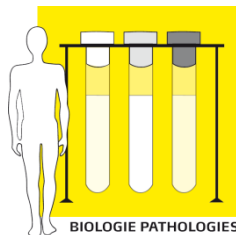




# De la respiration cellulaire au parcours de l'oxygène : système cardio-circulatoire

Orthophonie DUO 1<sup>ère</sup> année  
Décembre 2024



Dr Justine MYZIA  
Service de Physiologie clinique,  
Unité d'Exploration Métabolique et Musculaire  
CHU Montpellier  
[j-myzia@chu-montpellier.fr](mailto:j-myzia@chu-montpellier.fr)

# Objectifs

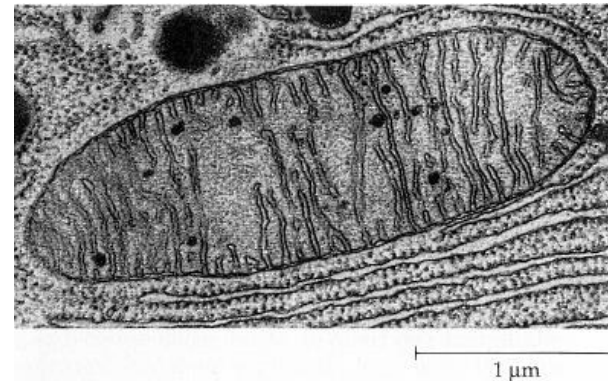
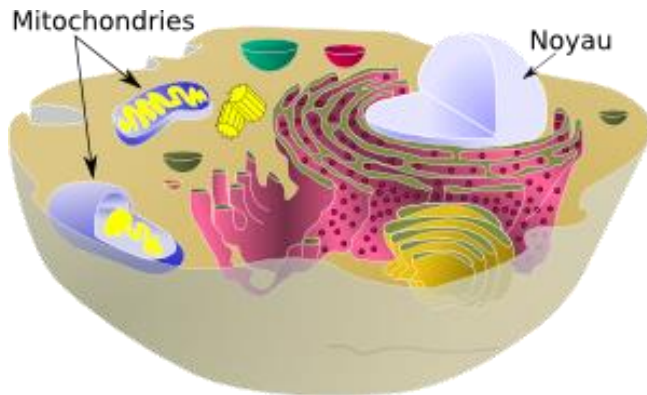
- Différencier les grande et petite circulations
- Distinguer les deux types de cellules cardiaques et expliquer leurs fonctions
- Citer une méthode d'analyse de l'activité électrique du cœur
- Décrire le cycle cardiaque, ses différentes phases
- Lister les facteurs de régulation du volume d'éjection systolique, du débit cardiaque
- Expliquer le rôle et les spécificités de chacune des parties du système circulatoire.

1. Organisation générale
2. Le cœur et le cycle cardiaque
3. Le cœur en tant que pompe : Volumes, Pressions
4. Contrôle de l'activité cardiaque
5. Contrôle vasculaire
6. Contrôle cardio-vasculaire

## A/ Fonction de Transformation d'énergie

➡ ATP = énergie des cellules

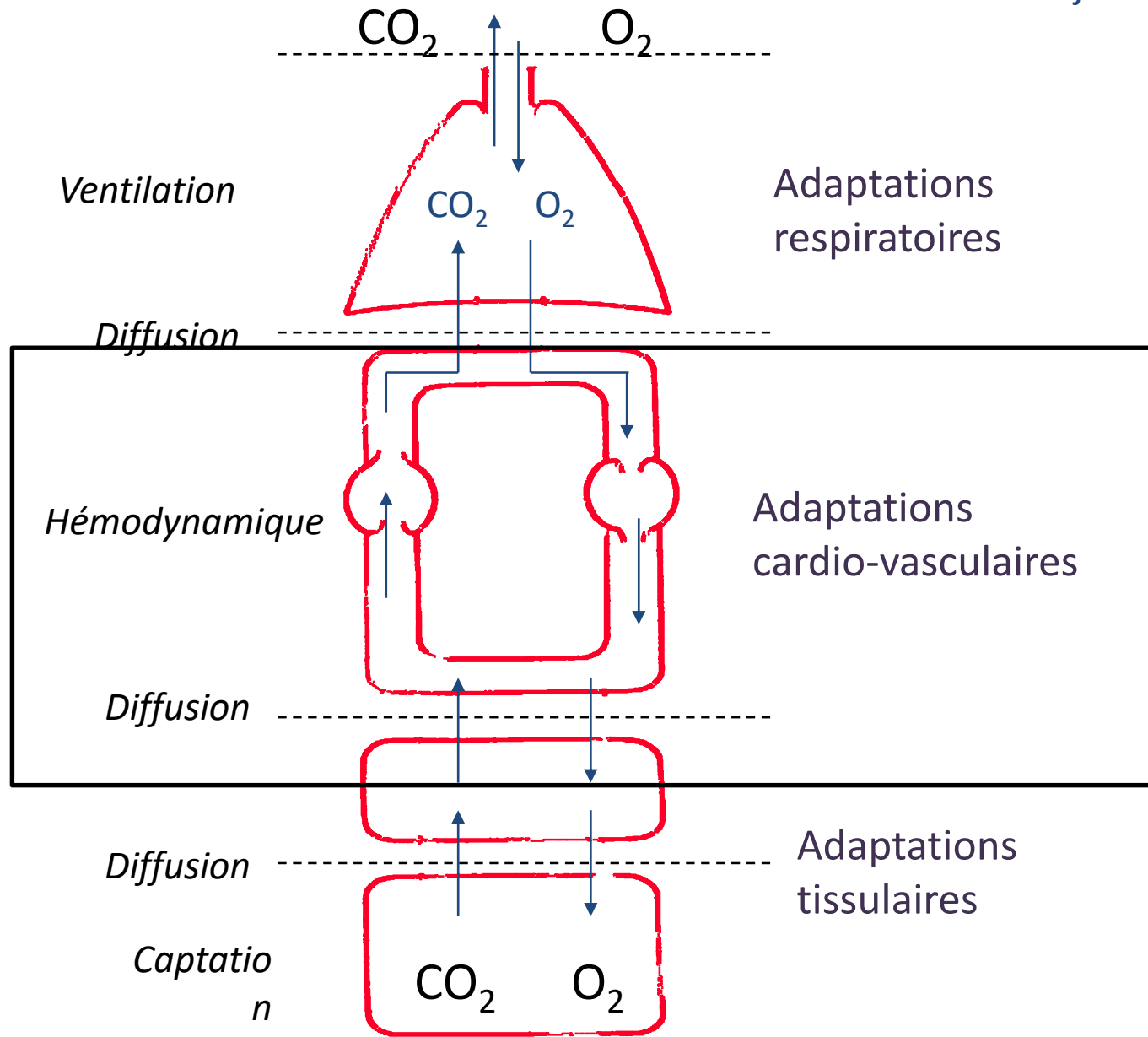
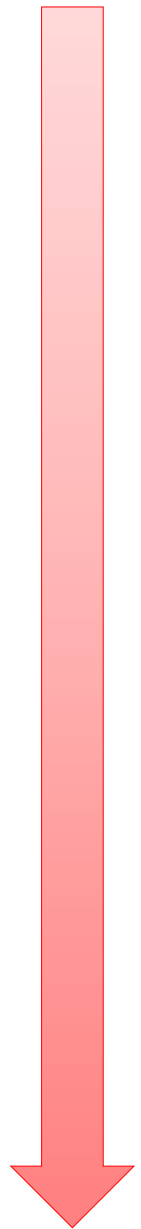
- ✓ Utilisation de substrats énergétiques : Glucides, Lipides
- ✓ Dégradation par le cycle de Krebs : Riche contenu enzymatique
- ✓ Oxydation mitochondriale : utilisation O<sub>2</sub>, substrats et production d'ATP



Organe principal pour la production d'ATP  
+ Consommation d'O<sub>2</sub> +++

Air ambient

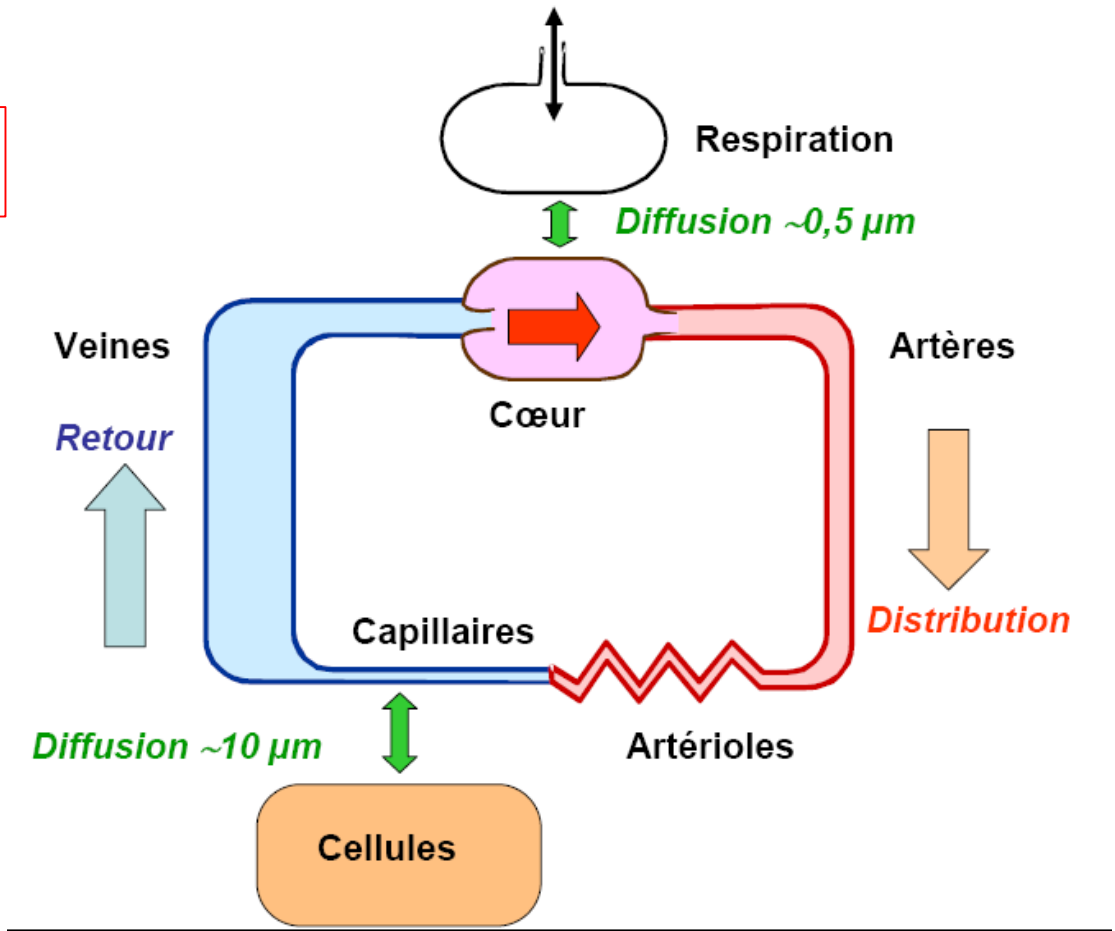
Trajet de l'oxygène



Oxydation cellulaire fibre musculaire

# 1. Organisation générale

**Convection**



Apport de l'Oxygène du poumon jusqu'au cellules des tissus

Système circulatoire dont le cœur constitue la pompe

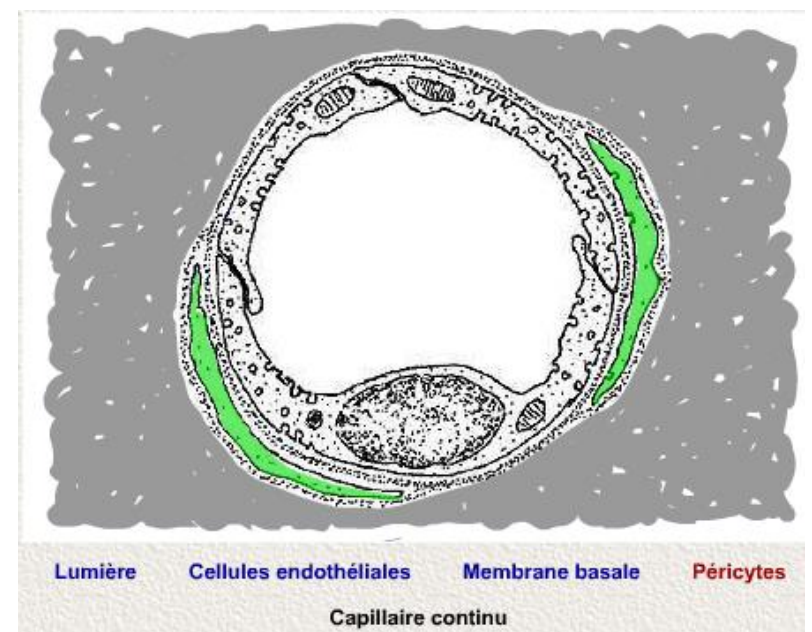
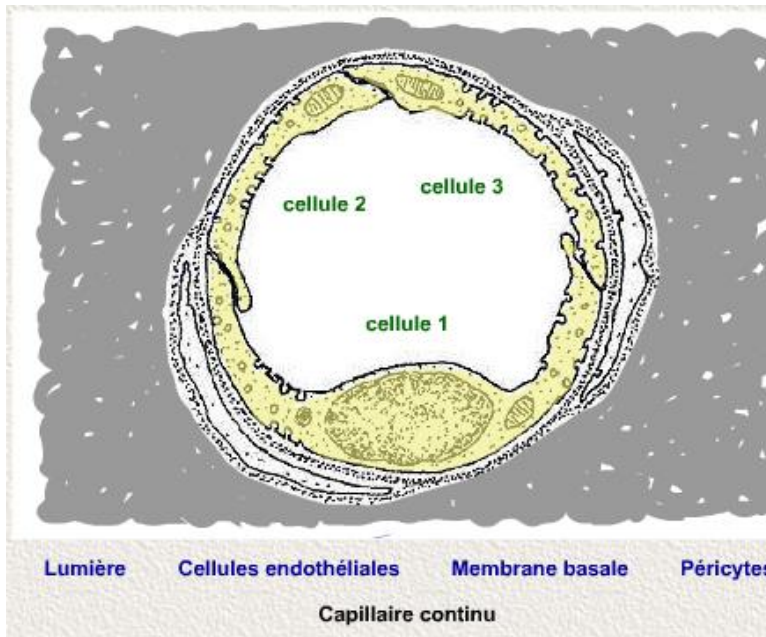
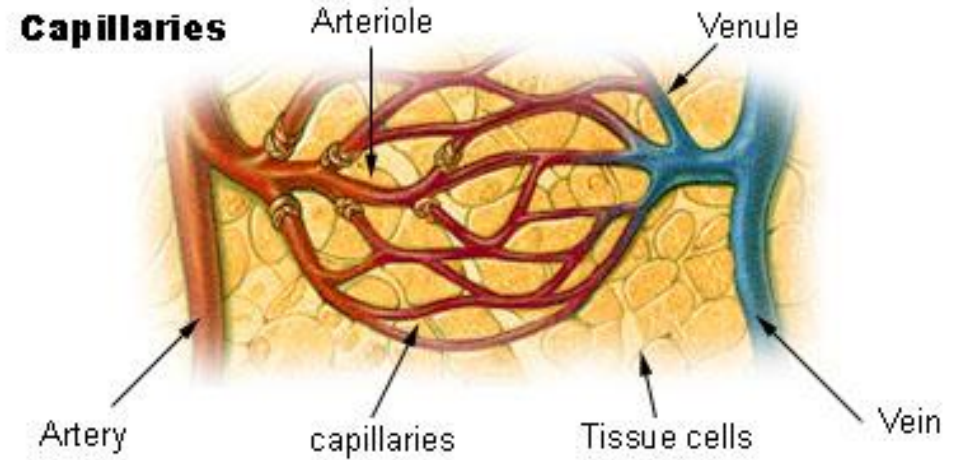
Canalisations = vaisseaux, transportant le sang (5L)

# Transfert d'O<sub>2</sub> au niveau de capillaires

## Diffusion

=division ultime des vaisseaux sanguins en micro-canaux

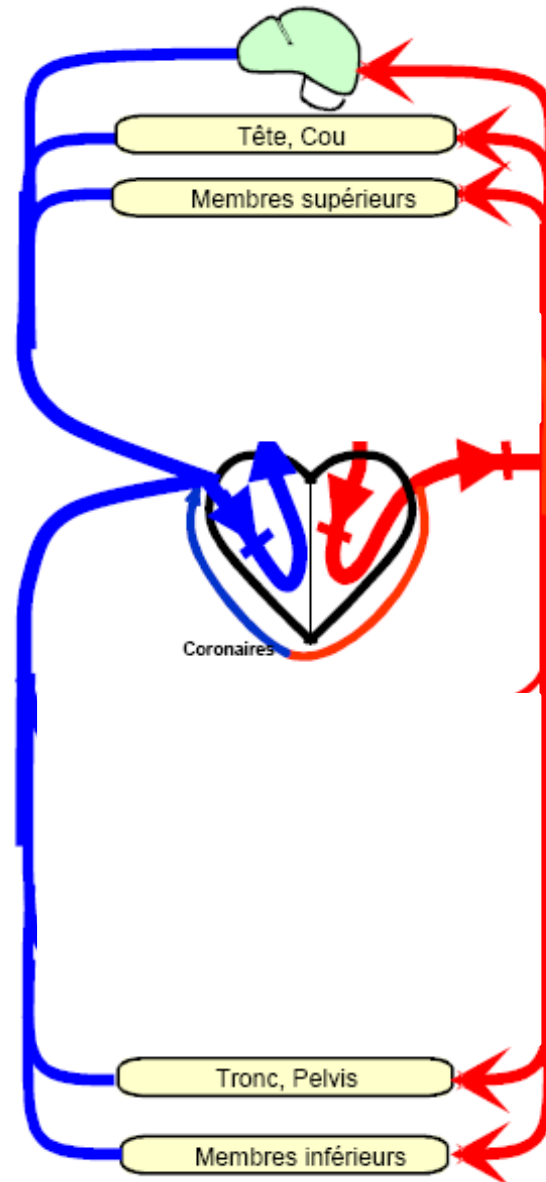
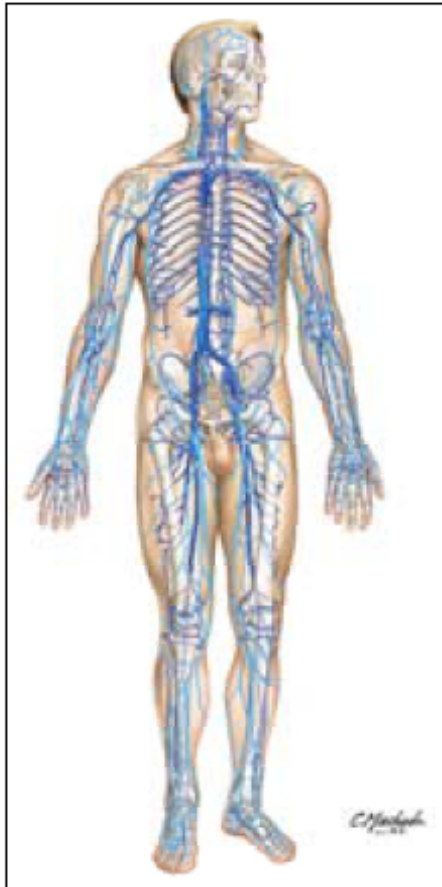
diamètre de 8 à 10  $\mu\text{m}$



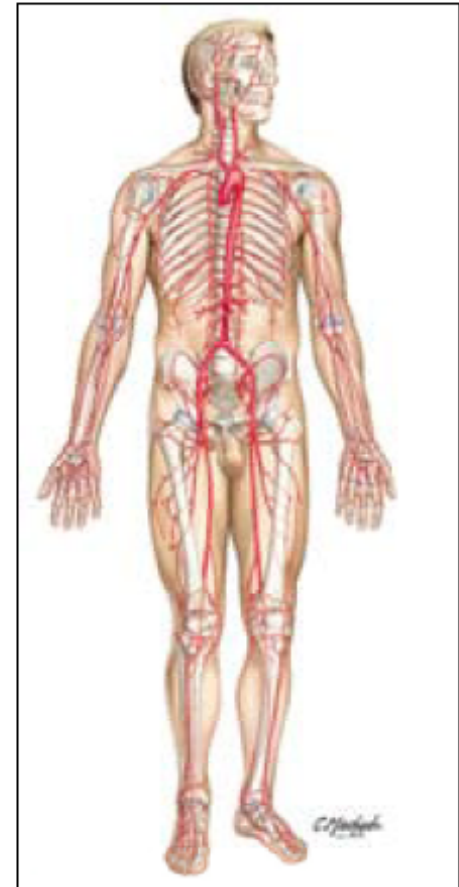
Système veineux ramène sang désoxygéné des tissus au cœur

Système artériel amène le sang oxygéné du cœur aux tissus

## Réseau Veineux



## Réseau Artériel



**Grande circulation systémique**

Haute pression

Artères : sang oxygéné

Vaisseaux entre le cœur et les tissus

Veines : sang désoxygéné

---

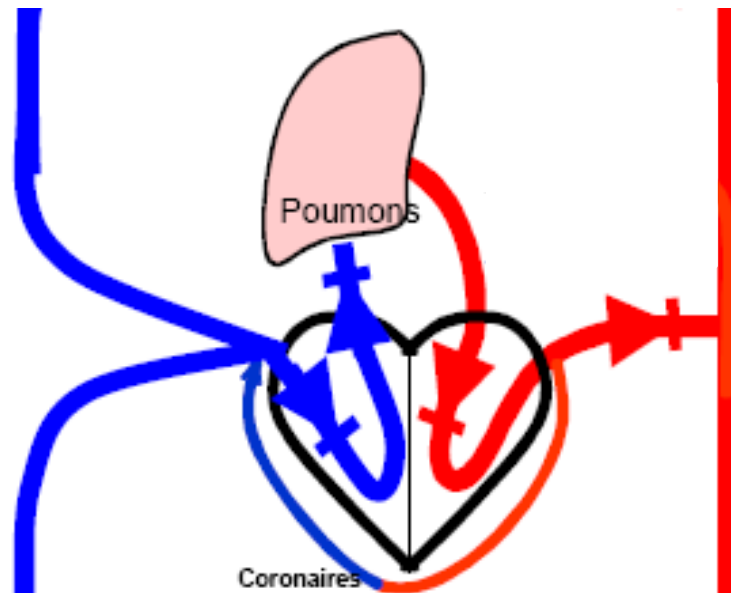
**Petite circulation pulmonaire**

Basse pression

Artères: sang désoxygéné

Vaisseaux entre le cœur et les poumons

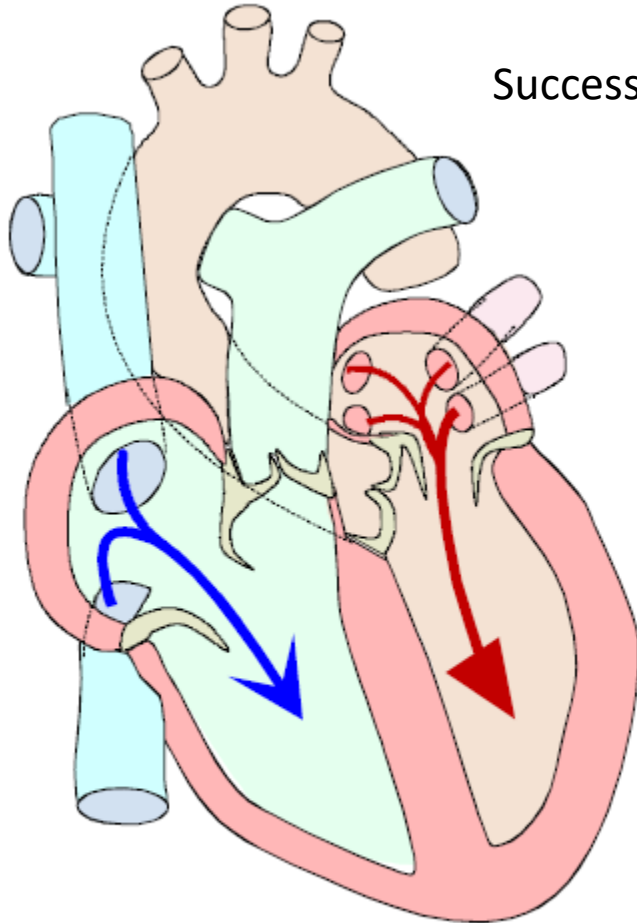
Veines : sang oxygéné



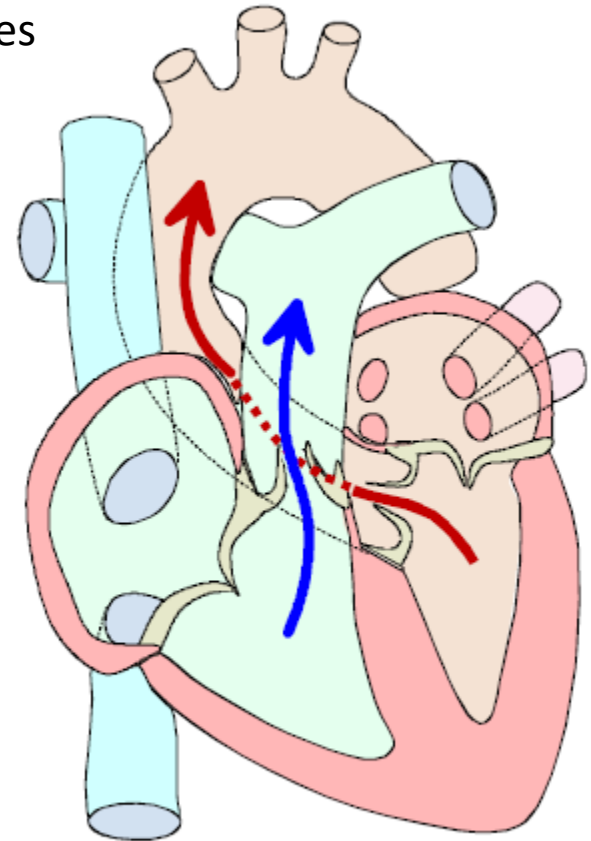
## 2. Le cœur et le cycle cardiaque

Fonction : assurer un débit sanguin (Pompe)

Succession de deux phases

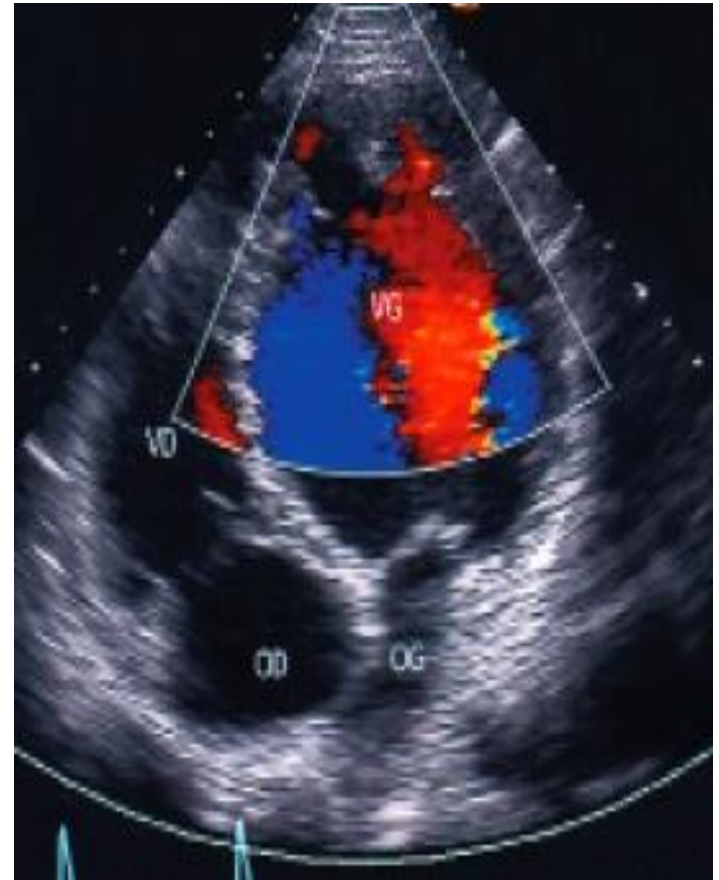


**Diastole ventriculaire**



**Systole Ventriculaire**

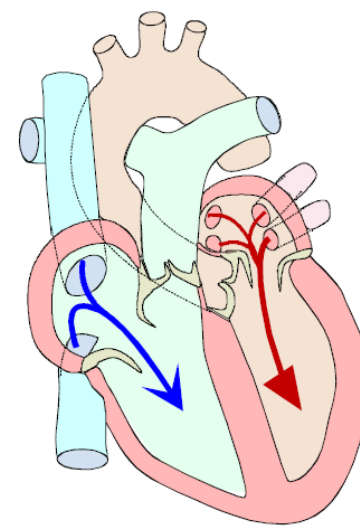
# En pratique, Echographie/ Doppler cardiaque



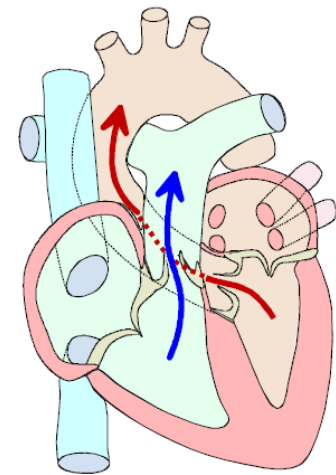
# Le cycle cardiaque

Contraction = **systole**

Repos = **diastole**



Diastole ventriculaire



Systole Ventriculaire

**À chaque cycle cardiaque:**

Systole auriculaire (les deux oreillettes se contractent) + Diastole ventriculaire



Systole ventriculaire (les deux ventricules se contractent) + Diastole auriculaire

- **SYSTOLE**

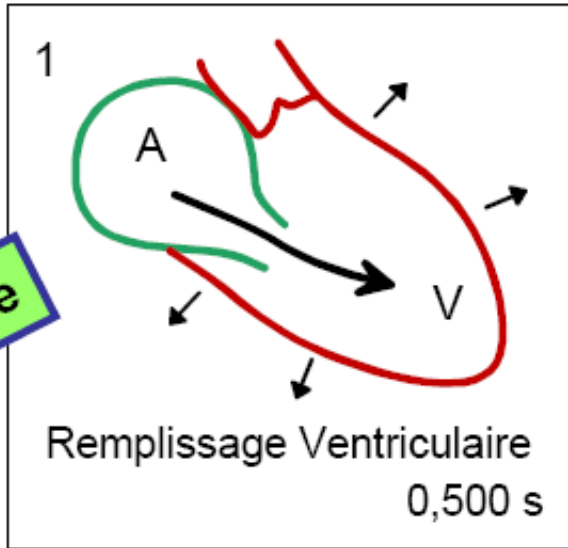
= période de contraction ventriculaire et d'éjection sanguine

- **DIASTOLE**

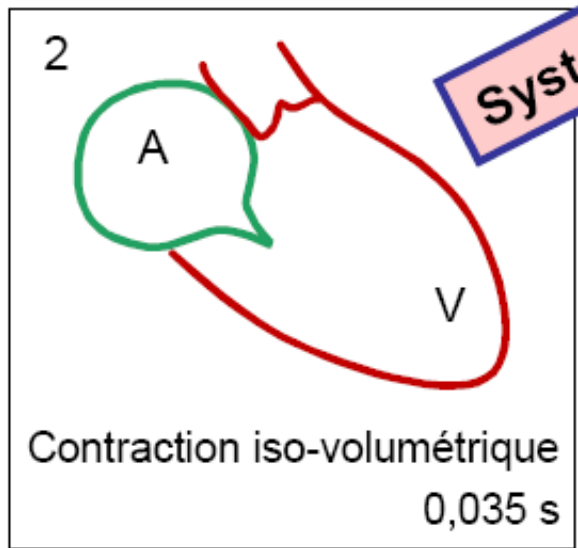
= période de relaxation ventriculaire et de remplissage sanguin

# En fait, 4 phases différentes pour le cycle cardiaque

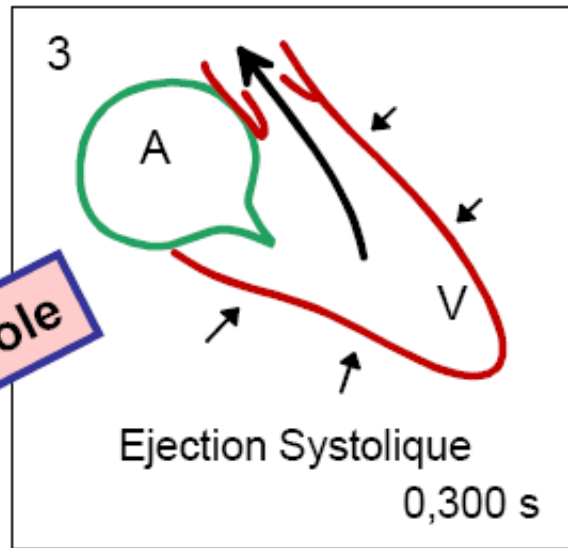
Diastole



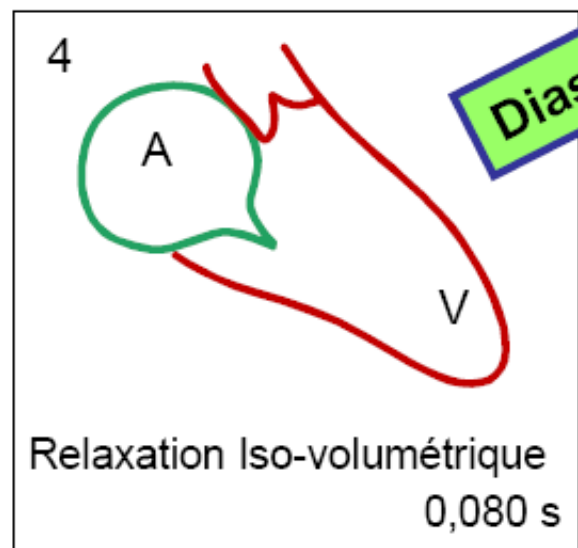
Systole



Systole

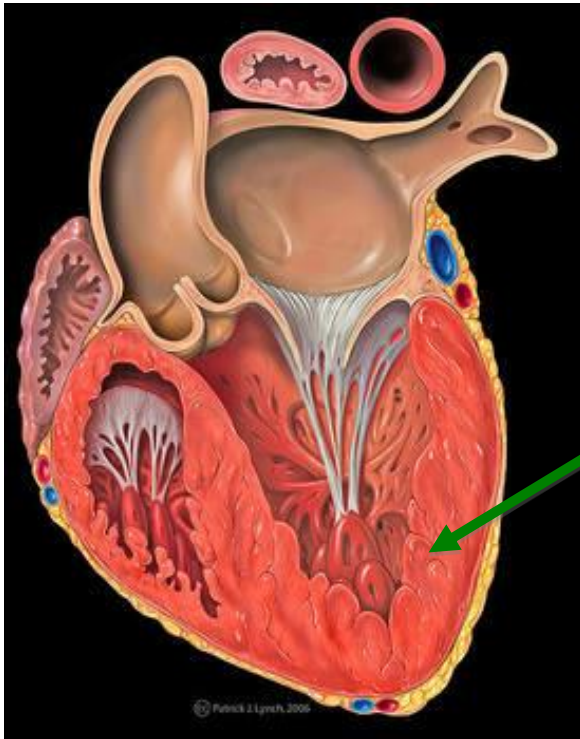


Diastole



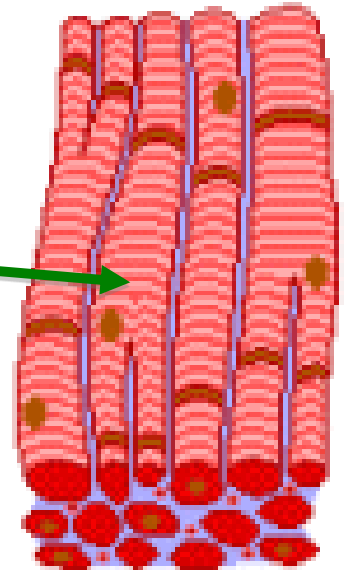
# Cardiomyocytes

- Constituent la plupart des cellules cardiaques.
- Se contractent spontanément, sans intervention extérieure à un rythme lent.



**Cardiomyocytes**

Les cellules musculaires cardiaques sont reliées les unes aux autres et forment un réseau de cellules.



La contraction des cardiomyocytes est sous-tendue par leur **activité électrique**

Ces cellules sont **excitables**:

Une cellule excitable est une cellule capable de décharger un potentiel d'action en réponse à une dépolarisation suffisante (l'application d'un courant électrique)

La capacité à décharger un **potentiel d'action** dépend la présence de canaux ioniques ( $\text{Na}^+$  et  $\text{Ca}^{++}$ ) dont l'ouverture est activée par une dépolarisation du membrane.

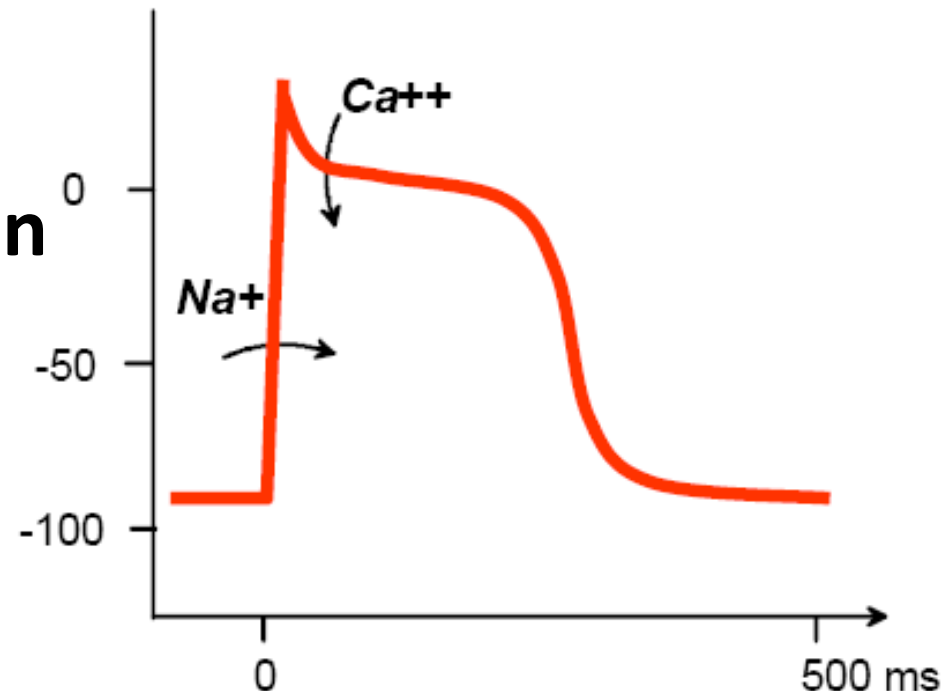
Décharge du **potentiel d'action**



réactions cellulaires

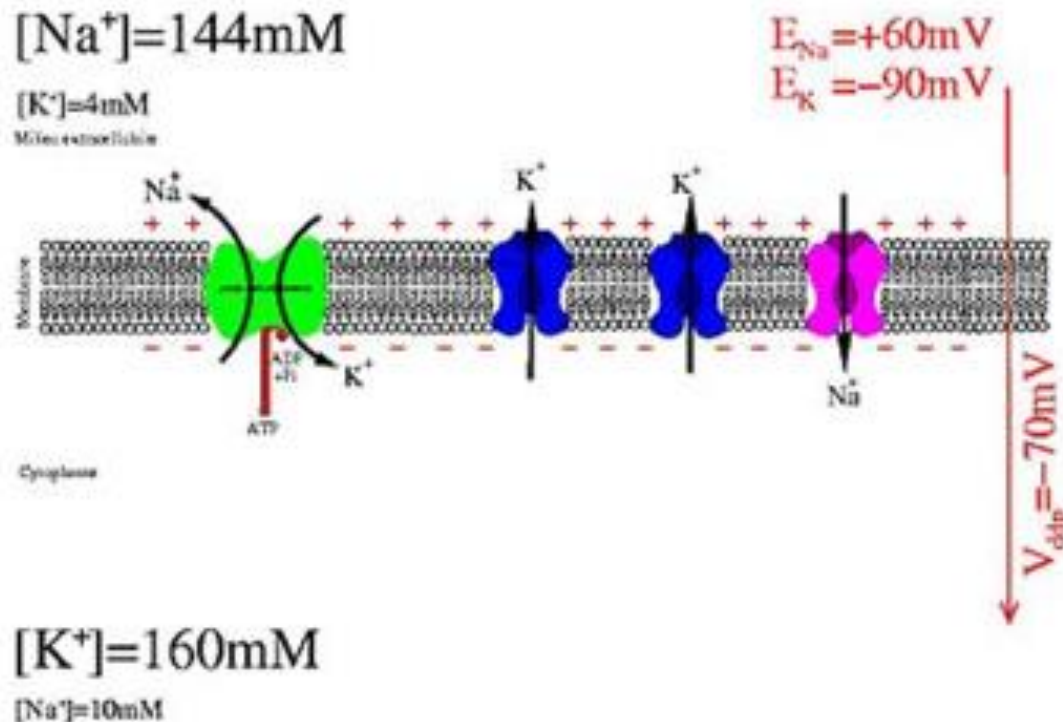


**contraction**



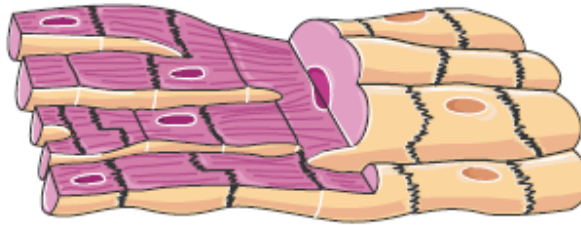
# Le cycle cardiaque : Potentiels d'Action

## Potentiel de membrane : potentiel de repos stable



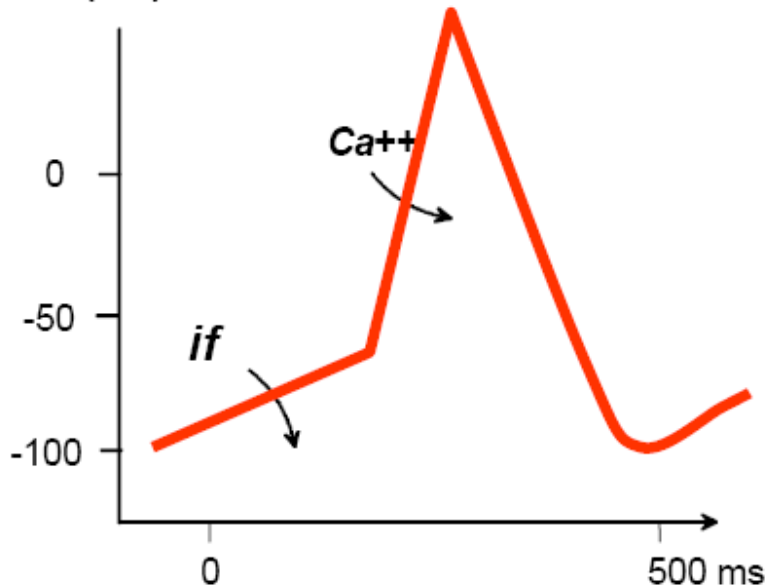
Certains cardiomyocytes sont **spécialisés** dans la génèse ou la conduction de l'influx électrique

= Tissus nodal



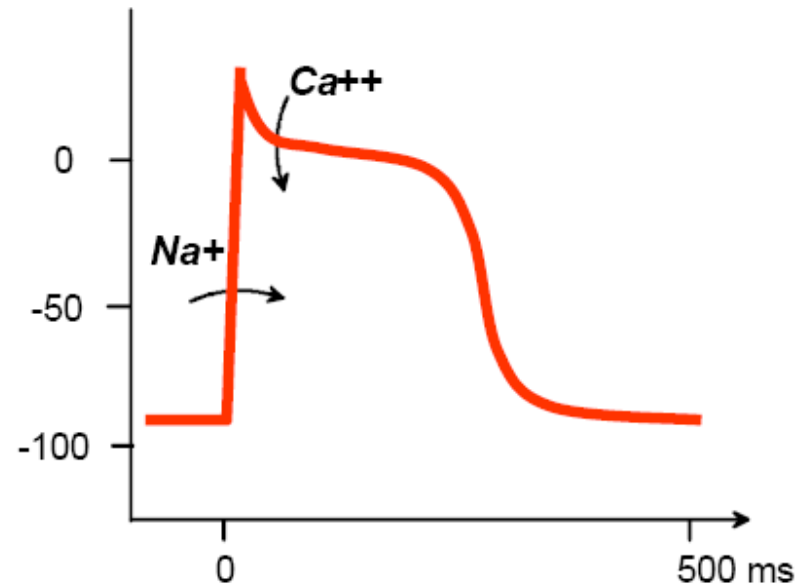
Potentiel de membrane (mV)

**Myocyte Automatique**



Potentiel de membrane (mV)

**Myocyte Contractile**

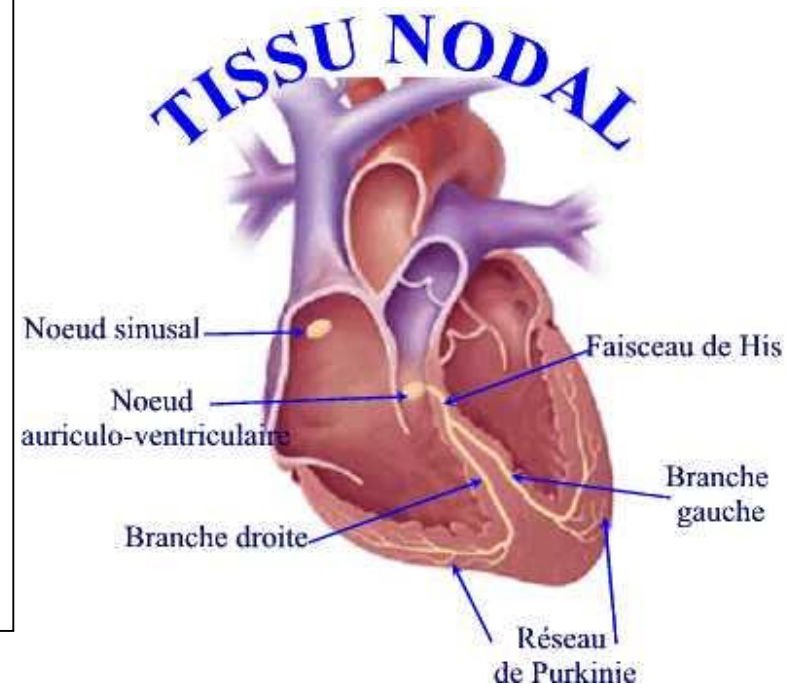


# Le tissu nodal

- Se dépolarisent spontanément à un rythme rapide (mais ne se contractent presque pas)
- Sont liées les unes aux autres et forment des **amas** ou des **réseaux** semblables à des nerfs

Il comprend :

- Le **noeud sinusal** de KEITH et FLACK, près de l'orifice de la veine cave supérieure.
- Le **noeud d'ASCHOFF-TAWARA** ou centre nodal (**noeud auriculo-ventriculaire**), à la naissance de la cloison interventriculaire.
- Le **faisceau de HIS** et **ses deux branches** font suite au centre nodal et sont situés dans le septum interventriculaire
- Le **réseau de PURKINJE** représente la terminaison du faisceau de HIS, il se ramifie sous l'endocarde.

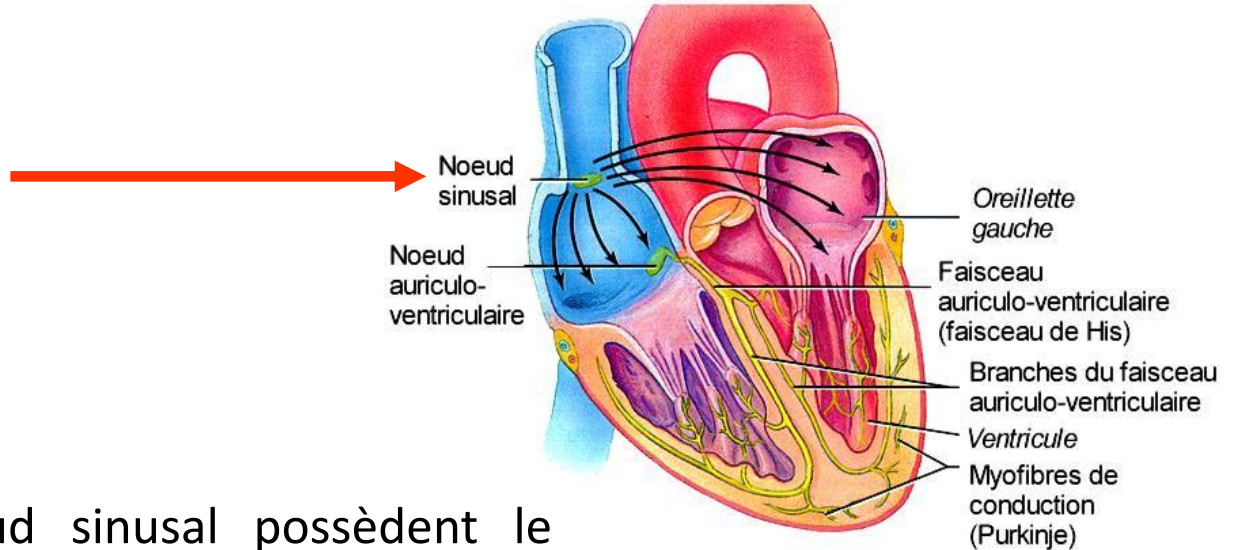


→ Le cœur bat de manière spontanée

→ Ce sont les **cellules du nœud sinusal** qui imposent leur rythme à tout le cœur

↪ Régulation de la fréquence cardiaque

## Nœud sinusal

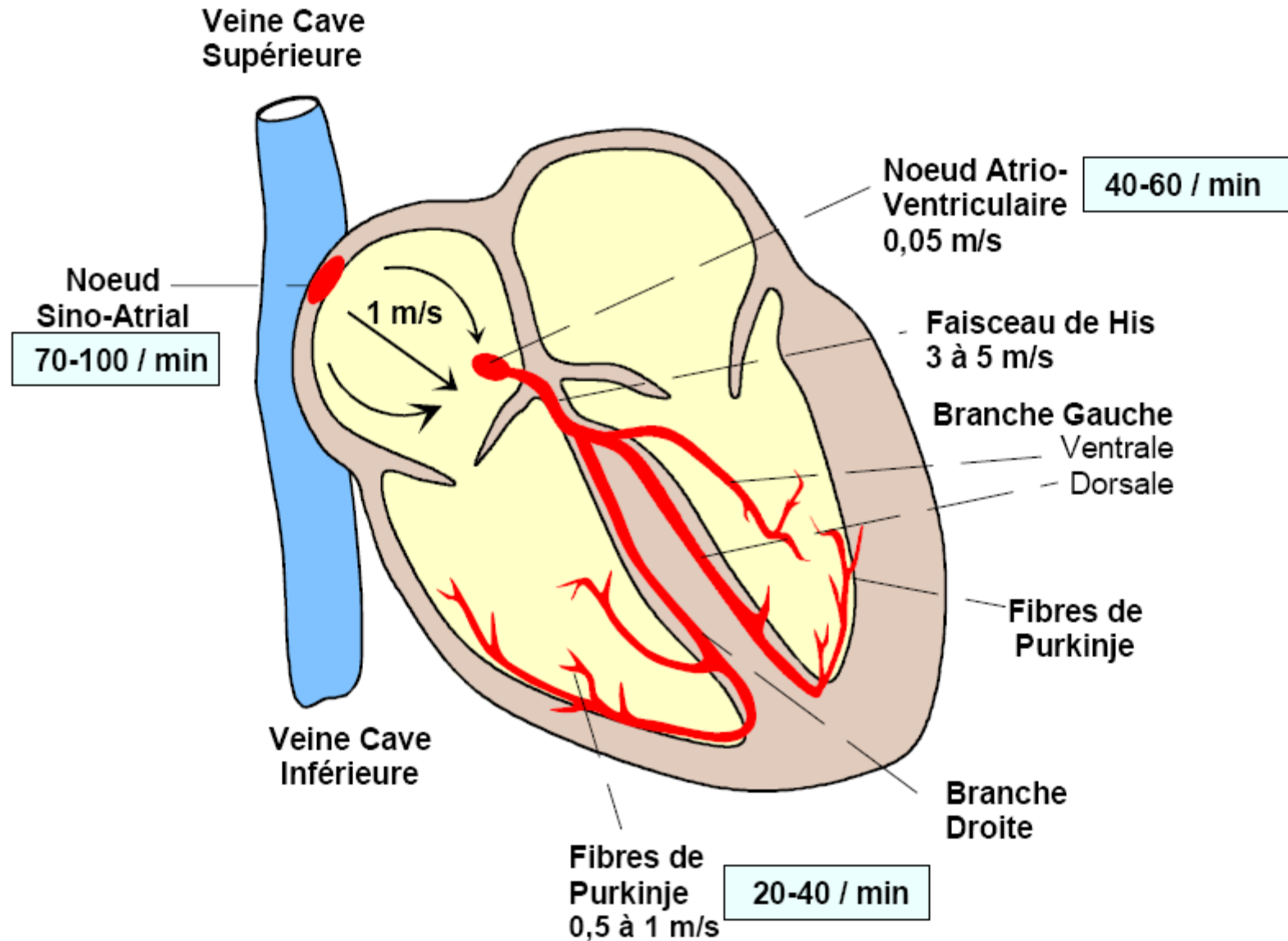


- Les cellules du nœud sinusal possèdent le **rythme de dépolarisation le plus rapide** :

~ 70 - 100 à la minute

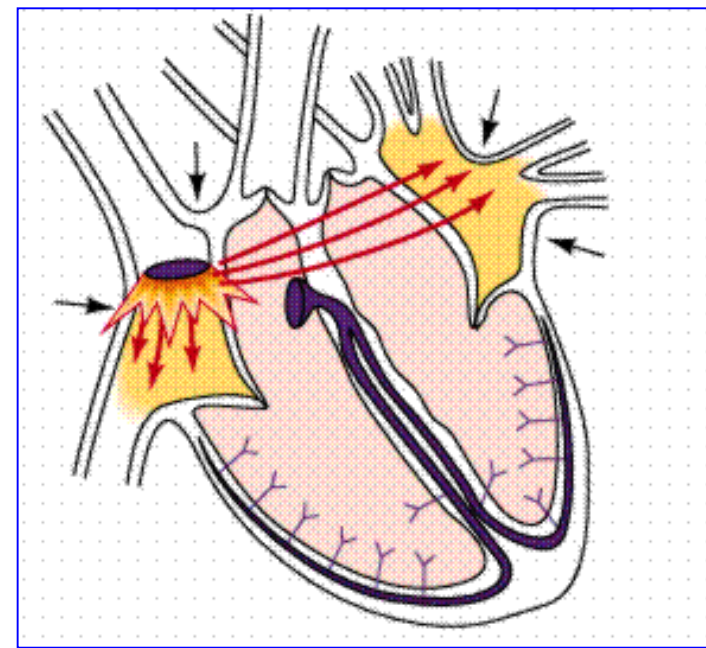
→ Rythme des autres cellules est plus lent

# Le Tissu Nodal et l'automatisme cardiaque



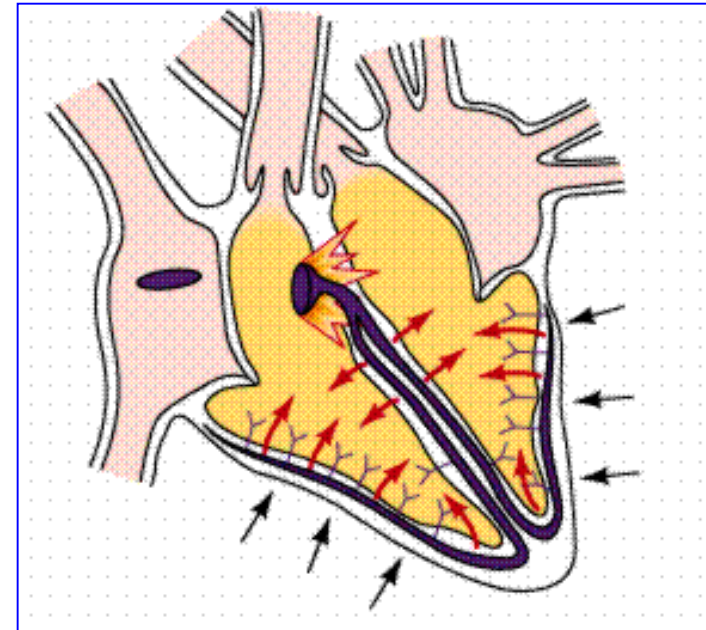
- Les cellules du nœud sinusal se dépolarisent
- La dépolarisation se transmet aux cellules musculaires des oreillettes

**Les oreillettes se contractent**

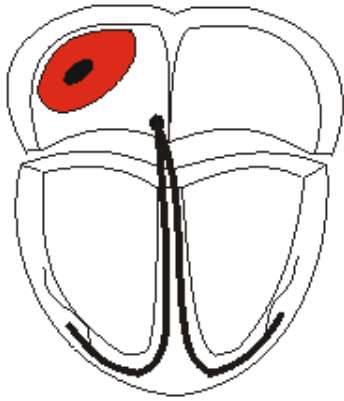


- La dépolarisation atteint le nœud auriculo-ventriculaire
- La dépolarisation se transmet au faisceau de His et aux fibres de Purkinje
- La dépolarisation se transmet à l'ensemble des cellules musculaires des ventricules

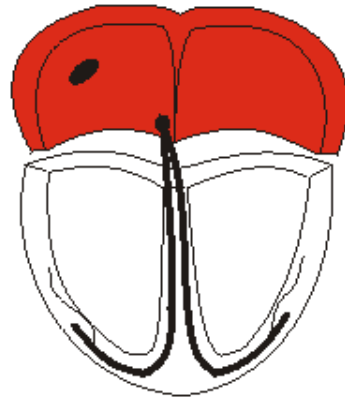
**Les ventricules se contractent**



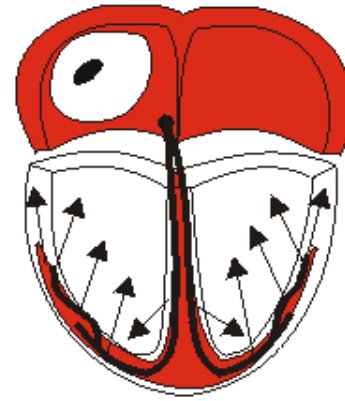
**Repolarisation oreillettes et ventricules**



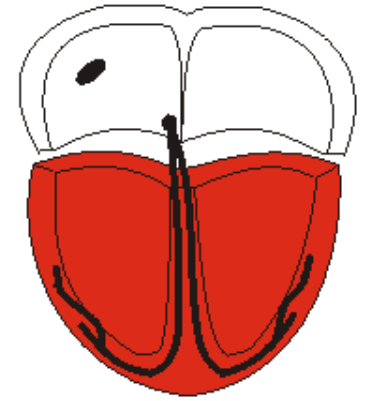
Dépolarisation  
du nœud sinusal  
se transmet aux  
cellules des  
oreillettes



Les oreillettes  
se dépolarisent  
==> **systole  
auriculaire**



La dépolarisation se  
transmet aux  
ventricules par le  
faisceau de His et les  
fibres de Purkinje



Les cellules des  
ventricules se  
dépolarisent →  
**systole  
ventriculaire**

L'activité électrique du cœur peut être enregistrée à l'aide d'électrodes sur la peau

= L'électrocardiogramme (ECG)

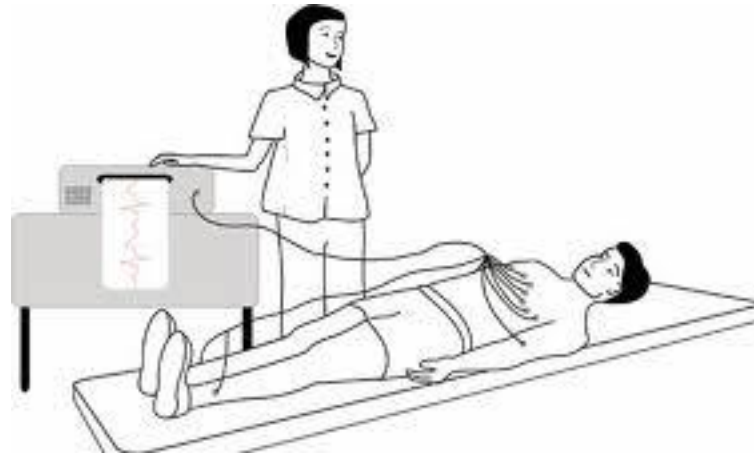


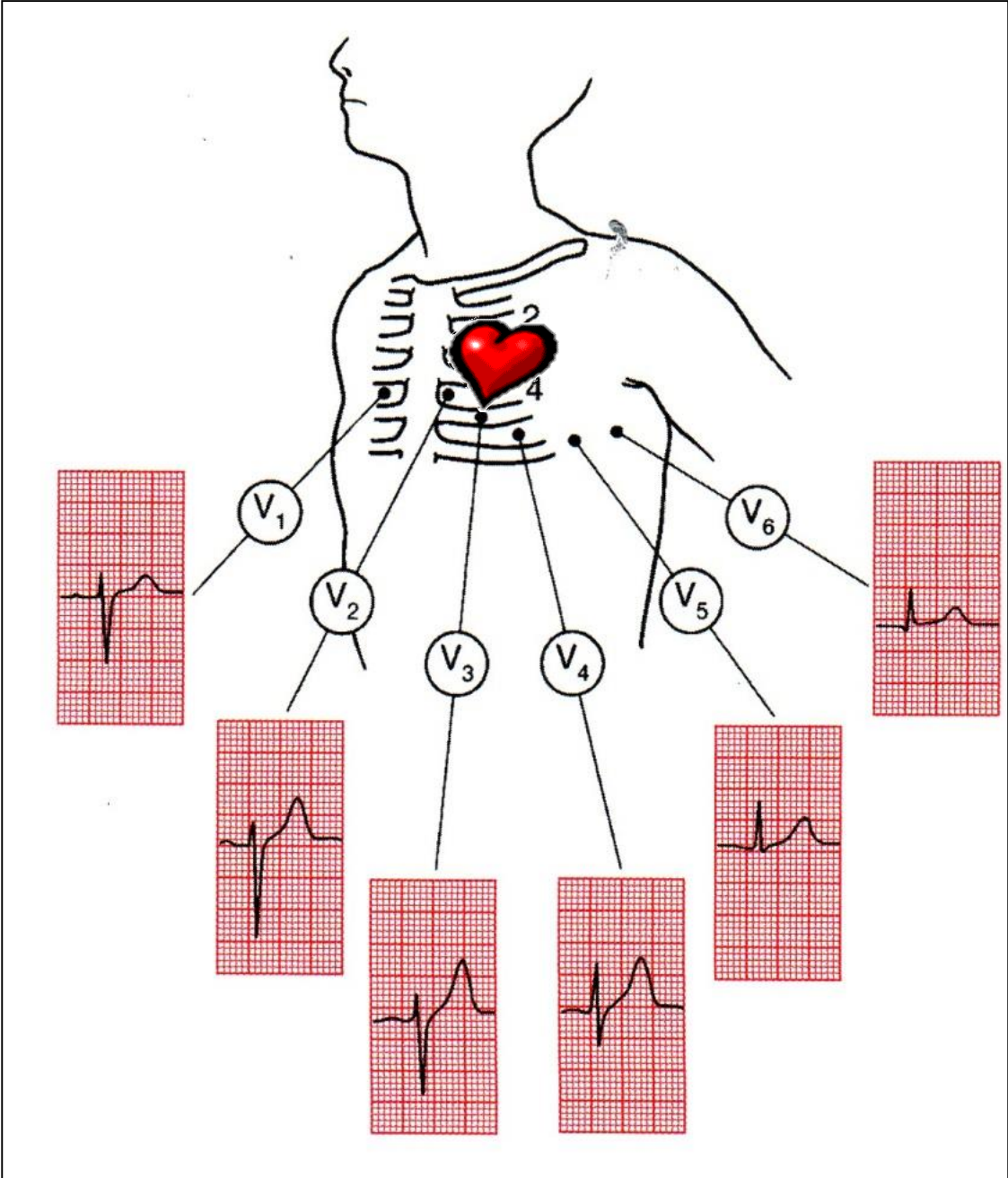
Exploration de l'activité électrique du cœur dans **un plan frontal** et dans **un plan horizontal**



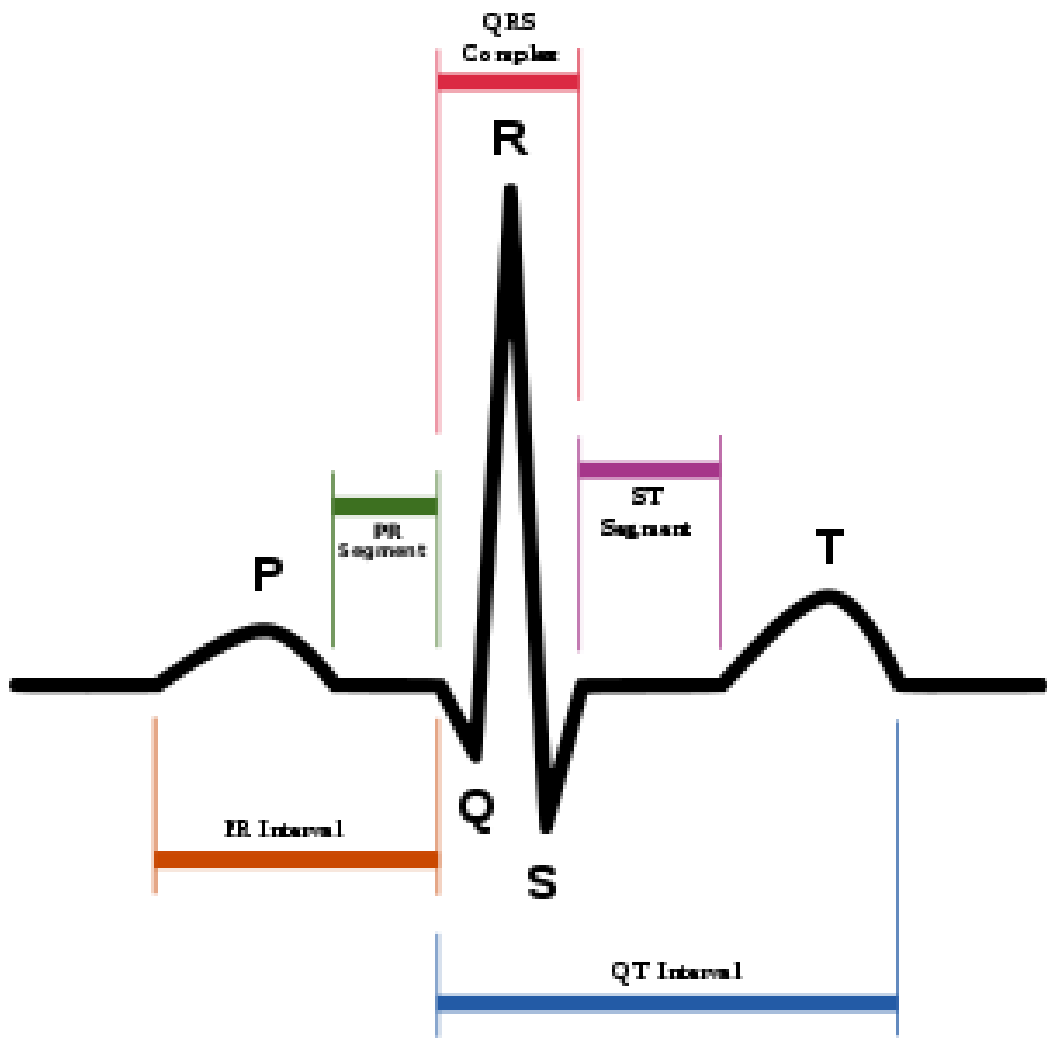
Informations sur la **position du cœur**, la **fréquence des battements**, le **rythme des excitations**, ainsi que leurs **perturbations** éventuelles...

C'est une **image de l'activité électrique** du cœur





# L'électrocardiogramme : différentes composantes



### 3. Le cœur en tant que pompe : Volumes, Pressions

Entre les atrium et les ventricules, des valves bloquent le retour en arrière du sang lors de la contraction ventriculaire:

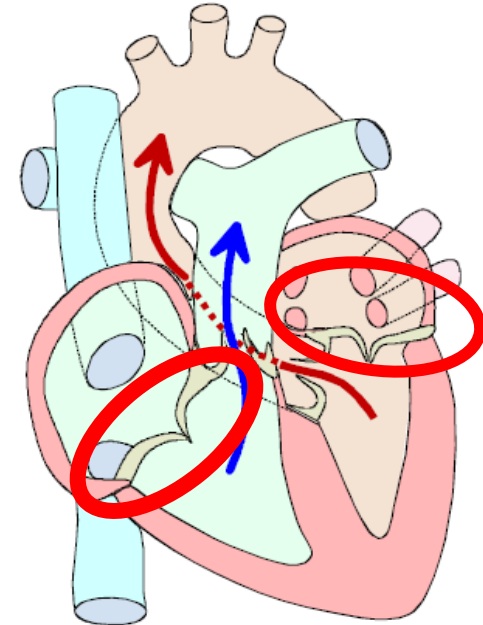
Cœur gauche: valve Mitrale

Cœur droit: valve Tricuspide

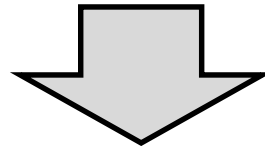
Entre les ventricules et les gros vaisseaux (aorte et a. pulmonaire), des valves bloquent le retour en arrière du sang lors de la diastole ventriculaire:

Cœur gauche: valve Aortique

Cœur droit: valve Pulmonaire

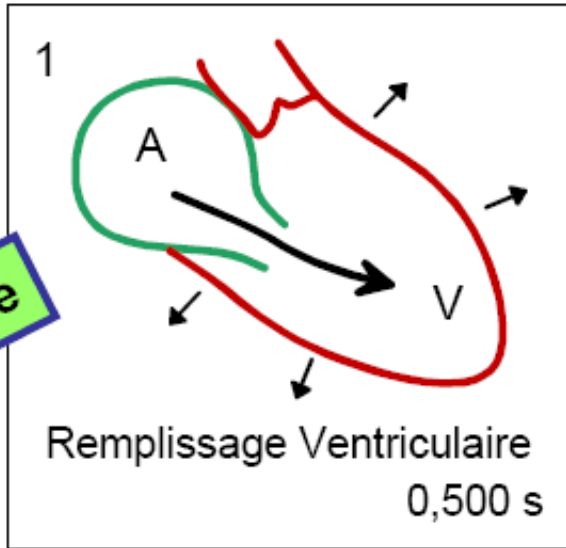


Systole Ventriculaire

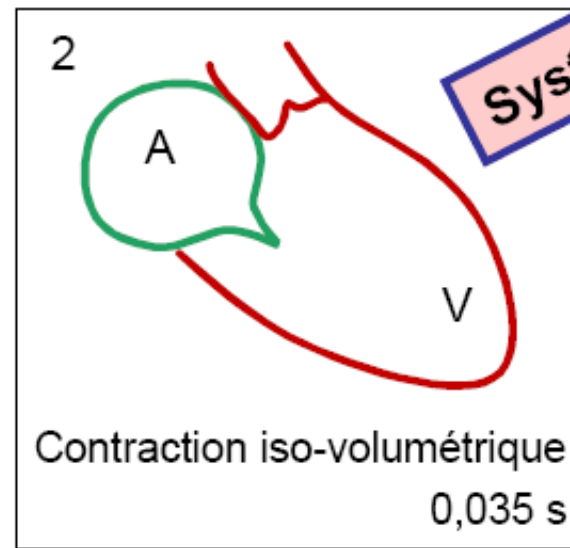


Ces valves permettent au cœur de transformer une activité mécanique (contraction des cavités) en un flux sanguin unidirectionnel

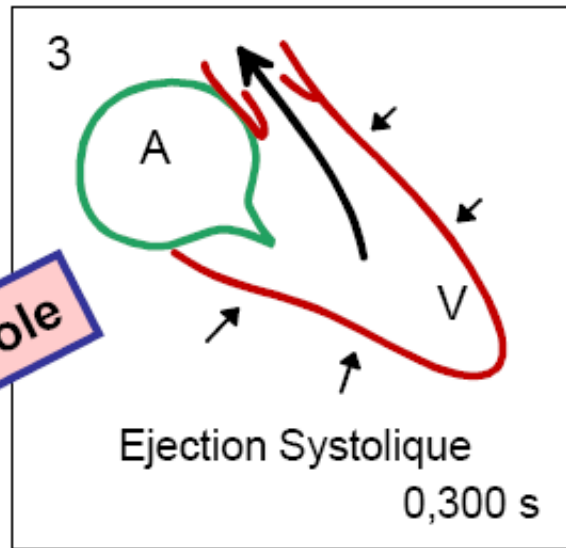
Diastole



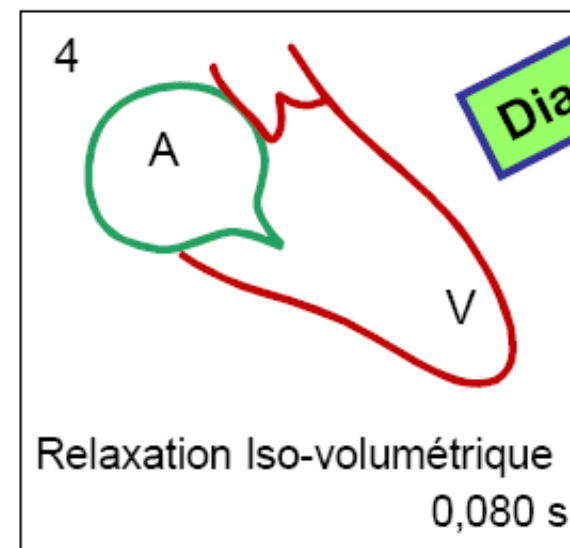
Systole



Systole



Diastole



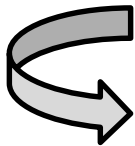
4 étapes du cycle cardiaque

### 3. Le cœur en tant que pompe : Volumes, Pressions

En fin de contraction ventriculaire : volume télésystolique (VTS)

En fin de diastole ventriculaire : volume télédiastolique (VTD)

Entre les deux : c'est le volume d'éjection systolique (VES)



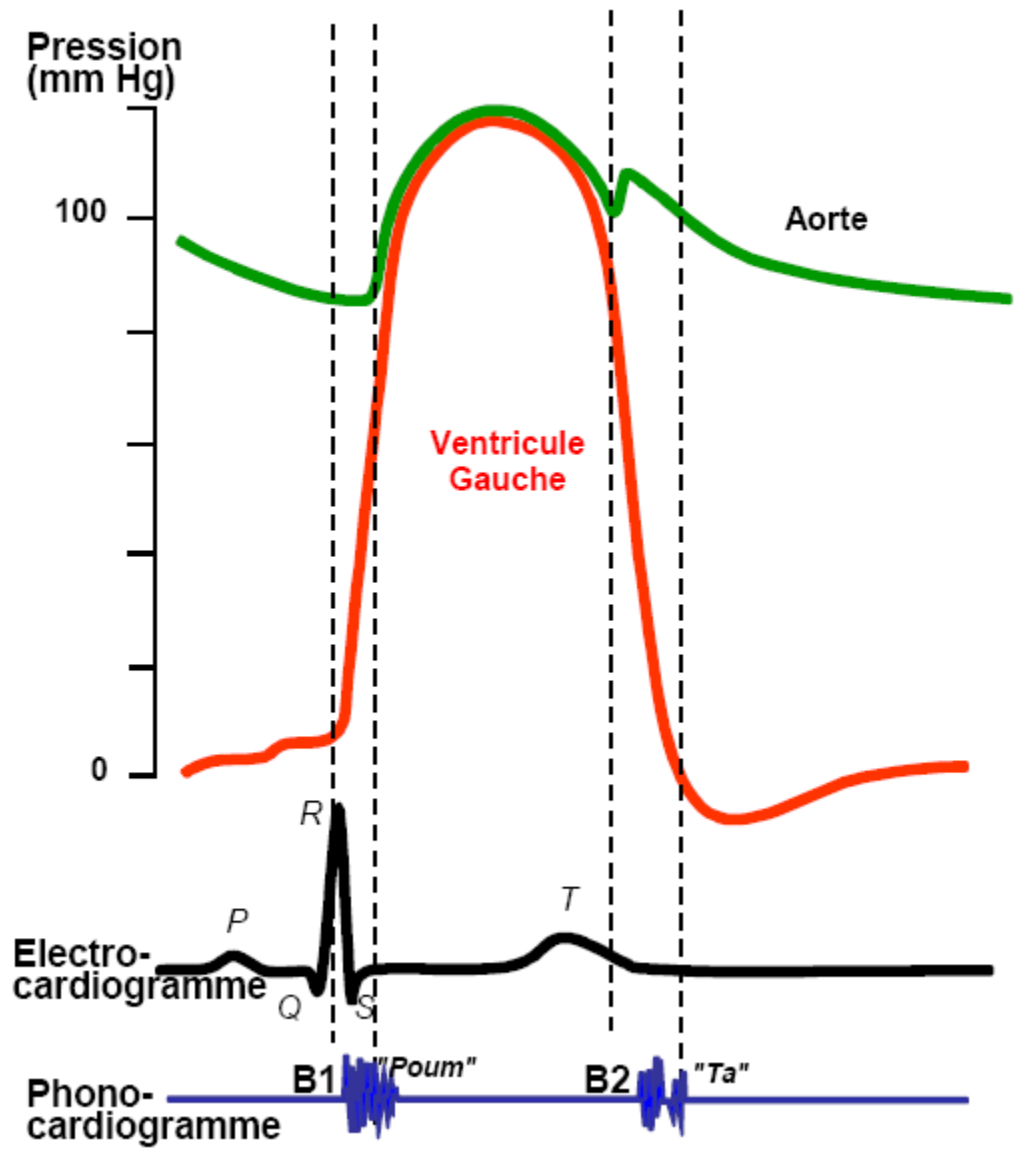
En moyenne = 70ml

Le débit cardiaque ( $Q_c$ )

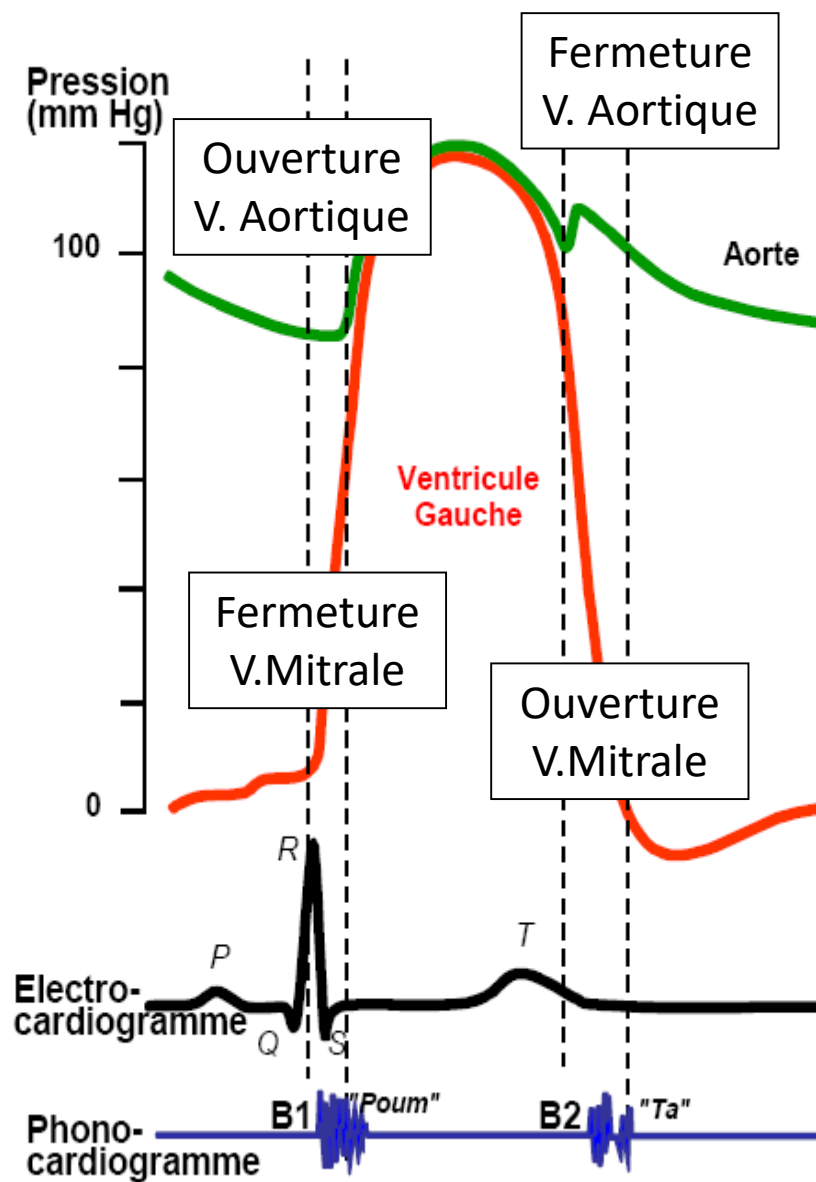
=Fréquence cardiaque ( $F_c$ ) \* Volume d'éjection systolique

$$Q_c = F_c \times VES$$

### 3. Le cœur en tant que pompe : Volumes, Pressions



Le cycle démarre par la contraction auriculaire (onde p) débutant la diastole ventriculaire



## Diastole ventriculaire:

- relaxation iso-volumétrique du VG:  
La pression VG (P.VG) passe au dessous de celle de l'oreillette G (P.OG)  
La valve mitrale s'ouvre
- remplissage rapide passif du VG
- systole auriculaire (20% du remplissage):  
Remplissage du VG, élévation modérée de la P.VG

## Systole ventriculaire:

- contraction iso-volumétrique du VG  
élévation de la pression dans le VG  
 $P.VG > P.OG$   
Fermeture de la valve mitrale (B1)
- P.VG dépasse P. Aorte:  
Ouverture de la valve aortique  
Ejection sanguin vers l'Ao

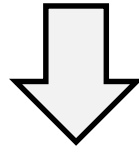
En fin d'éjection, La pression repasse au dessous La valve Aortique se ferme (B2)

Et à droite ?

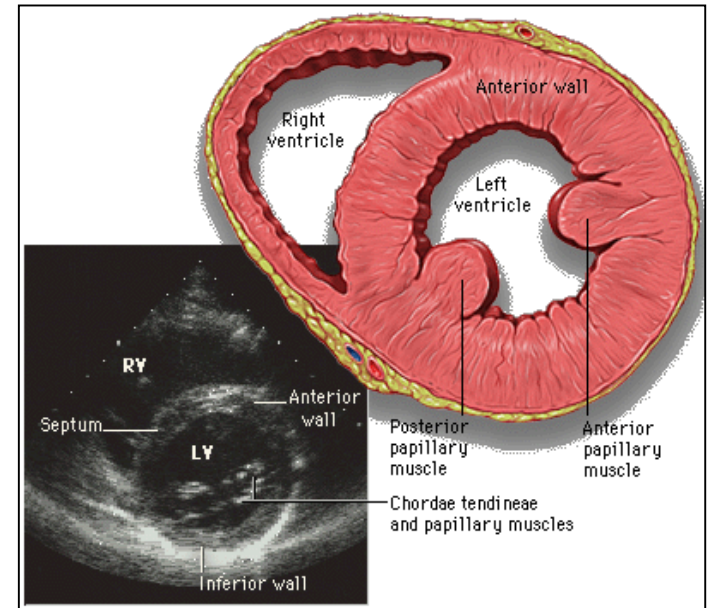
## Courbes pression idem, mais plus basses

Pression aorte : de 120 mmHg à 80 mmHg

Pression a. Pulmonaire: de 25 mmHg à 8 mmHg



Paroi du VD plus fine



Interdépendance des ventricules: rôle en pathologie

## 4. Contrôle de l'activité cardiaque

Fonction cardiaque : assurer un débit sanguin

$$Q_c = F_c \times VES$$

...avec un régime de **pression acceptable** dans les vaisseaux

Cette pression dépend du débit cardiaque ( $Q_c$ ) et de la résistance circulatoire périphérique totale (RPT) :

$$P = RPT \times Q_c$$

Les paramètres de contraction de la fibre musculaire cardiaque peuvent être étudiés sur le muscle cardiaque, par la construction du **diagramme Pression-Volume**

# La force de contraction ventriculaire



## INOTROPISME

= contractilité myocardique: capacité des cellules musculaires à se contracter en réponse à un potentiel d'action

## ≠ CHRONOTROPISME

= modification d'un rythme ou de la fréquence d'un phénomène physiologique en fonction de tel ou tel facteur extérieur

### **A/ Système nerveux ortho sympathique (SN autonome ou végétatif)**

Noradrénaline = médiateur  
Récepteur B1 des cardiomyocytes  
Effets inotrope +, chronotrope +

### **B/ Catécholamines circulantes**

Adrénaline, angiotensine, etc...  
Récepteur B1 des cardiomyocytes  
Effets inotrope +, chronotrope +

### **A/ Facteurs circulants**

l'hyperkaliémie, l'acidose, l'hypoxie,  
l'acétylcholine, les bêtabloqueurs...

### **B/ Système nerveux parasympathique (SN autonome ou végétatif)**

Acétylcholine= médiateur  
Récepteur muscariniques des cardiomyocytes  
Effets inotrope -, chronotrope -

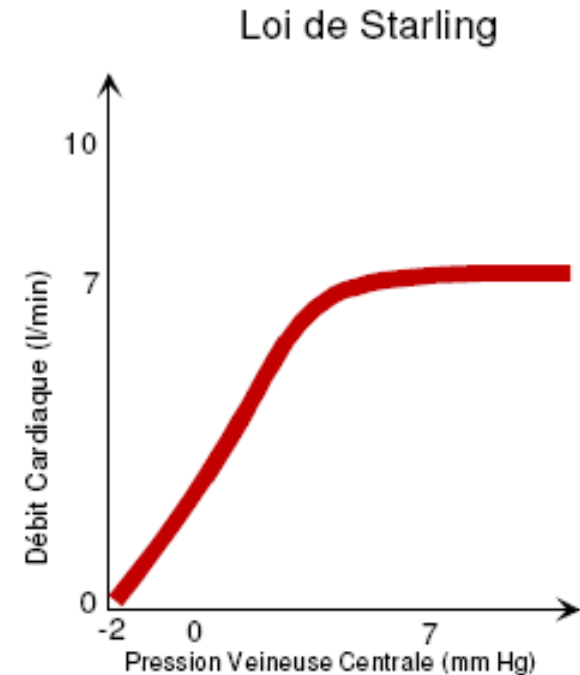
## Loi de Franck-Starling

Plus le volume télédiastolique d'un ventricule augmente, plus l'énergie produite par ce dernier pour éjecter le sang sera grande. Au delà des conditions optimales de contraction du ventricule, la force de contraction peut ensuite diminuer.

Le volume télédiastolique du ventricule (**Pré-charge**) est déterminé par le retour veineux

La pression veineuse centrale est le retour veineux = P. dans les veines caves (PVC), varie selon:

- Volume sanguin total (hémorragie, déshydratation)
- Tonus veineux
- La pompe musculaire
- La pompe respiratoire et abdominale
- La suction des ventricules en diastole



# La force de contraction ventriculaire

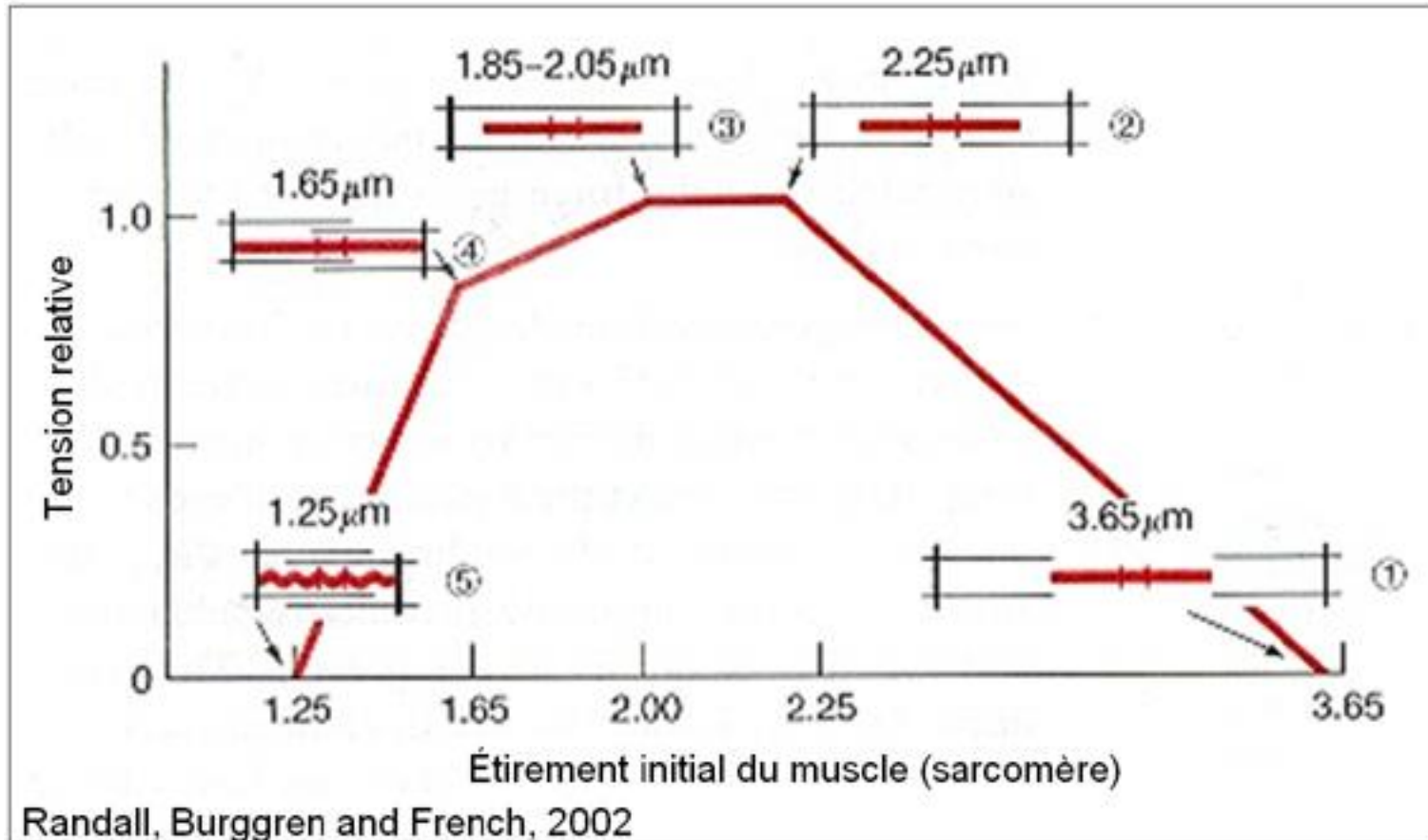
contrôle intrinsèque/**loi de Frank Starling**

- **PRECHARGE = Volume en fin de diastole**  
= Caractérise les conditions de remplissage du ventricule

- **POSTCHARGE**  
= Force que doit vaincre le myocarde pour éjecter le sang

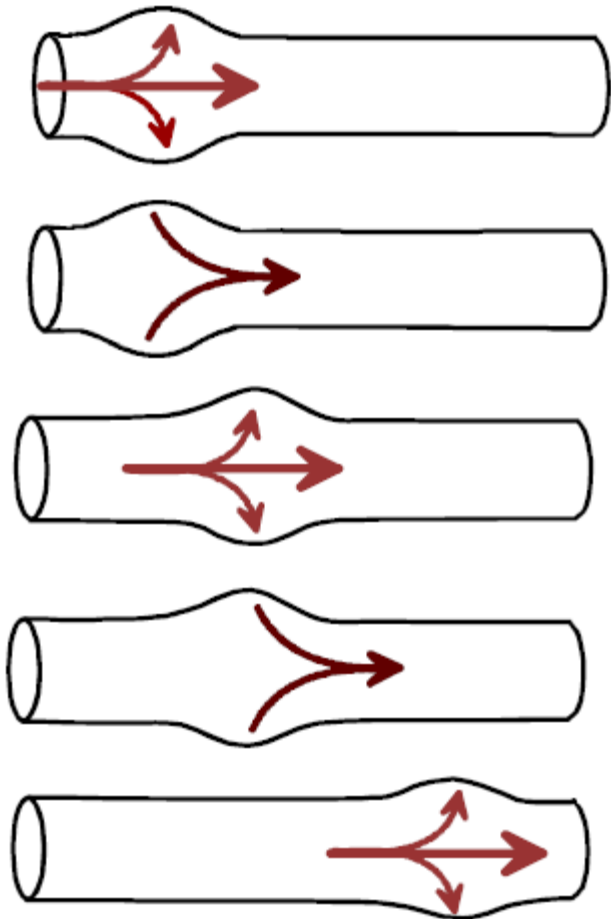
Explication:

Relation fondamentale entre la longueur initiale d'un muscle et sa force de contraction



Idem pour les cardiomyocytes

## 5. Contrôle vasculaire



Répartition du VES (70mL) dans l'Aorte et les vaisseaux artériels, grâce à la distensibilité de la paroi

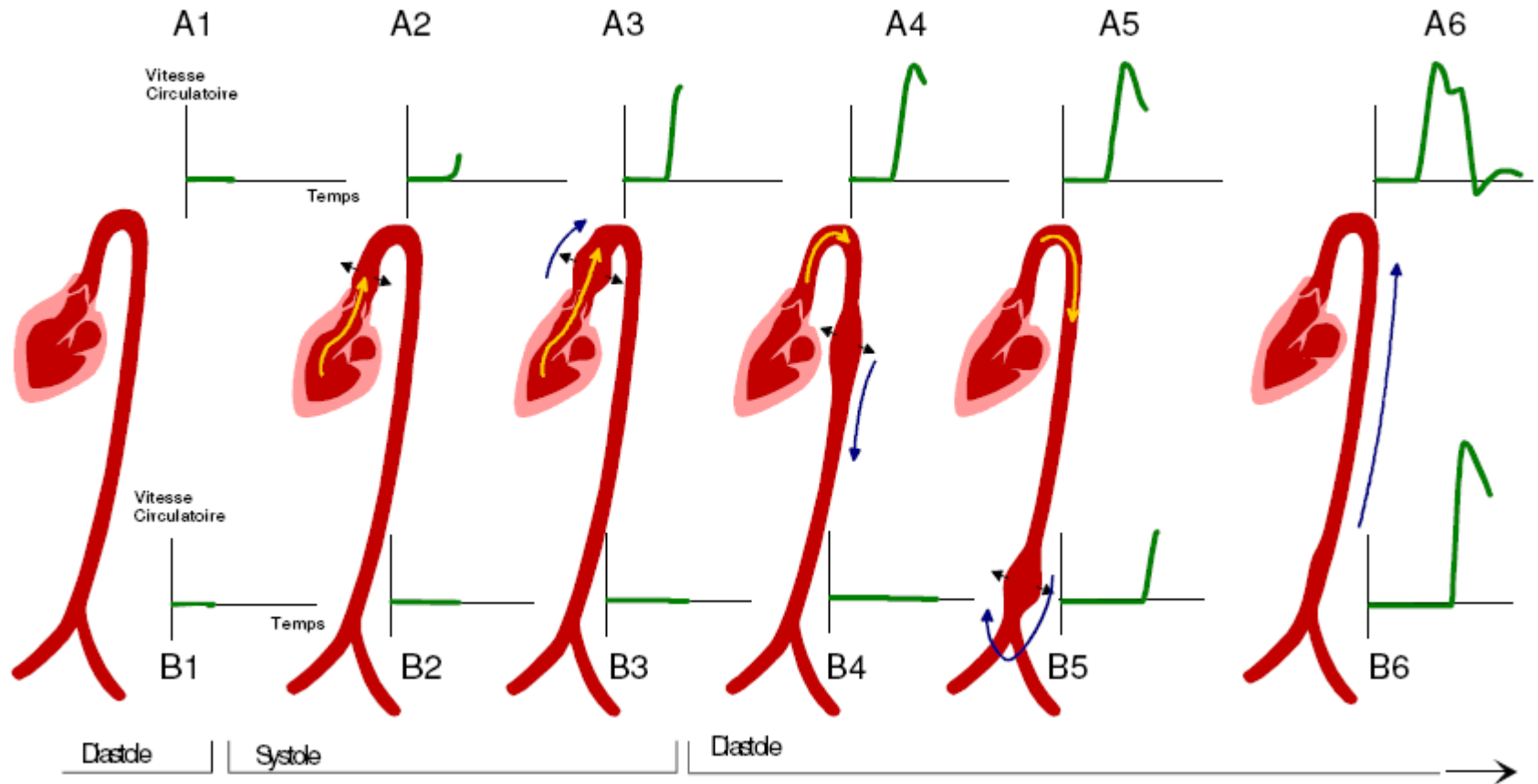
**Onde artérielle** ou onde de pouls

Vitesse proportionnelle à l'élasticité paroi +++

# A/ Les gros vaisseaux artériels

Gros vaisseaux artériels : L'onde artérielle se réfléchit sur les bifurcations

Aspect dicrote puis bref reflux sanguin



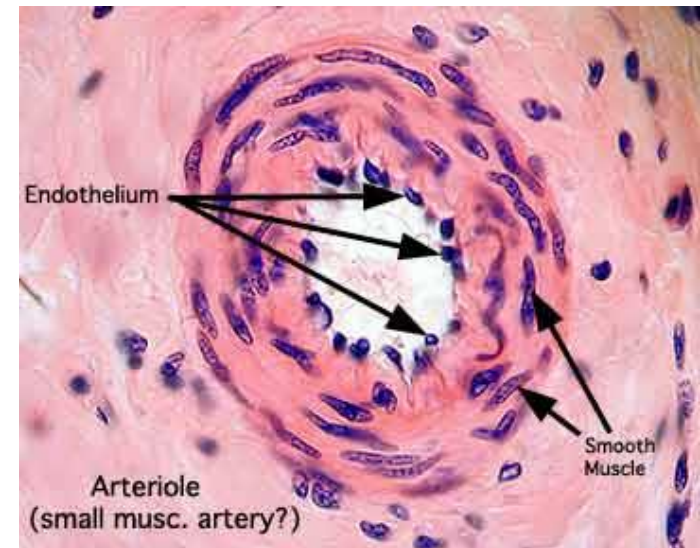
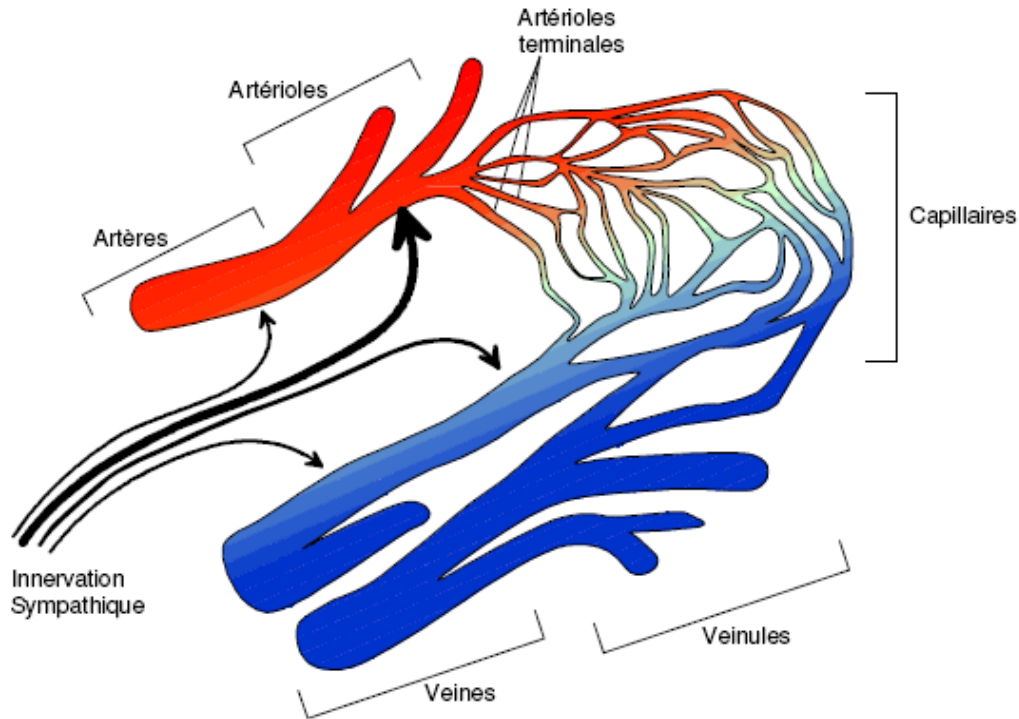
Vitesse circulatoire mesurée par un appareil de Doppler vasculaire

# Microcirculation

## B/ Les artérioles = réseau résistif

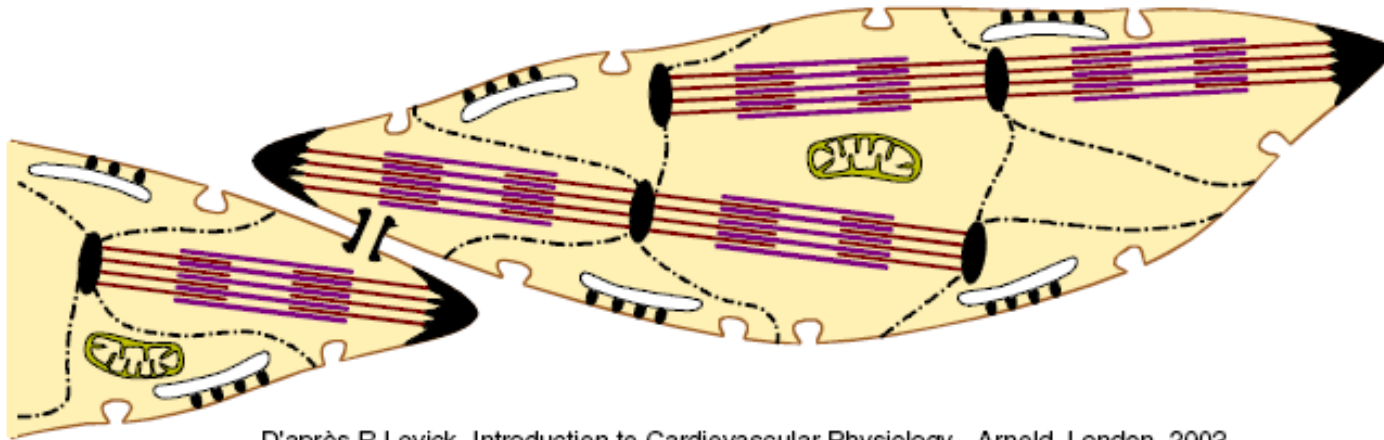
Contrôle des RPT donc de la PA et de la post-charge du VG  
vaisseaux de petit diamètre (5 à 100 microns)

paroi : intima, média = couche musculaire importante + richement innervée par le SN autonome



# Le myocyte vasculaire

Constitue la média de la paroi artérielle  
Tonus variable et régulé = **vasomotricité**



D'après R Levick. Introduction to Cardiovascular Physiology - Arnold, London, 2003

Contrôle local (besoin métabolique des tissus)

Contrôle général (humoral et nerveux)

# Facteurs régulant le **tonus musculaire lisse des vaisseaux**

## **A/ Facteurs locaux**

1. Chaque tissu adapte son débit à ses besoins métaboliques

Facteurs locaux: témoins ou sous-produits du métabolisme tissulaire  
Pression O<sub>2</sub>, Pression CO<sub>2</sub>, ions potassium, osmolarité...

2. Chaque vaisseau adapte son diamètre à son débit.

Médiateurs locaux:

Histamine, sérotonine,  
endothéline, prostaglandines...

Rôle du NO

## **B/ Facteurs généraux**

1. Médiateurs du SN autonome

2. Catécholamines, etc...

## C/Les capillaires

Fonction: **diffusion** des gazs et des nutriments aux tissus  
**régulation** des **flux liquidiens**

Diamètre 5 à 8  $\mu\text{m}$

Si déséquilibre et fuite liquidienne hors de capillaires = formation d'oedèmes

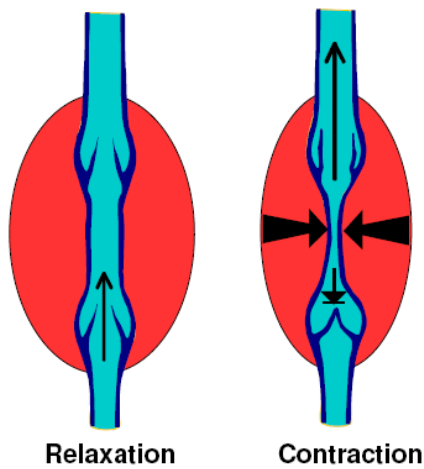


# D/Système veineux

La circulation veineuse ramène le sang vers le coeur

Le facteurs:

- force motrice du ventricule gauche
- la pompe veino-musculaire des mollets
- l'écrasement de la semelle veineuse plantaire
- la pompe abdomino-diaphragmatique (respiratoire)
- l'aspiration atriale

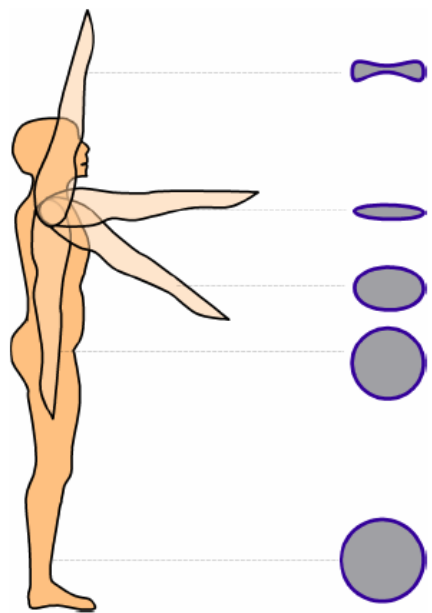


+ valvules anti-retour

Paroi veineuse peu distensible, mais déformable

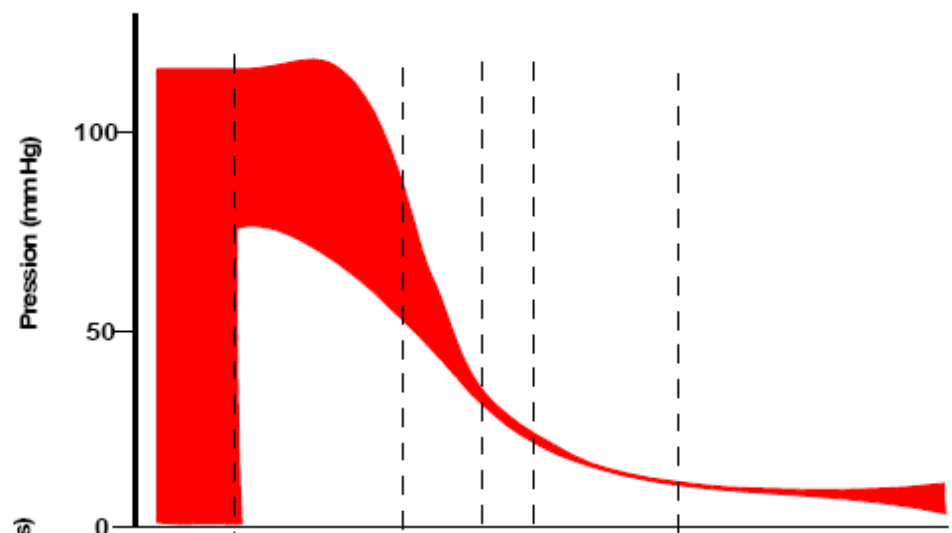
**Système capacitif +++**

=réservoir de sang

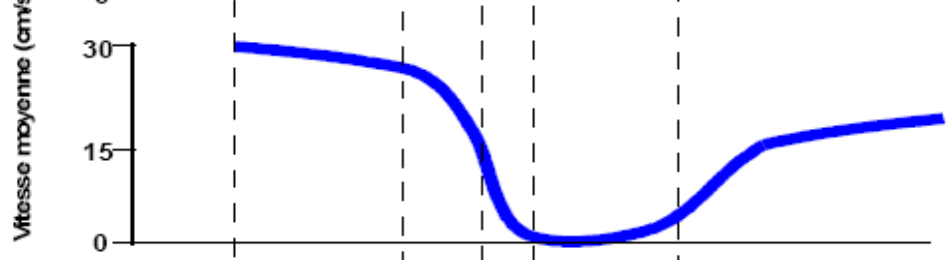


# E/Synthèse

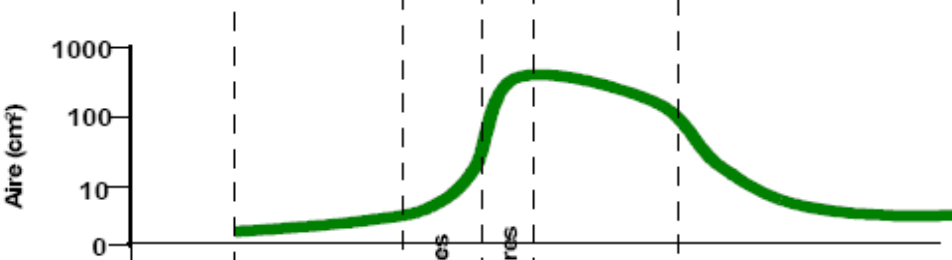
Pression Sanguine



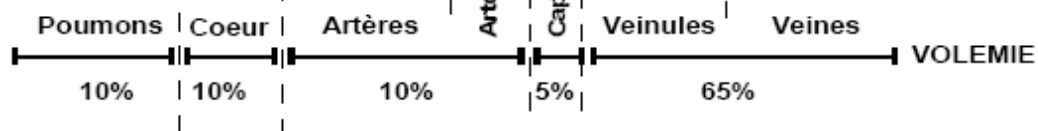
Vitesse Circulatoire



Aire Vasculaire



Volume Sanguin



Réseau résistif

Réseau capacitif

Générateur

Réseau diffusif

## 6. Contrôle cardio-vasculaire

Le système doit s'adapter dans diverses conditions physiologiques

A/ La régulation à court terme (PA et Débit) intervenir le **système nerveux sympathique**:

**Récepteurs** : barorécepteurs aortique et carotidiens

**Intégration** : centres bulbaires

**Transmission information**: système nerveux sympathique

**Effecteurs** :

- . Coeur (inotropie et chronotropie) via **récepteurs  $\beta_1$  myocardiques (+)**
- . Vaisseaux (vasomotricité).

B/ **Système parasympathique non symétrique du** système sympathique:

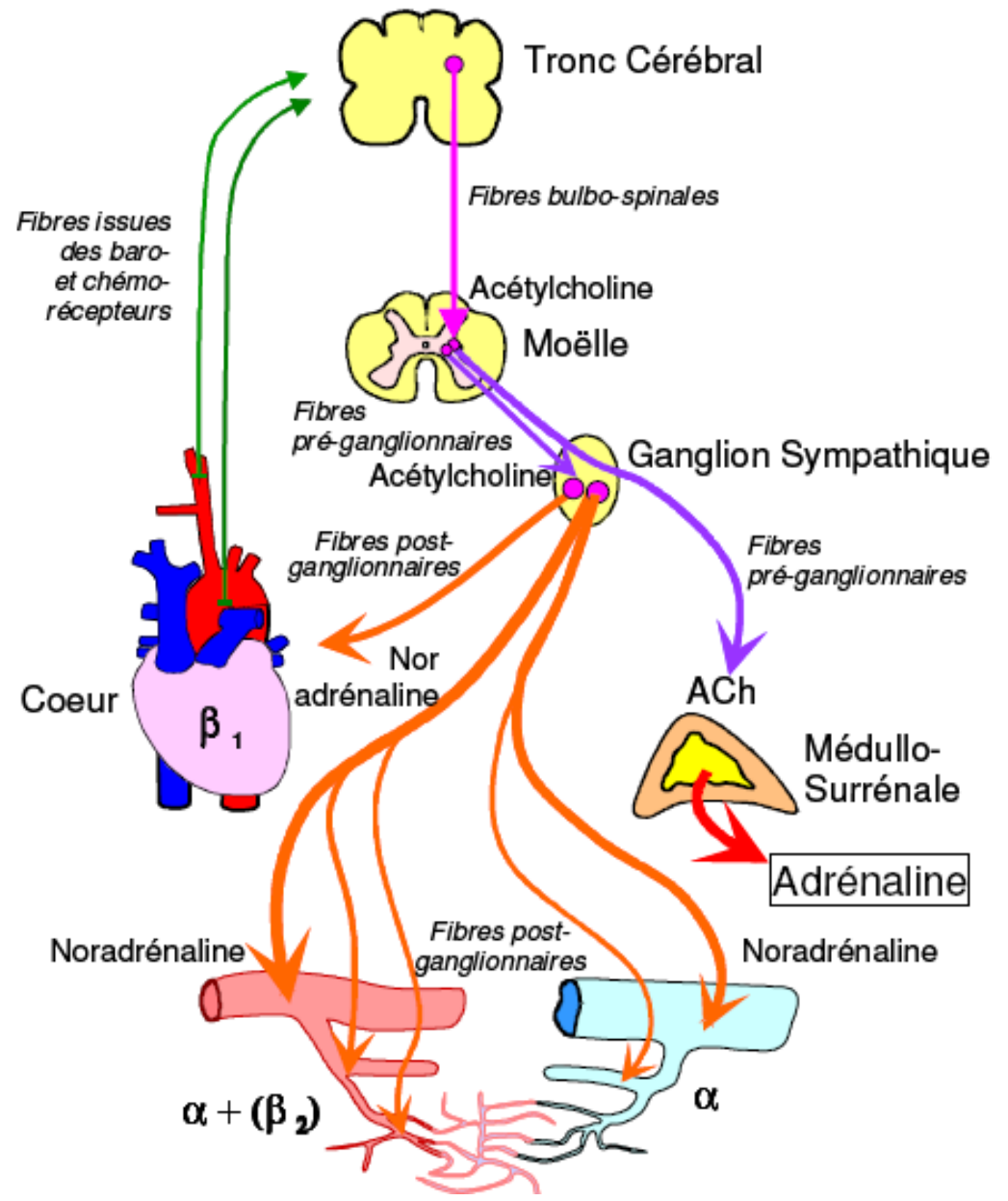
Innervation de l'atrium et du tissu nodal (chrono et ino -)

Innervation des vaisseaux des tissus érectiles (notamment les organes génitaux externes).

$\beta_1$   
Chronotrope +  
Inotrope +

$\alpha$   
Vasoconstriction

$\beta_2$   
Vasorelaxation



**Merci pour votre attention**