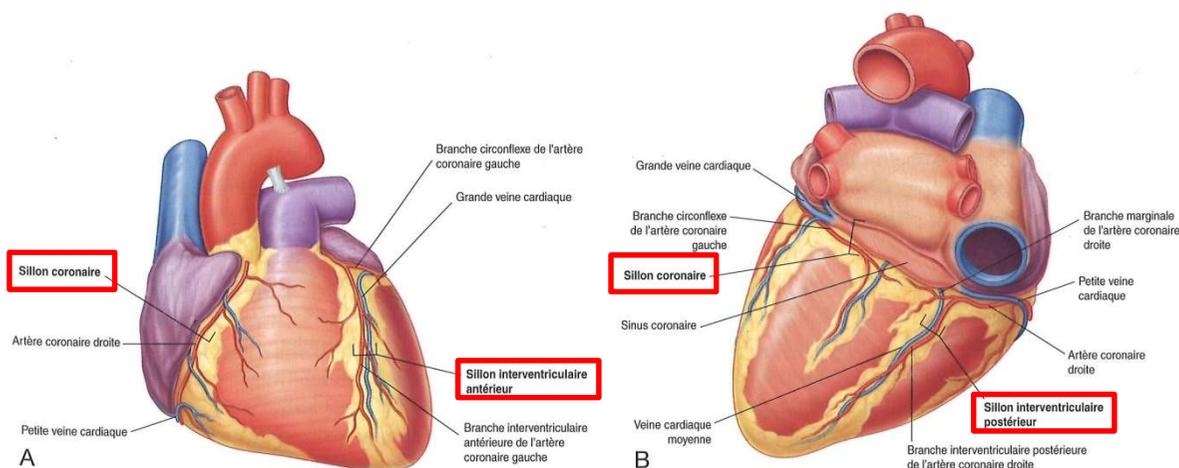


# Morphologie du cœur

## 1. Position du cœur dans le médiastin



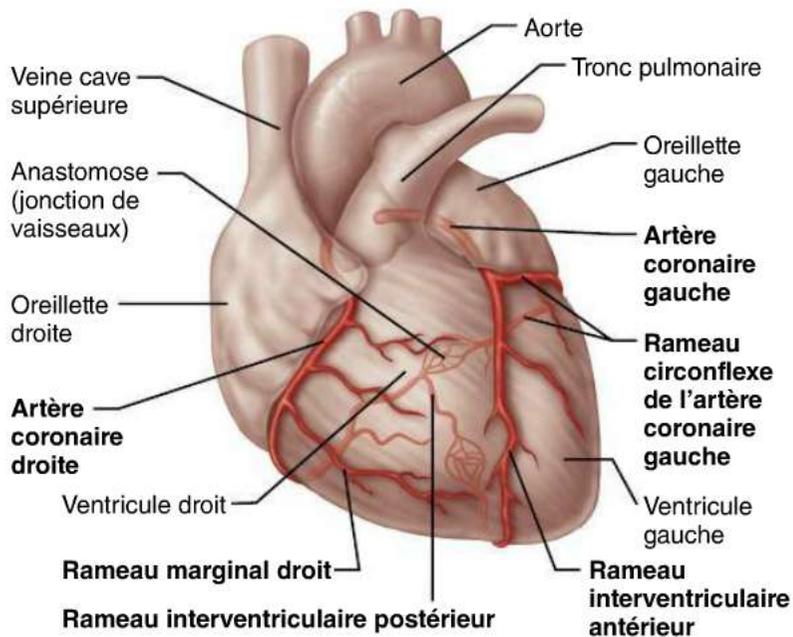
- **muscle creux**, conique, gros comme un point fermé, pesant 250 à 300 g
- **posé sur le diaphragme**
- la pointe = l'**apex** tourné vers le bas à gauche et la **base** en haut



- présence de **≠ sillons**
  - **sillon coronaire** à la base du cœur → séparation des oreillettes et des ventricules
  - **sillons inter-ventriculaires antérieur et postérieur** → séparation des 2 ventricules

## 2. Vascularisation du cœur

☞ paroi du cœur → vaisseaux ( $O_2$  et nutriments aux cellules cardiaques) disposés en couronne = **circulation coronaire**



### a. les artères coronaires

- naissance à la base de l'aorte

#### ① artère coronaire gauche

→ artère interventriculaire antérieure pour les 2 ventricules

→ rameau circonflexe pour l'oreillette et le ventricule gauches

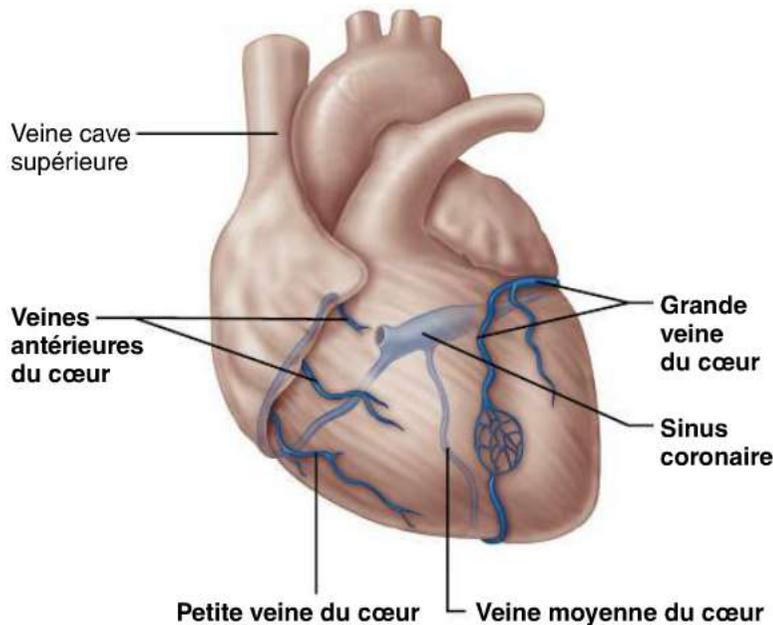
#### ② artère coronaire droite

→ artère interventriculaire postérieure pour les 2 ventricules

→ rameau marginal pour l'oreillette et le ventricule droits

## 2. Vascularisation du cœur (suite)

☞ paroi du cœur → vaisseaux ( $O_2$  et nutriments aux cellules cardiaques) disposés en couronne = **circulation coronaire**



### b. les veines coronaires

- **grande veine** (face antérieure du cœur)

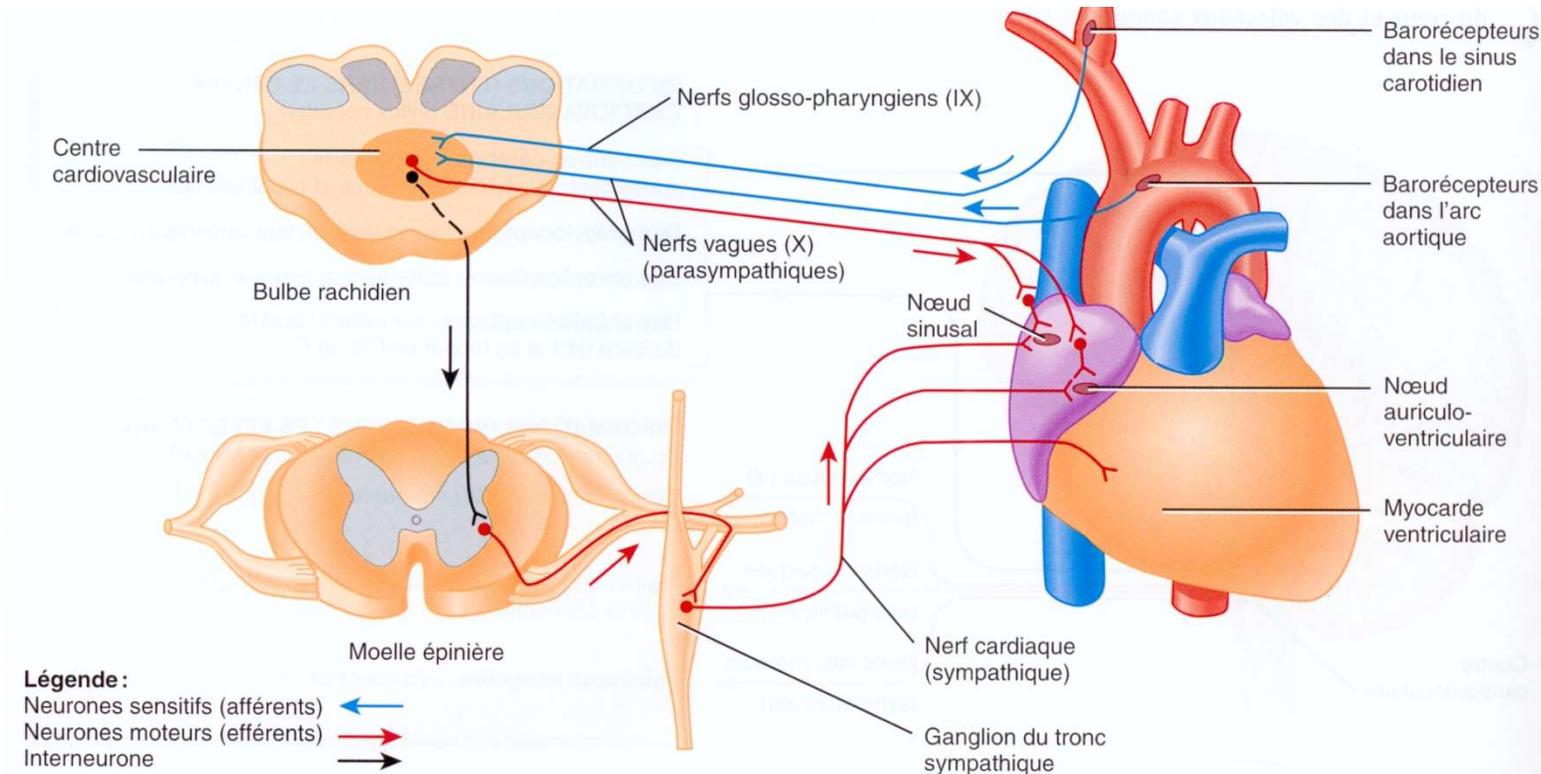
- **veine moyenne** (face postérieure du cœur)

→ dans le **sinus coronaire** (face postérieure) dépourvu de musculature lisse ( $\emptyset$  invariable)

→ oreillette droite

### 3. Innervation cardiaque

☞ absence d'innervation motrice volontaire, mais innervation végétative paraΣ et Σ → adaptation aux influences extérieures



- **fibres sympathiques**

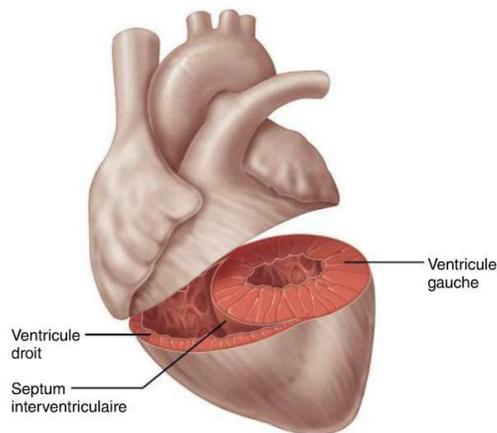
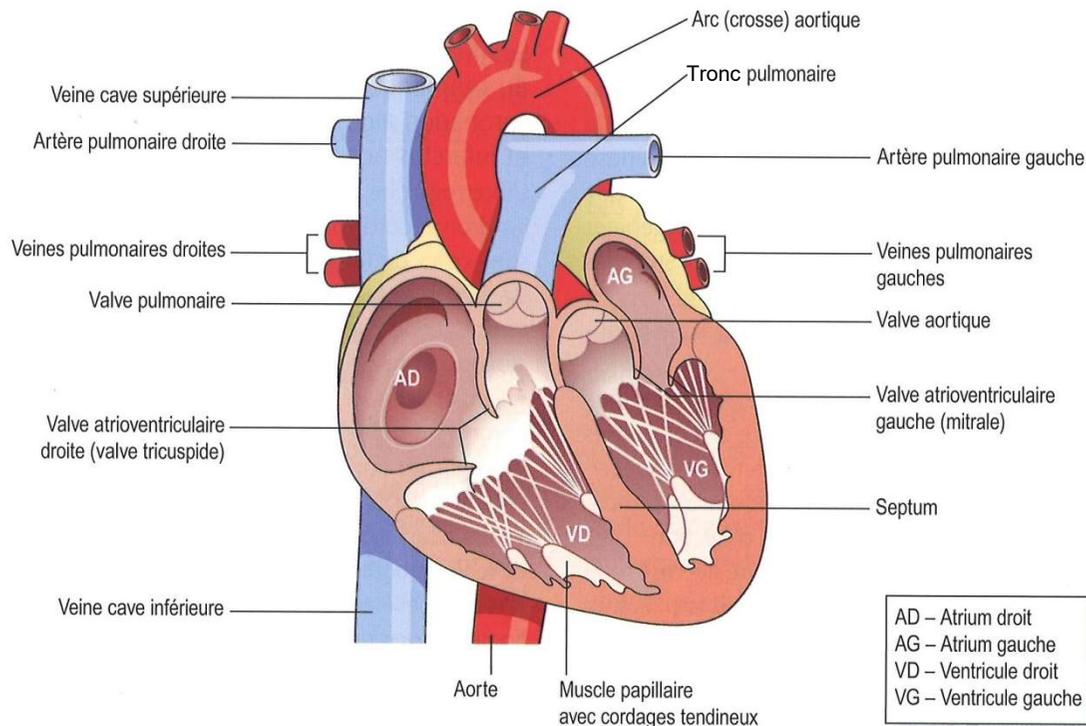
- moelle thoracique → relais ganglion stellaire → innervation des **oreillettes** et des **ventricules** (noradrénaline et récepteurs  $\beta$ -adrénergiques)

- **fibres parasympathiques**

- bulbe rachidien (noyau du nerf vague X) → relais paroi même du cœur → innervation seulement des **oreillettes** (acétylcholine et récepteurs muscariniques)

# Cavités et valves cardiaques

## 1. Les cavités du cœur



- **≠ épaisseur paroi**

- paroi V > paroi O
- paroi VG > paroi VD ↔ travail à fournir

- **4 cavités** : 2 cavités supérieures = **les oreillettes (atria) droite (OD) et gauche (OG)** et 2 cavités inférieures = **les ventricules droit (VD) et gauche (VG)**

- **volume ≠ / cavité**

- OD 150 ml, OG 100 ml, VD 200 ml et VG 175 ml

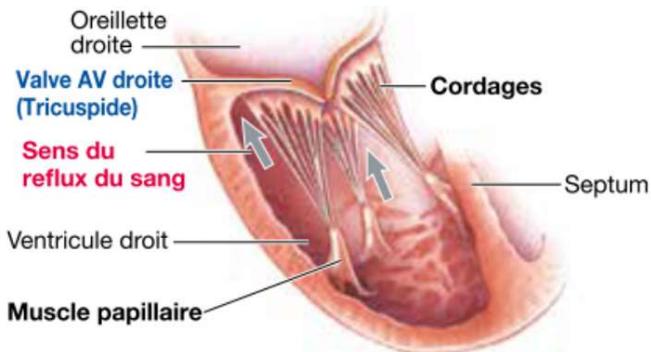
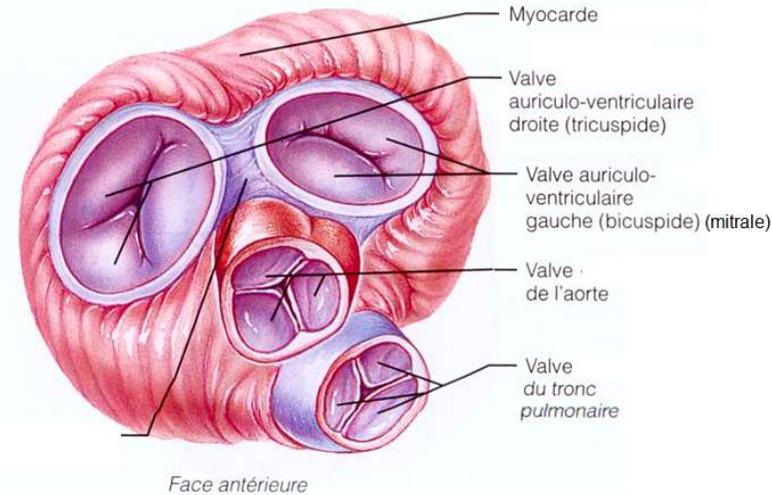
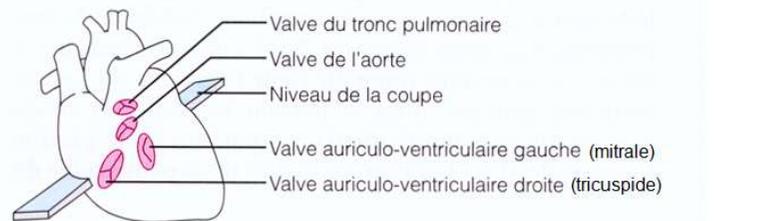
- **cœur droit (OD+VD) et cœur gauche (OG+VG)**

- pas de communication chez l'adulte → séparation par paroi centrale = **septum** avec septum inter-auriculaire et septum inter-ventriculaire
- mais fonction synchrone

- **tissu conjonctif** entre O et V = isolant électrique (pas de passage de PA)

## 2. Les valves du cœur

☞ orifice de communication entre les O et les V ou entre les V et les artères →  
**valve = clapet anti-retour** à fonction mécanique **passive** ↔ pressions

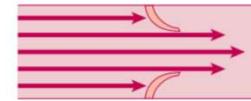


### a. valves auriculo-ventriculaires

- situées entre les O et les V
- à droite = valve **tricuspide** (3 lames triangulaires)
- à gauche = valve **mitrale** (2 lames)
- attachement des lames par des **cordages tendineux** sur les **muscles papillaires** (face interne des V)
- **fermeture** des valves (début systole ventriculaire) → bruit long, sourd et grave = « **toc** »

## 2. Les valves du cœur (suite)

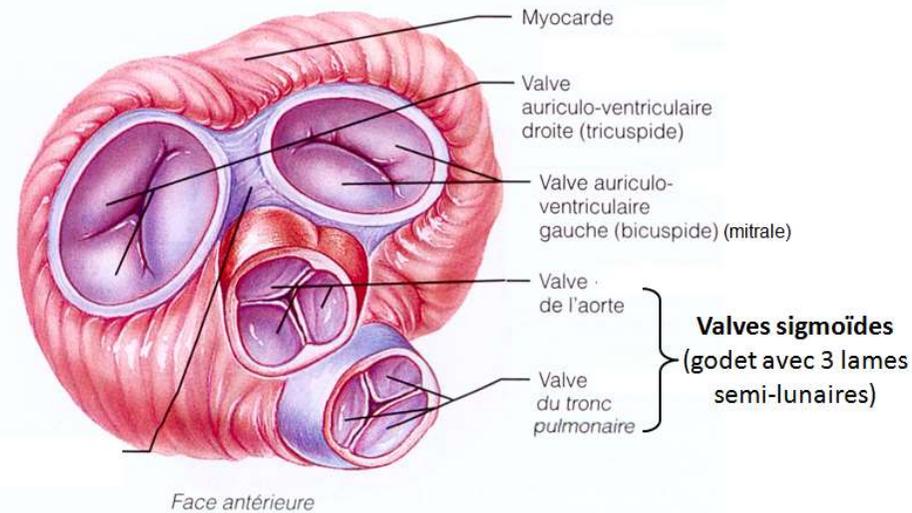
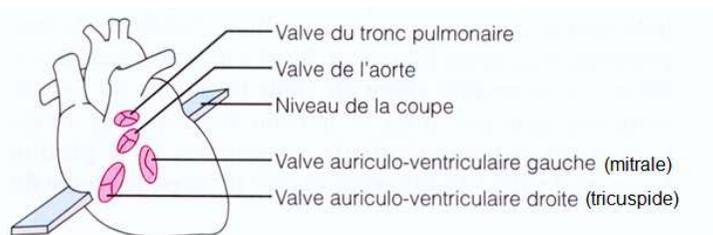
☞ orifice de communication entre les O et les V ou entre les V et les artères →  
**valve = clapet anti-retour** à fonction mécanique **passive** ↔ pressions



Valve ouverte



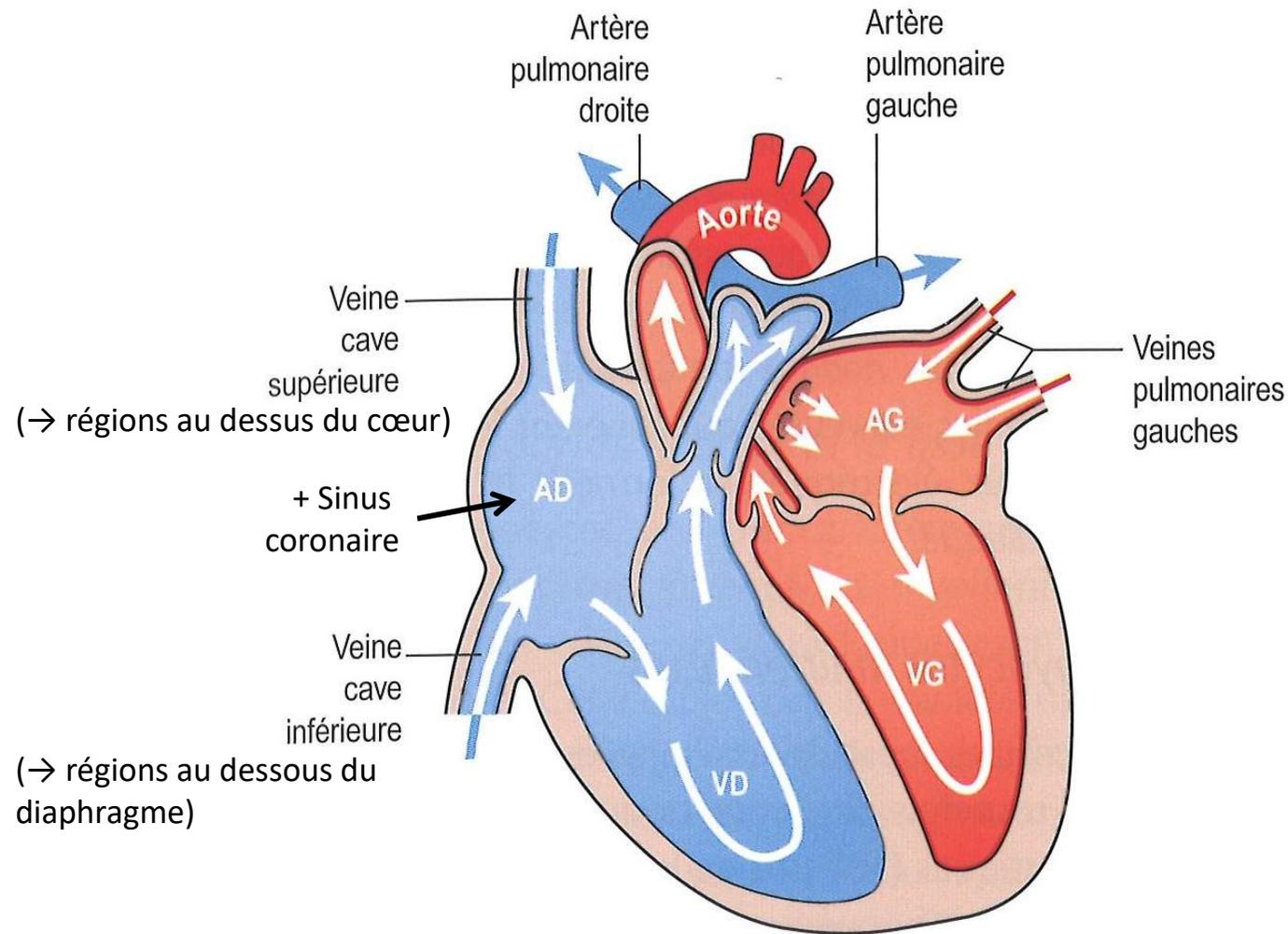
Valve fermée; elle ne peut pas s'ouvrir à contre sens



### b. valves sigmoïdes

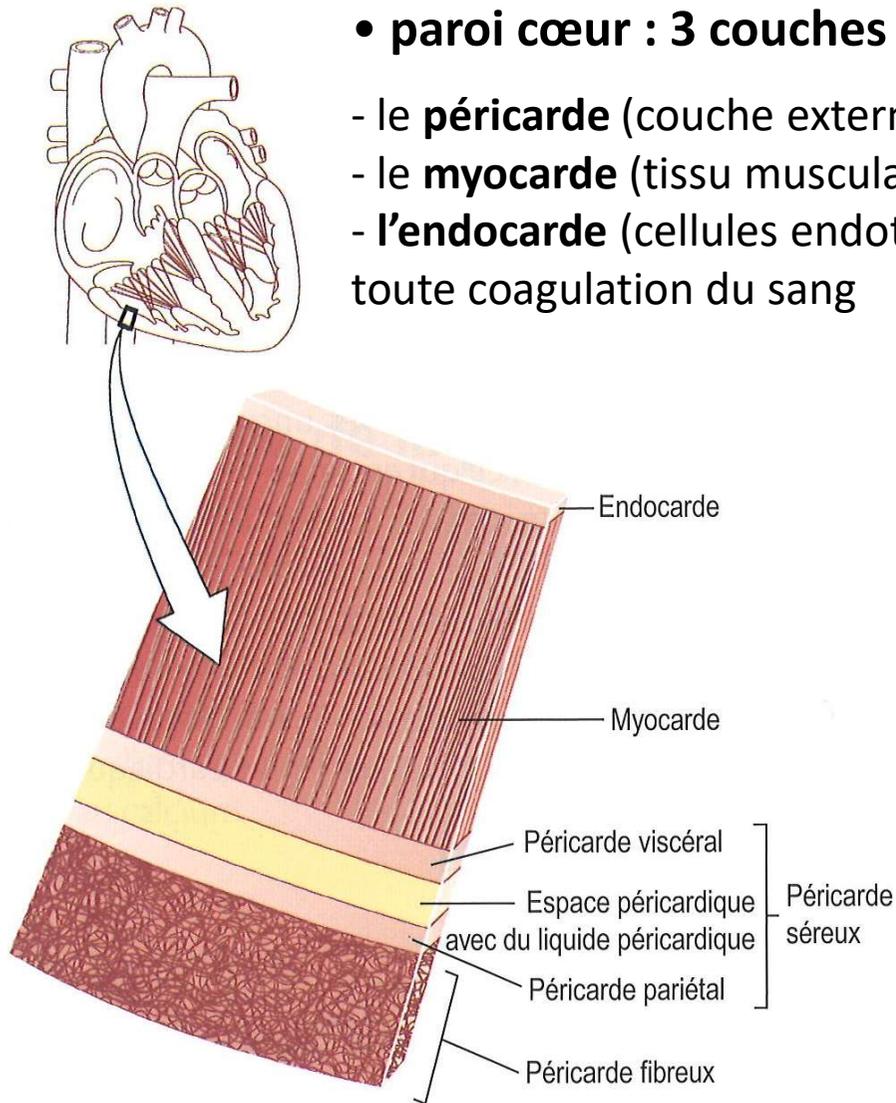
- situées entre les V et les artères
- VG / aorte = valve **aortique**
- VD / tronc pulmonaire = valve **pulmonaire**
- godet formé de **3 lames semi-lunaires**
- **fermeture** des valves (début diastole ventriculaire) → bruit bref, sec et aigu = « **tac** »

### 3. La circulation du sang à l'intérieur du cœur



# Paroi du cœur

## 1. Constitution de la paroi du cœur



## 2. Structure du péricarde

= **sac membraneux étanche**

→ entoure, protège et maintient le cœur en place

- une **partie fibreuse externe** → attache le cœur au diaphragme et aux gros vaisseaux
- une **partie séreuse interne** → 2 feuillets
  - un **feuillet pariétal externe**
  - un **feuillet viscéral interne = épicarde**
  - **espace péricardique** → mince pellicule de liquide séreux = liquide péricardique

### 3. Structure histologique du myocarde

☞ **myocarde = muscle strié involontaire**

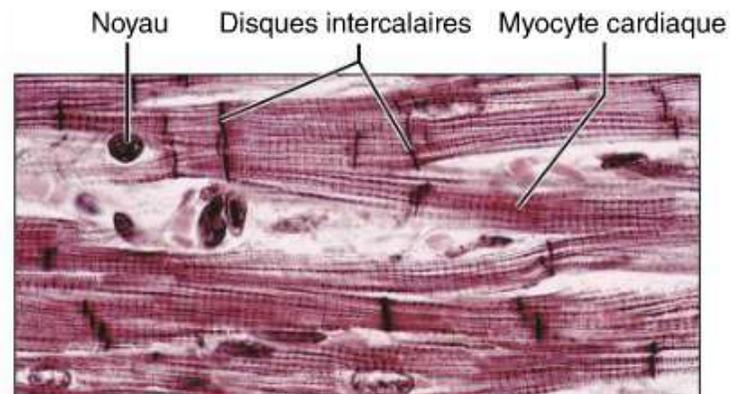
→ **2 types** de cellules musculaires ≠ : 50 % des cellules myocardiques mais 80% du volume (cellules endothéliales, fibroblastes...)

- les **cardiomyocytes indifférenciés** (extranodaux) ou cellules contractiles  
→ formation de **deux réseaux (syncytiums)** distincts : auriculaire et ventriculaire

→ **contraction** du cœur

- les **cardiomyocytes nodaux** ou cellules cardionectrices

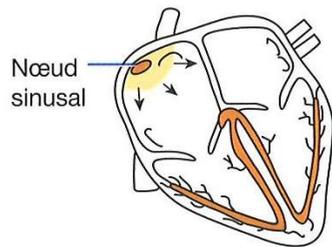
→ **générations et conduction des potentiels d'action**



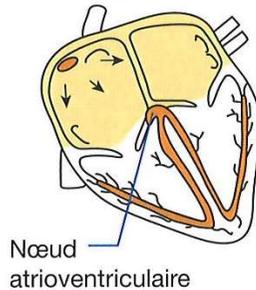
# Automatisme cardiaque : le rythme cardiaque

## Genèse et propagation des influx cardiaques

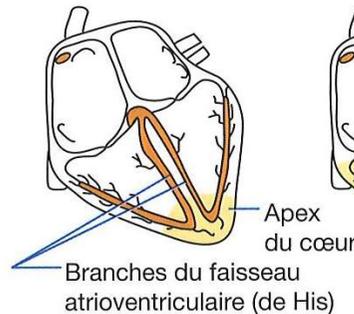
1. Le nœud sinusal induit la dépolarisation



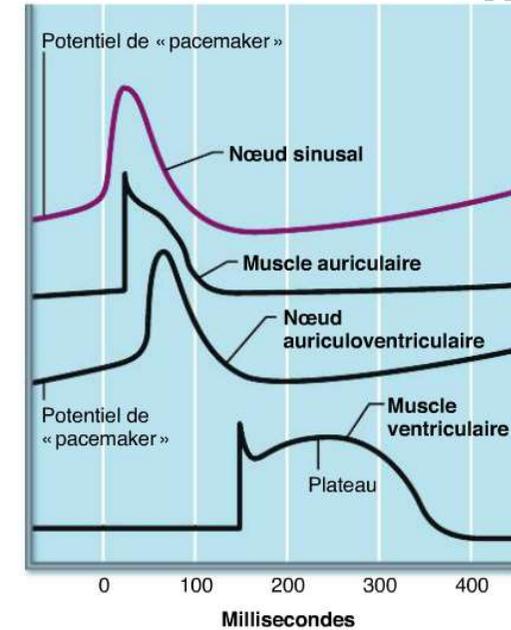
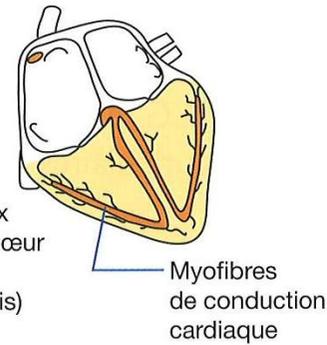
2. Les influx se rendent au nœud atrioventriculaire



3. Les influx atteignent l'apex du cœur



4. La dépolarisation se propage aux ventricules



**propagation des influx à partir du nœud sinusal (T0)**



**dépolarisation fibres auriculaires → contraction des oreillettes**



**nœud atrioventriculaire (T 50 ms) avec fibres de  $\emptyset$  plus petit → propagation dans le faisceau de His retardée → fin de contraction des oreillettes**



**faisceau de His et ses deux branches → apex du cœur**



**fibres de Purkinje à grand  $\emptyset$**

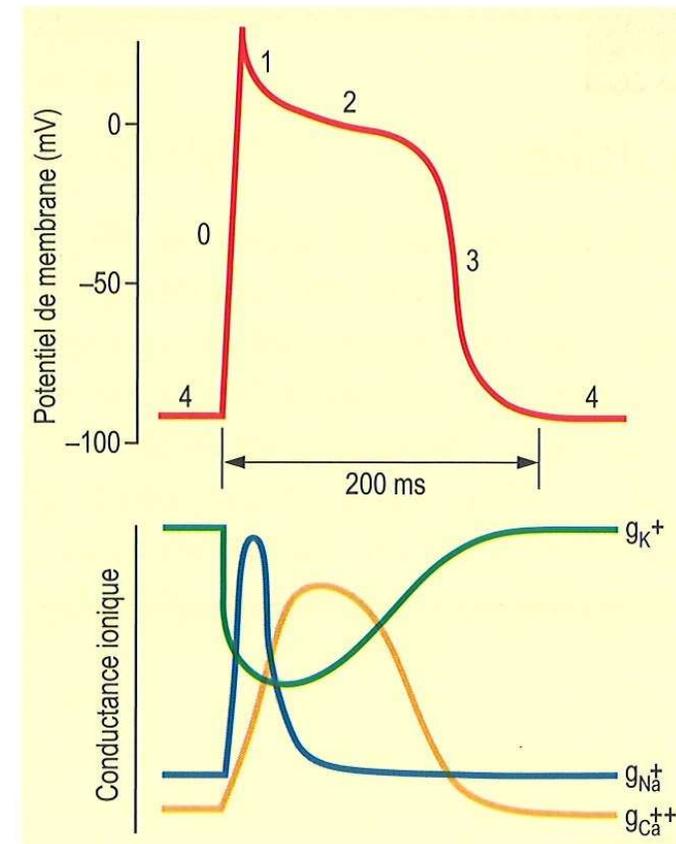


**dépolarisation des ventricules (T 150 à 200 ms) → contraction des ventricules de l'apex vers la base → mieux vider le contenu des ventricules/contraction**

# La contraction du muscle cardiaque

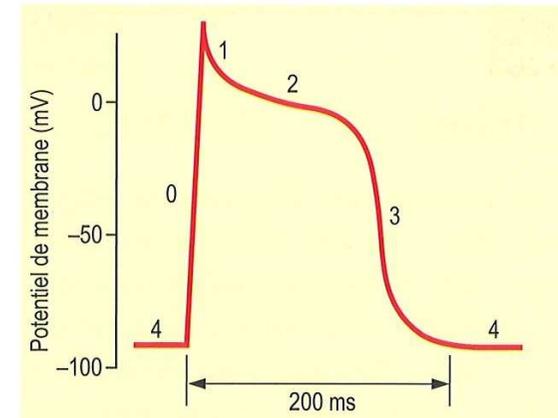
## Description des courants ioniques générés par l'arrivée des influx

- **cardiomyocytes indifférenciés** → potentiel de repos **stable**,  $\approx -90$  mV (phase ④)
- arrivée **influx généré par le nœud sinusal** → **activation** cardiomyocyte indifférencié :
  - une brusque dépolarisation de la cellule
  - un plateau de dépolarisation (200 ms)
  - une repolarisation rapide → état initial
- **phase ① = dépolarisation**
  - influx électrique (nœud sinusal) → ouverture canaux  $\text{Na}^+$  voltage-dépendants → **entrée de  $\text{Na}^+$**  → dépolarisation rapide (+ 20 mV) et fermeture des canaux  $\text{Na}^+$  V-D
- **phase ② = début de repolarisation**
  - influx électrique (nœud sinusal) → ouverture canaux  $\text{K}^+$  V-D à activité précoce et transitoire ( $I_{\text{to}}$ ) → **sortie de  $\text{K}^+$**  → repolarisation transitoire



- **phase ② = plateau de dépolarisation**

- influx électrique (nœud sinusal) → ouverture des canaux  $\text{Ca}^{2+}$  V-D à ouverture lente ( $I_{\text{CaL}}$ , phases 0 et 1) → **entrée de  $\text{Ca}^{2+}$**  (ext  $10^{-3}$  M vs int  $10^{-7}$  M)
- fermeture simultanée des canaux  $\text{K}^+$  V-D précoces → **moins de sortie de  $\text{K}^+$**
- activation de l'échangeur  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  par entrée initiale de  $\text{Na}^+$  → **entrée de  $\text{Ca}^{2+}$**



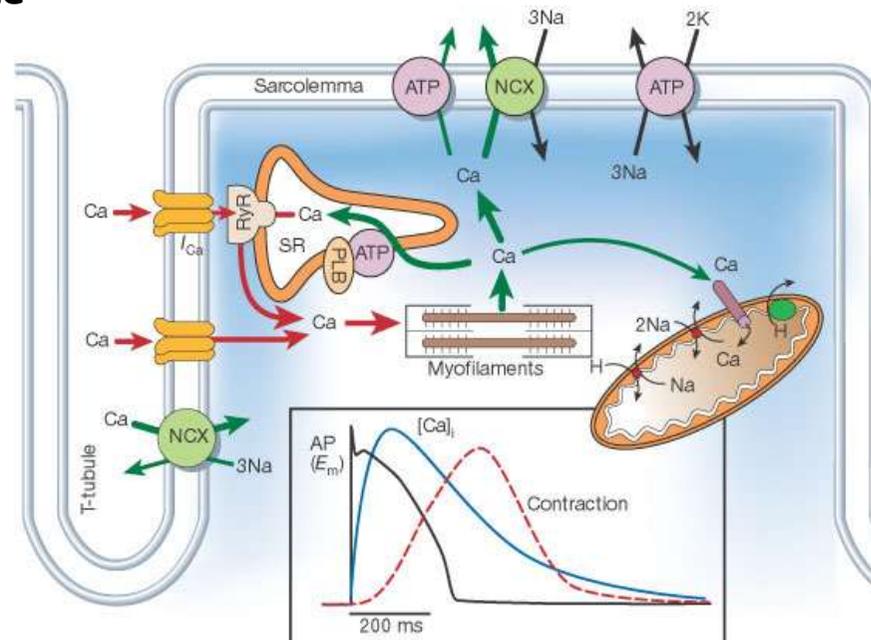
☞ **↑  $[\text{Ca}^{2+}]$  cytosolique mais reste insuffisante**  
 → une contraction des cellules myocardiques

- ↑  $[\text{Ca}^{2+}]$  cytosolique → ouverture des **canaux à ryanodine (RyR)** du RS → sortie massive de  $\text{Ca}^{2+}$

= **CICR (Calcium-Induced Calcium Release)**

☀ ≠ de fonction entre canaux RyR cardiaques vs canaux RyR muscles squelettiques à ouverture mécanique !

- **liaison des ions  $\text{Ca}^{2+}$  ↔ troponine C** → glissement des filaments fins entre les filaments épais → **contraction** des cardiomyocytes



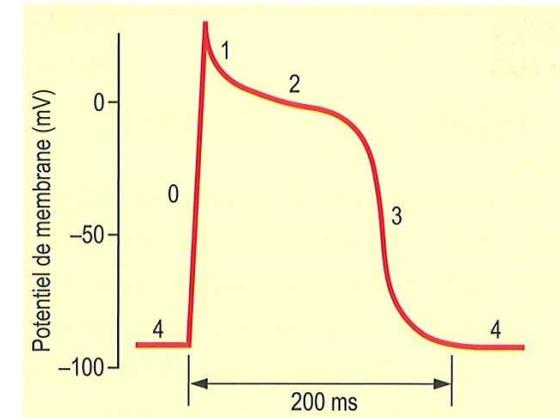
- **phase ② fin du plateau**

- pic  $[Ca^{2+}]$  cytosolique

- (+) échangeur  $Na^+/Ca^{2+}$  (sens inverse / début du plateau)

- sortie de  $Ca^{2+}$

- (+)  $Ca^{2+}$  ATPase du RS (activité dépendante du degré de phosphorylation du **phospholamban**) → recapture de  $Ca^{2+}$  dans le RS



☞ ↓  $[Ca^{2+}]$  cytosolique → relaxation des cardiomyocytes

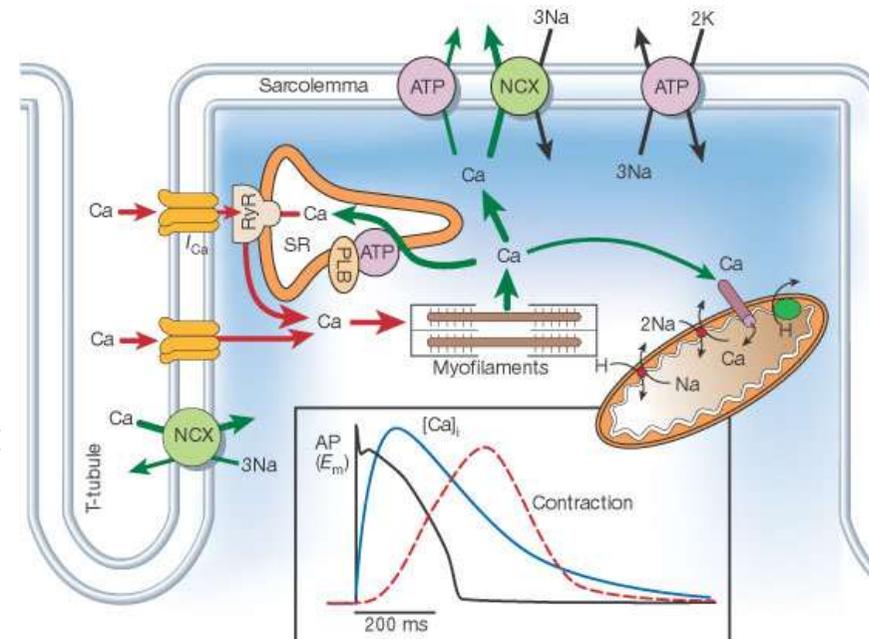
☞ **durée de la phase 2** ou phase du plateau de dépolarisation ≈ **200 ms** (temps accumulation des ions  $Na^+$  et  $Ca^{2+}$  dans le cytosol)

- **phase ③ = repolarisation**

- fermeture des canaux  $Ca^{2+}$  lents et ouverture des canaux  $K^+$  V-D à activité retardée ( $I_k$ ) → **sortie passive de  $K^+$**

- **phase ④ = retour état ionique initial**

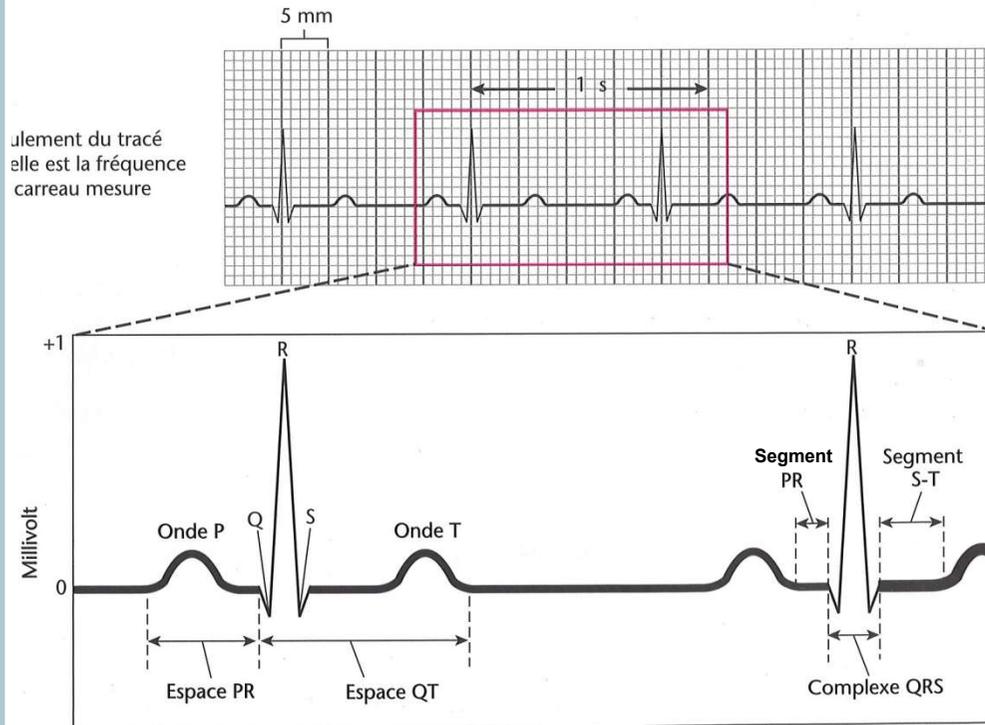
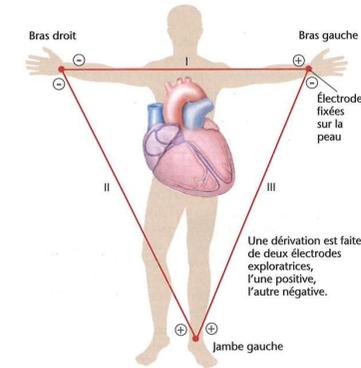
- mise en action de la **pompe  $Na^+/K^+$  ATPase**
- processus **actif** (ATP) → ajustement des  $[K^+]$  et  $[Na^+]$



# Les évènements du cycle cardiaque

## 1. Variations du potentiel électrique

👉 **électrocardiogramme** = enregistrement en fonction du temps des **variations de potentiel électrique** pendant un cycle cardiaque

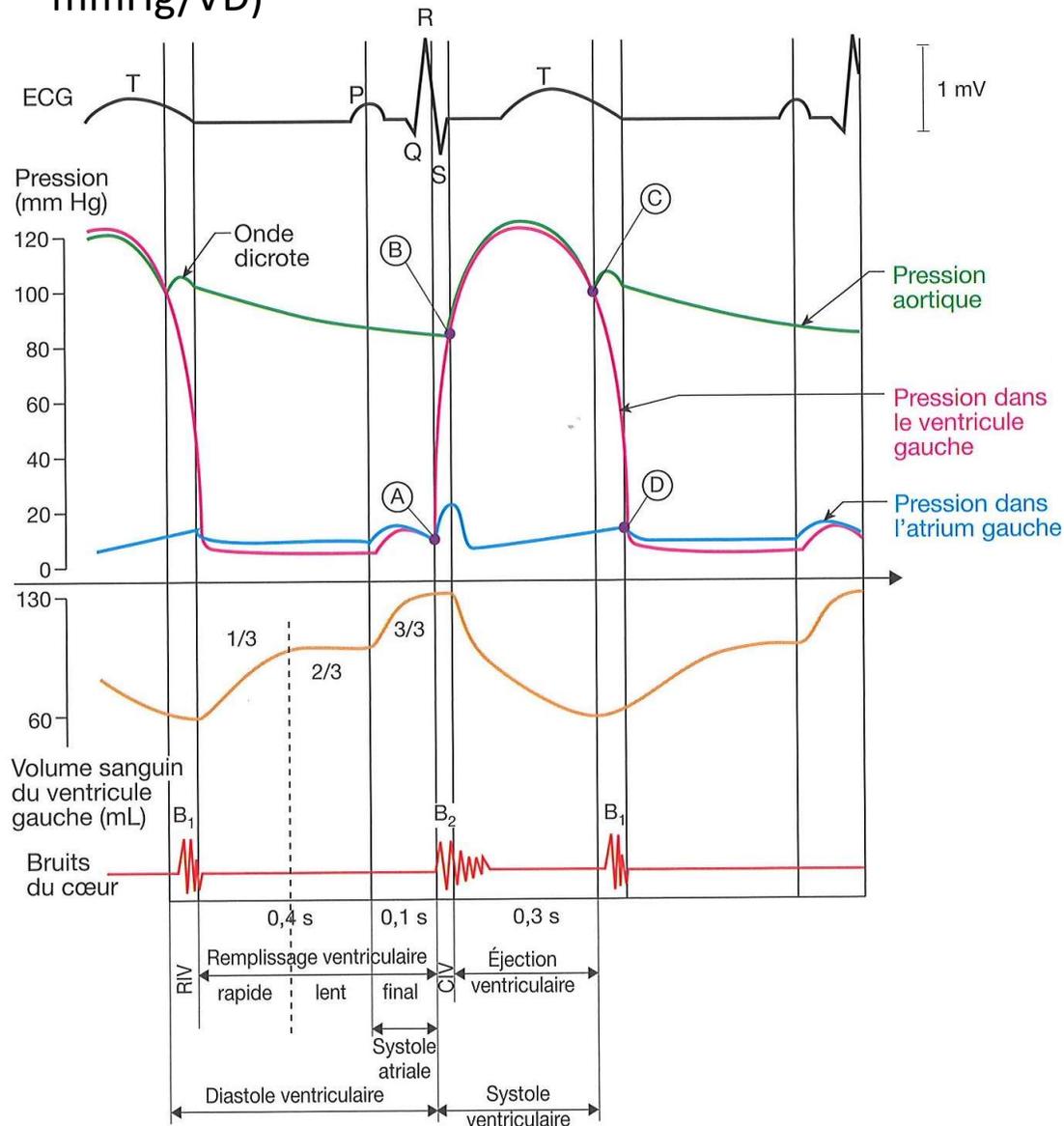


- **tracé standard** (dérivation D2, bras droit et jambe gauche)  
→ déformation de la ligne de base par **3 ondes**
- **1<sup>ère</sup> onde P** = dépolarisation des oreillettes
- **2<sup>ème</sup> onde** = **complexe QRS** = dépolarisation des ventricules
- **3<sup>ème</sup> onde T** = repolarisation des ventricules (repolarisation des oreillettes masquée par le complexe QRS)

- **ondes** = déflexions au dessus ou en dessous de la ligne de base
- **segments** = sections de ligne de base entre deux ondes
- **intervalles** = combinaisons d'ondes et de segments

## 2. Variations de volume et de pression / phases du cycle cardiaque

→ le cœur gauche (idem pour le cœur droit sauf ≠ de pression 120 mmHg/VG vs 30 mmHg/VD)



### a. La phase de relaxation

☞ repolarisation ventriculaire (onde T)

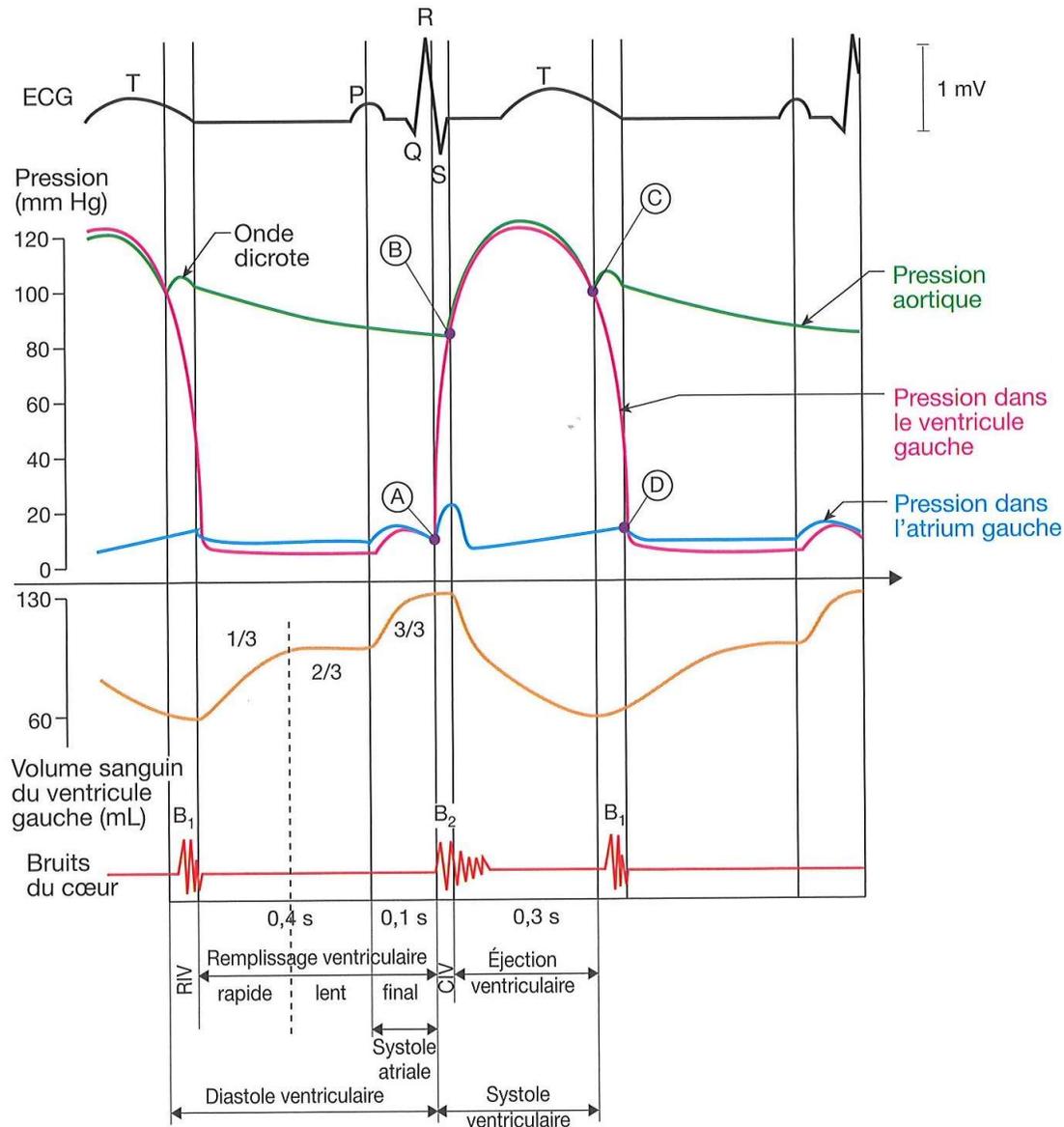
• relaxation du ventricule → ↓ pression dans le ventricule → < pression dans l'aorte

• fermeture de la valve aortique → rebond de pression dans l'aorte = onde de dicrote et bruit sec « tac »

• fermeture simultanée des 4 valves = relaxation isovolumétrique → volume inchangé et ↓ pression ventricule < pression oreillettes

• ouverture de la valve mitrale et remplissage du ventricule

## b. le remplissage ventriculaire

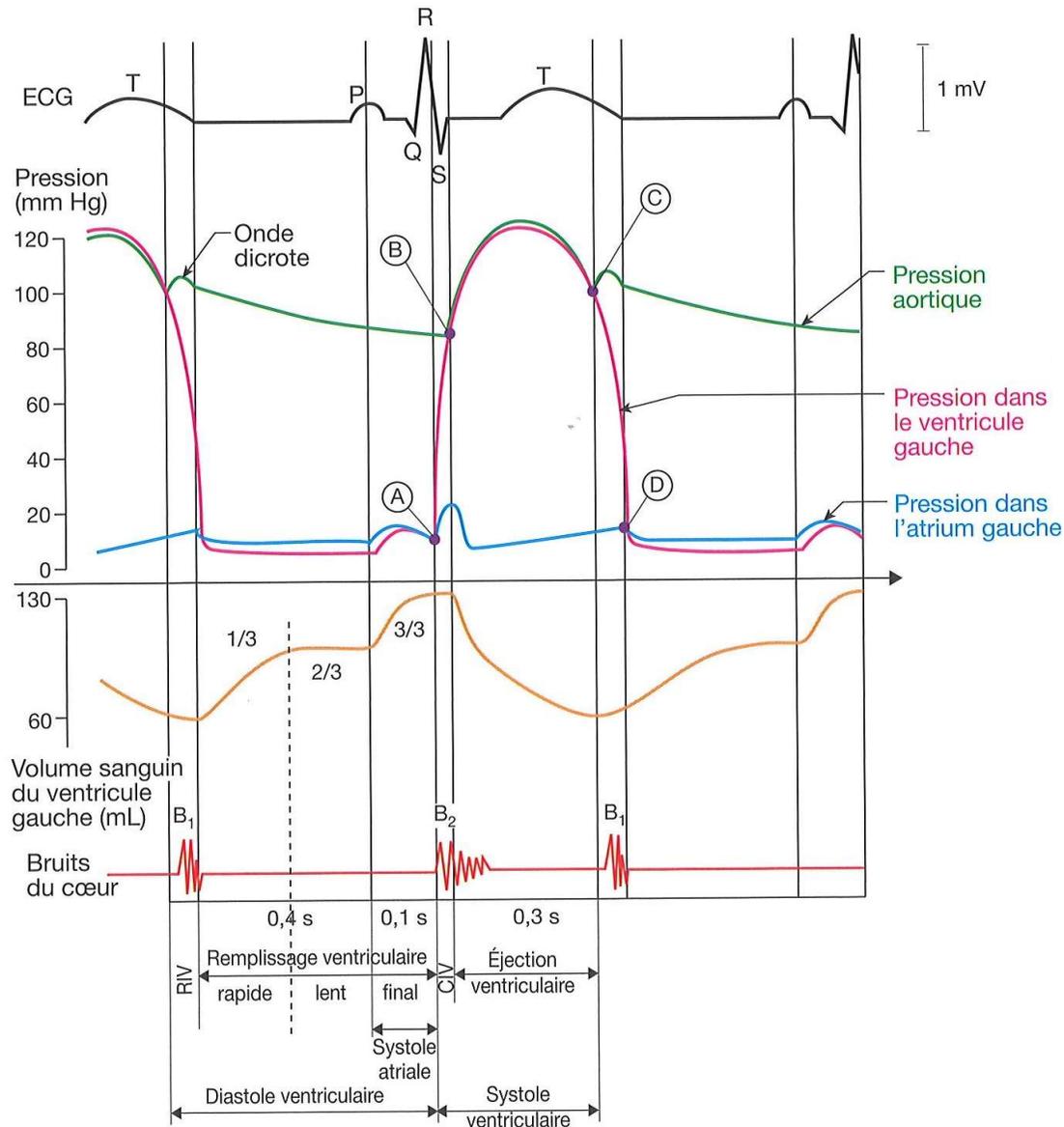


☞ en trois étapes

- **le remplissage rapide**
  - 1<sup>er</sup> tiers, volume le plus important, par suction
  - dépend de la rigidité du ventricule (fibrose / ↓ remplissage)
- **le remplissage lent ou la diastase**
  - 2<sup>ème</sup> tiers, petit volume
  - sans modification de pression ventriculaire
- **la systole auriculaire (onde P)**
  - dernier tiers, 30 ml de sang seulement

☞ fin de la diastole ventriculaire  
 → **volume télédiastolique = 135 ml**

## c. la systole ventriculaire



- **dépolarisation (QRS) → contraction** des fibres ventriculaires → ↑ pression brutale > pression oreillette gauche

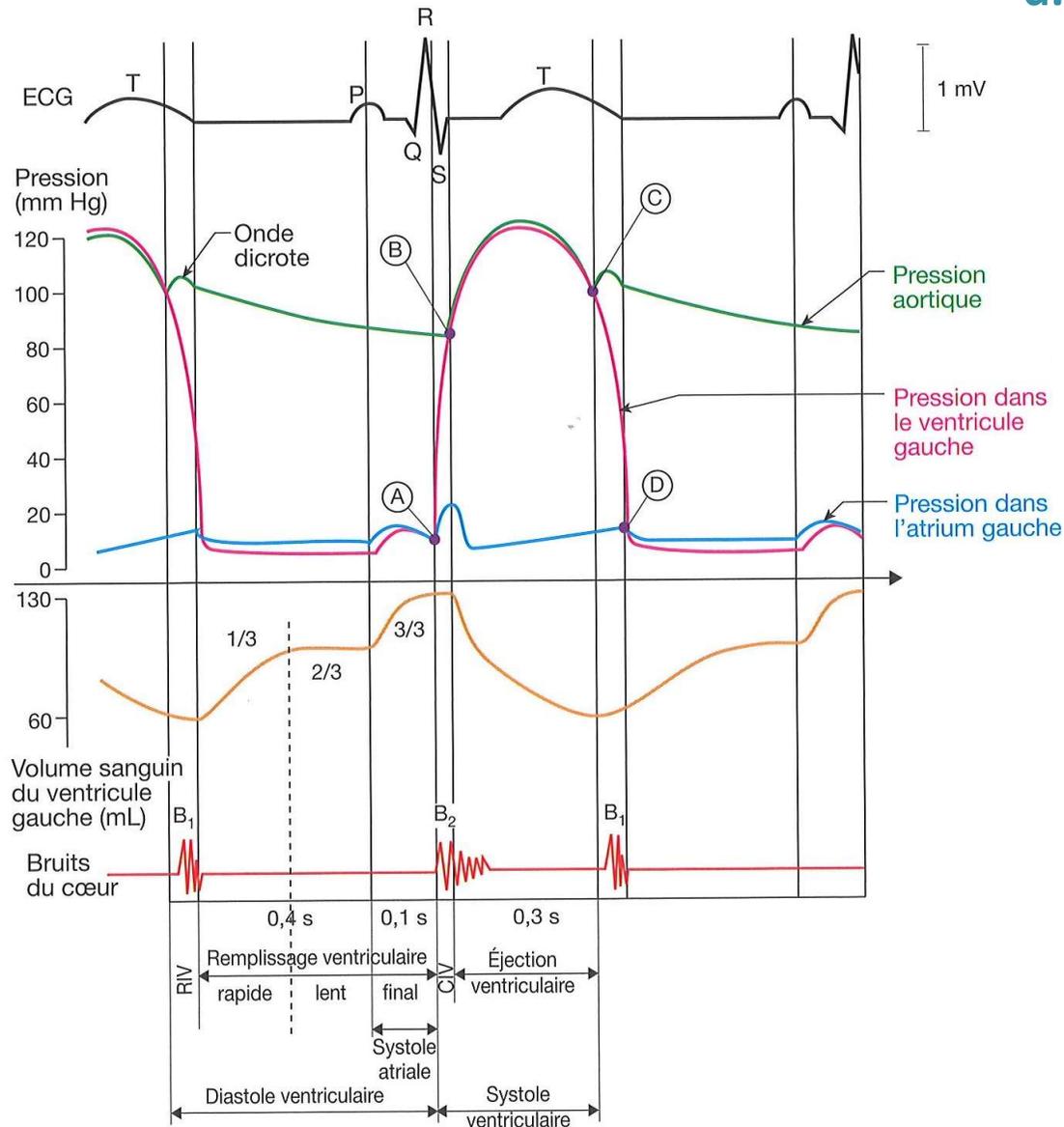
- **fermeture de la valve mitrale**  
- bruit sourd « toc »

- fermeture simultanée des 4 valves car pression ventricule < pression aorte → **la contraction isovolumétrique**

- **ouverture de la valve aortique** quand pression ventricule > pression aorte → **phase d'éjection ventriculaire (250 ms)**

☞ fin de la systole ventriculaire → **volume télésystolique = 65 ml**

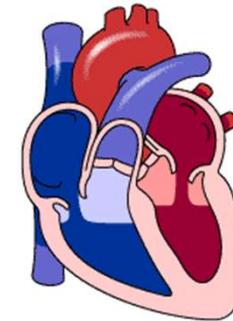
## d. Les paramètres cardiaques



### ☞ situation de repos

- volume télédiastolique (VTD) = 135 ml
- volume télésystolique (VTS) = 65 ml
- **volume d'éjection systolique (VES) = VTD - VTS = 70 ml**
- **fraction d'éjection systolique (FES) = 50 %**  
→ indice de la fonction ventriculaire

# Le débit cardiaque



## 1. Définition du débit cardiaque

☞ mesure du fonctionnement de la pompe cardiaque

= **volume de sang éjecté par chaque ventricule en une minute**

**DC = volume éjection systolique (VES) x fréquence cardiaque (FC)**

**DC = 70 ml x 70 à 75 battements / min = 5 l sang /min**

## 2. Mesure du débit cardiaque

- **la méthode de Fick** → mesure de la consommation d'oxygène
  - volume  $O_2$  consommé =  $DC \times (C_aO_2 - C_vO_2)$
  - nécessite la pose d'un cathéter dans l'artère pulmonaire
- **la méthode de dilution de Hamilton**
  - repose sur l'utilisation soit d'un isotope radioactif soit d'un colorant (bleu Evans)
- **vélocimétrie Doppler**
  - mesure plus imprécise

### 3. Synthèse des facteurs de régulation du débit cardiaque

