



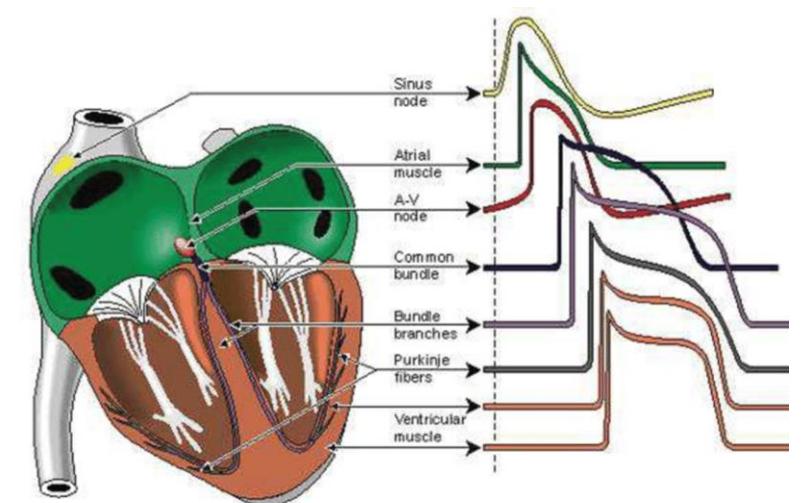
كلية  
الطبيب  
بصفاقس

# PROPRIÉTÉS DES CELLULES MYOCARDIQUES

UEF 106

Pr Kaouthar Masmoudi

2025- 2026



# PLAN

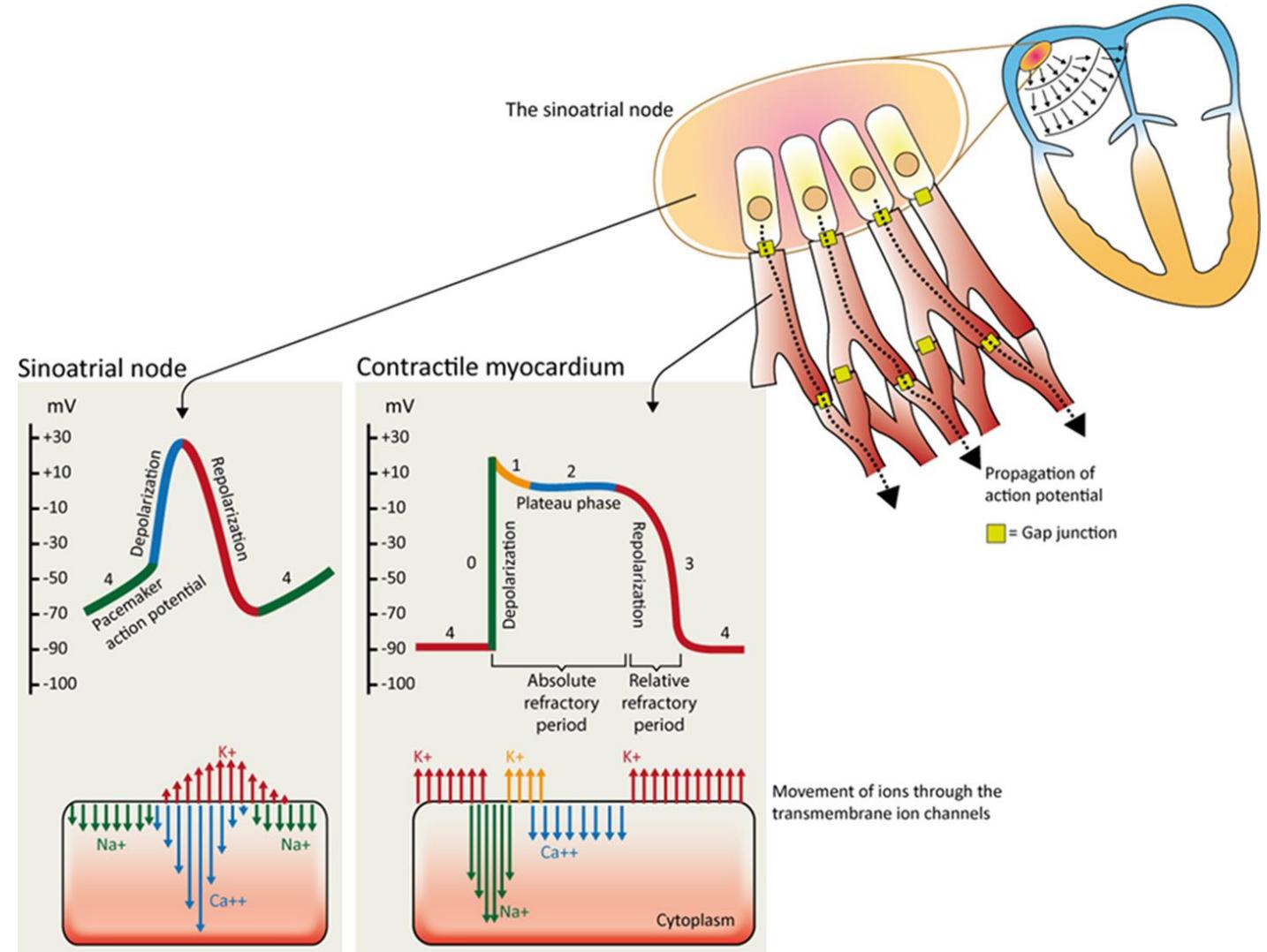
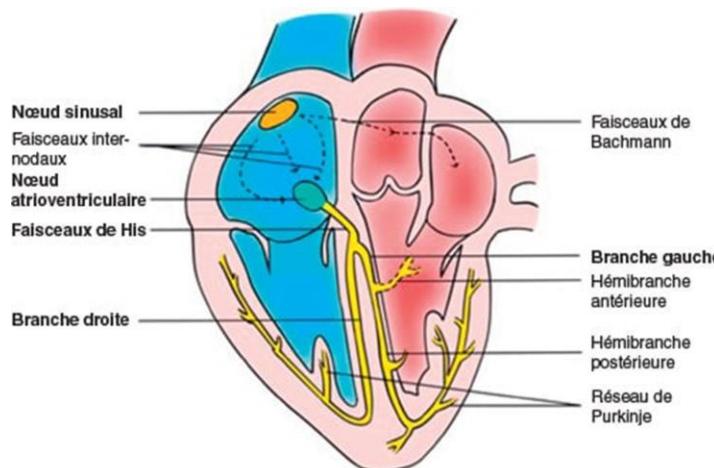
- Cellules contractiles, cellules automatiques.
- Aspect électrique: excitabilité et conductivité
- Les propriétés mécaniques de la fibre cardiaque
- Relations Modalités de stimulation-Contraction
- L'automatisme

# CELLULES CONTRACTILES, CELLULES AUTOMATIQUES.

	<i>Cellules contractiles</i>	<i>Cellules nodales</i>
Excitabilité	+++	+++
Conductivité	+	+++
Automatisme	+/-	+++
Distensibilité	+++	-
Contractilité	+++	-

# ASPECT ÉLECTRIQUE: EXCITABILITÉ ET CONDUCTIVITÉ

- L'excitabilité
- La conductivité



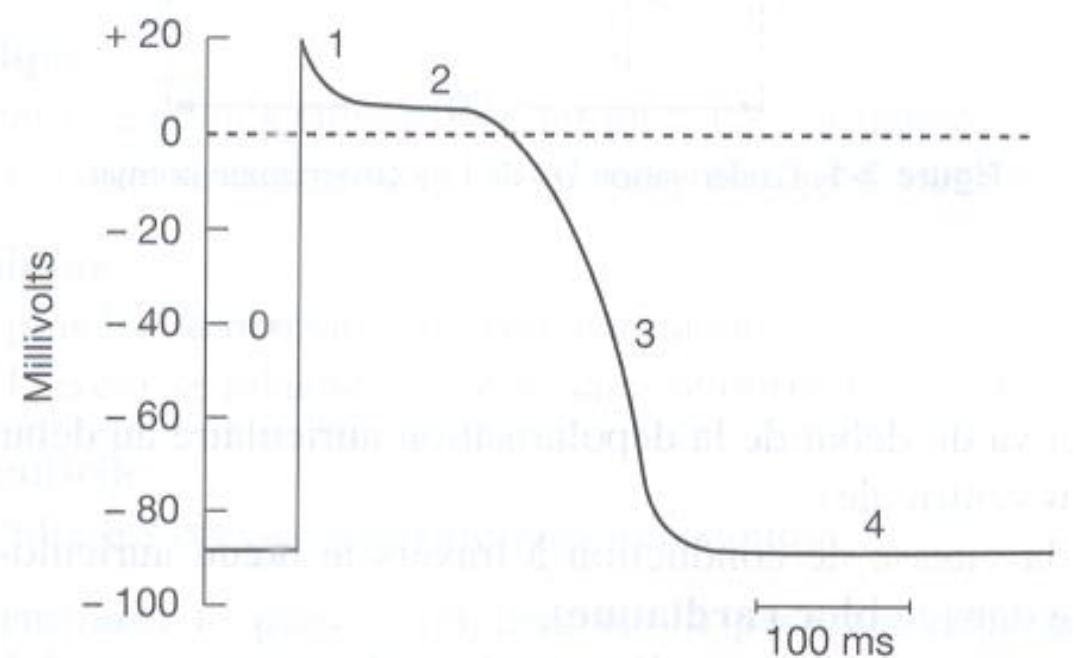
# L'excitabilité

- Stimulation électrique → dépolarisation → contraction

Cellules contractiles       $\neq$       Cellules nodales

## Cellules contractiles :

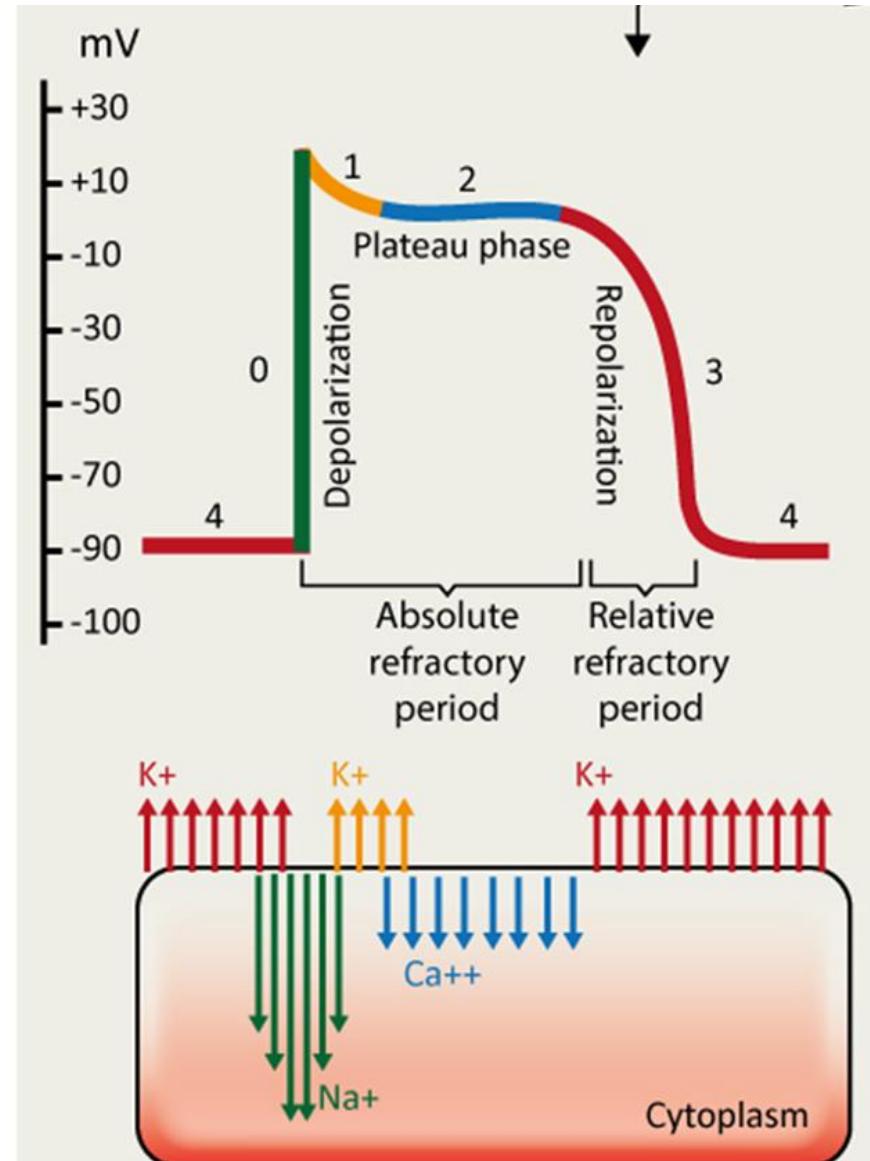
- Potentiel de repos :
  - -80mV
  - Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>ATPase
- Potentiel d'action :
  - Phase 0 : dépolarisation rapide
  - Phase 1 : brève repolarisation initiale
  - Phase 2 : plateau de dépolarisation
  - Phase 3 : repolarisation
  - Phase 4 : potentiel de repos



Le potentiel d'action ventriculaire.

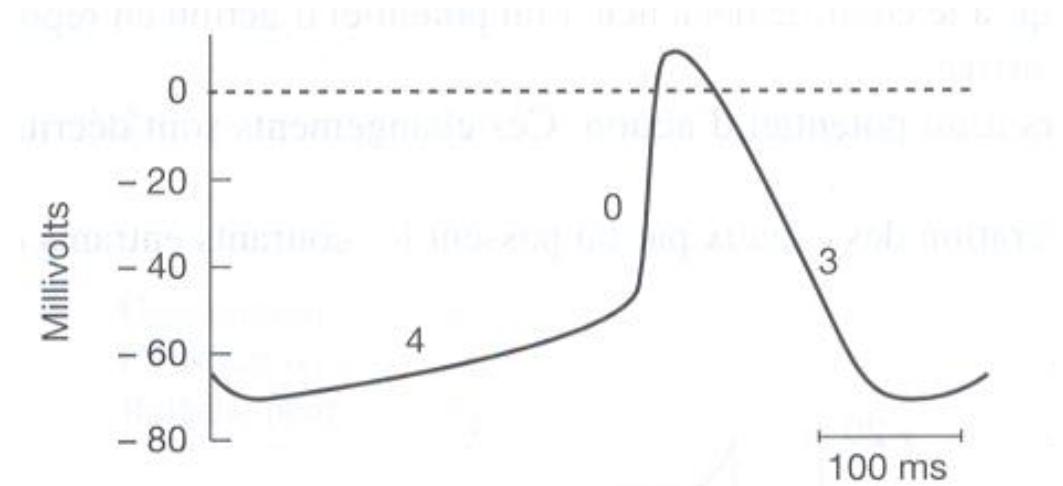
## Phénomènes ioniques de la dépolarisation :

- Phase 0 :
  - entrée rapide de  $\text{Na}^+$
- Phase 1 :
  - sortie  $\text{K}^+$
  - Entrée lente  $\text{Na}^+$
- Phase 2 :
  - Entrée lente  $\text{Ca}^{++}$
  - sortie  $\text{K}^+$
  - Entrée lente  $\text{Na}^+$
- Phase 3 :
  - Sortie rapide  $\text{K}^+$
- Phase 4 :
  - Potentiel de repos



## Cellules nodales :

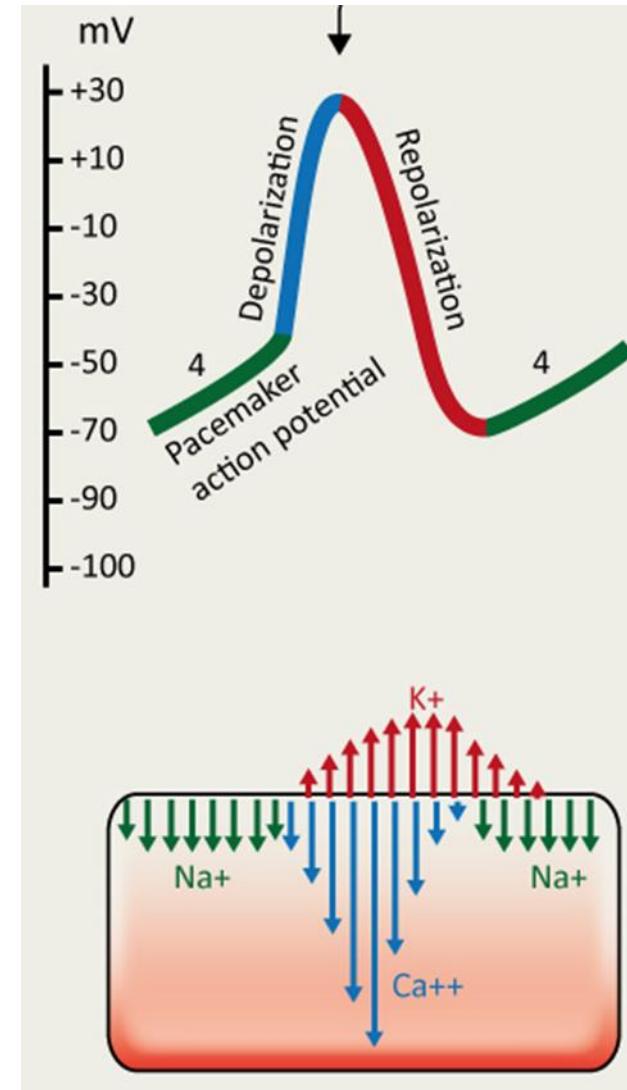
- Potentiel de repos :
  - -60mV
  - Non stable :
    - ↗ progressivement
    - → seuil → PA
- Dépolarisation spontanée : Automatisme
  - Phase 0 : montée du PA : entrée de  $\text{Ca}^{++}$
  - Phase 3 : repolarisation : sortie de  $\text{K}^{+}$
  - Phase 4 : polarisation lente : entrée de  $\text{Na}^{+}$

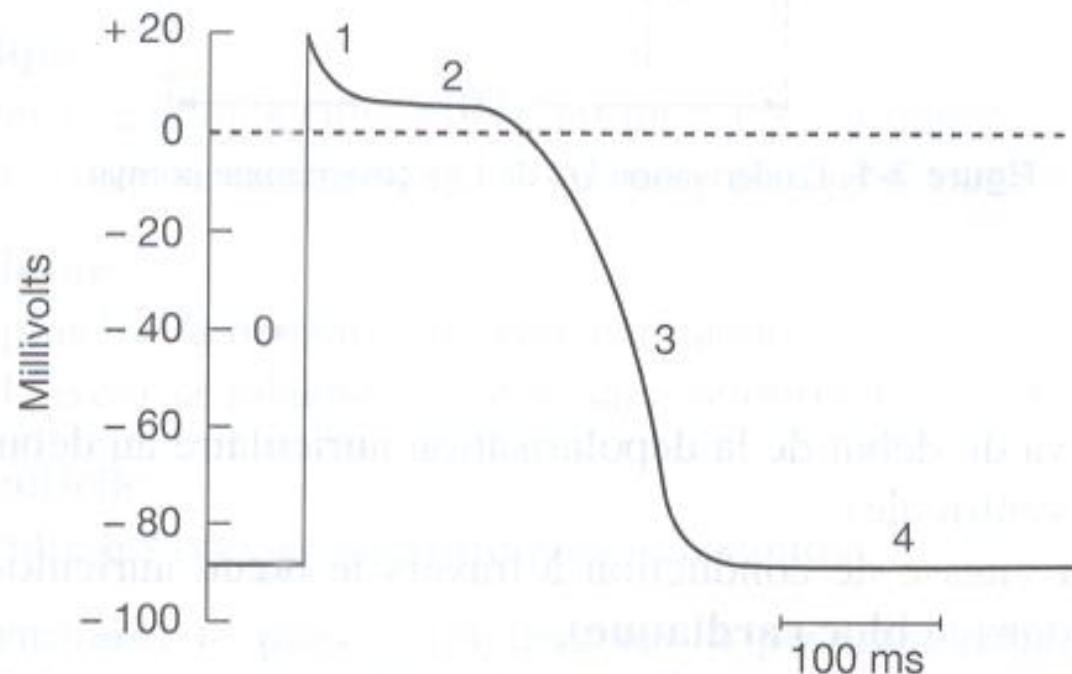


Le potentiel d'action du nœud sino-auriculaire (nœud SA).

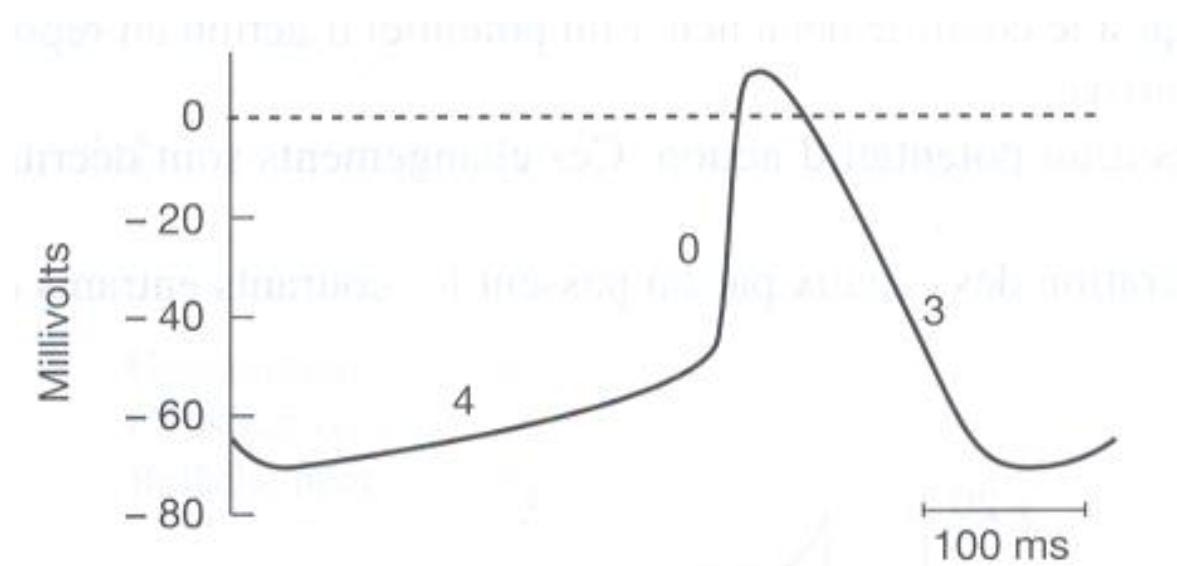
## Cellules nodales :

- Potentiel de repos :
  - -60mV
  - Non stable :
    - ↗ progressivement
    - → seuil → PA
- Dépolarisation spontanée : Automatisme
  - Phase 0 : montée du PA : entrée de  $\text{Ca}^{++}$
  - Phase 3 : repolarisation : sortie de  $\text{K}^{+}$
  - Phase 4 : polarisation lente : entrée de  $\text{Na}^{+}$





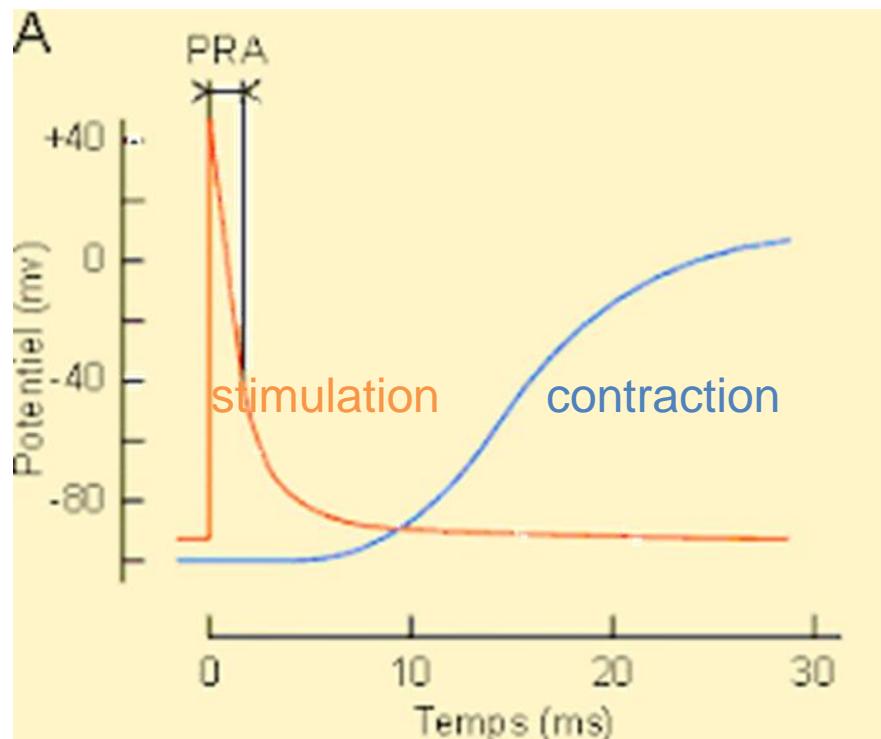
Le potentiel d'action ventriculaire.



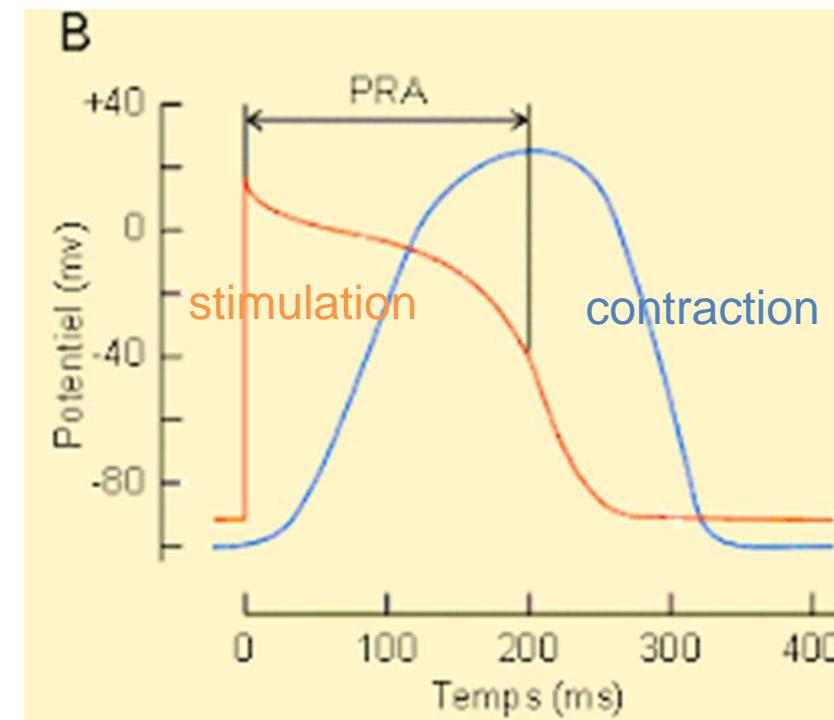
Le potentiel d'action du nœud sino-auriculaire (nœud SA).

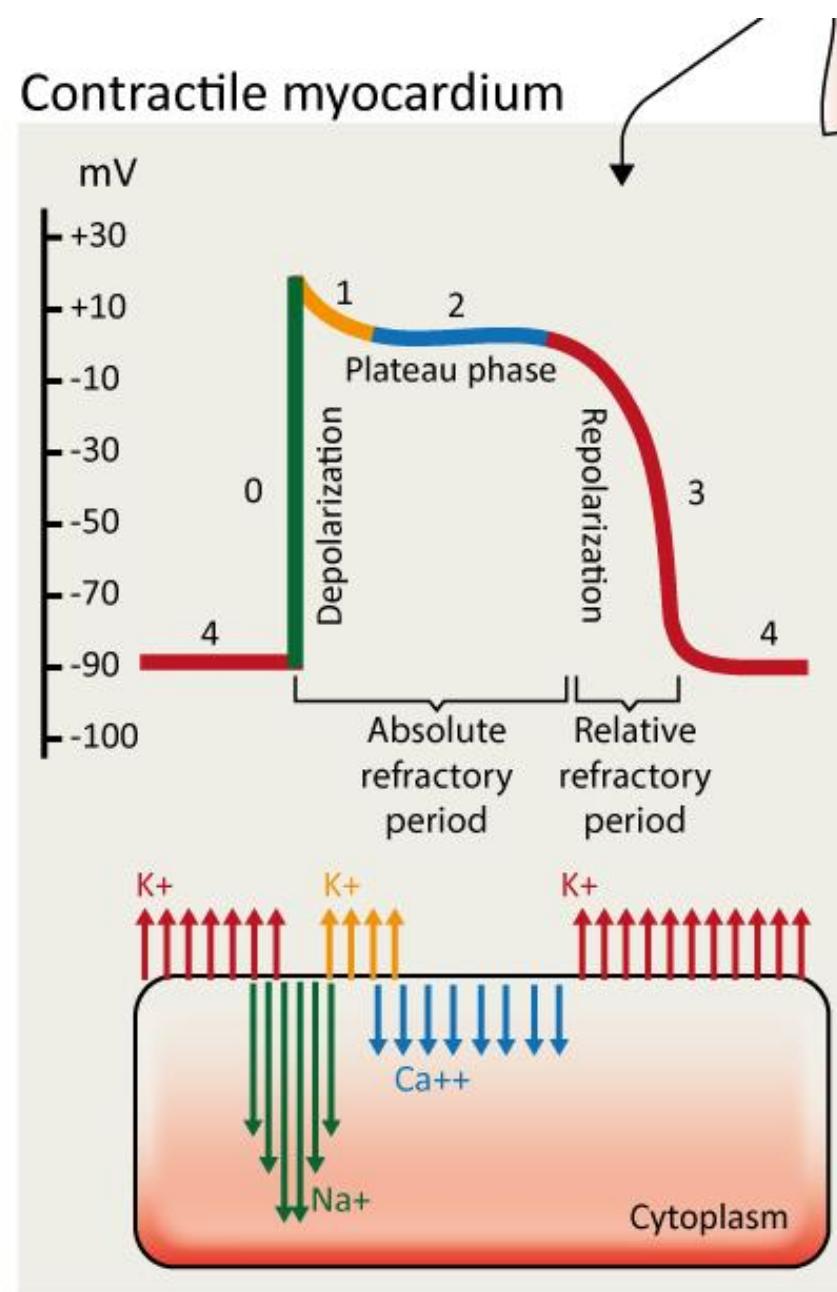
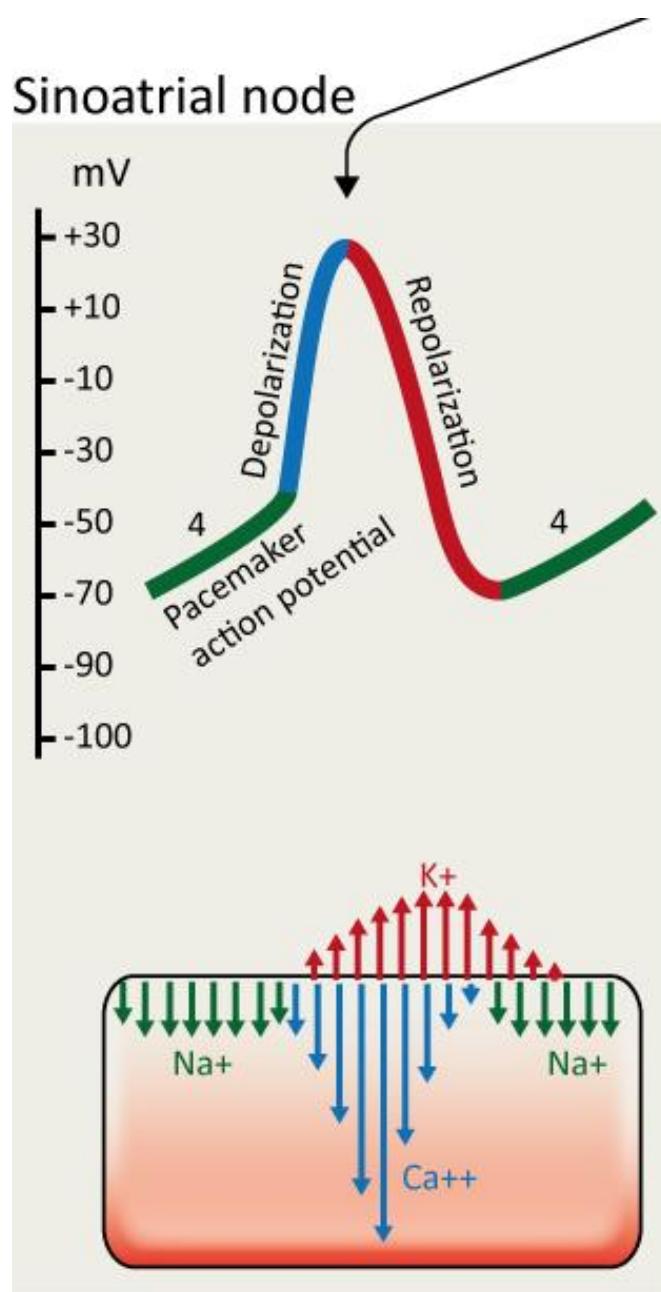
# Potentiel d'action

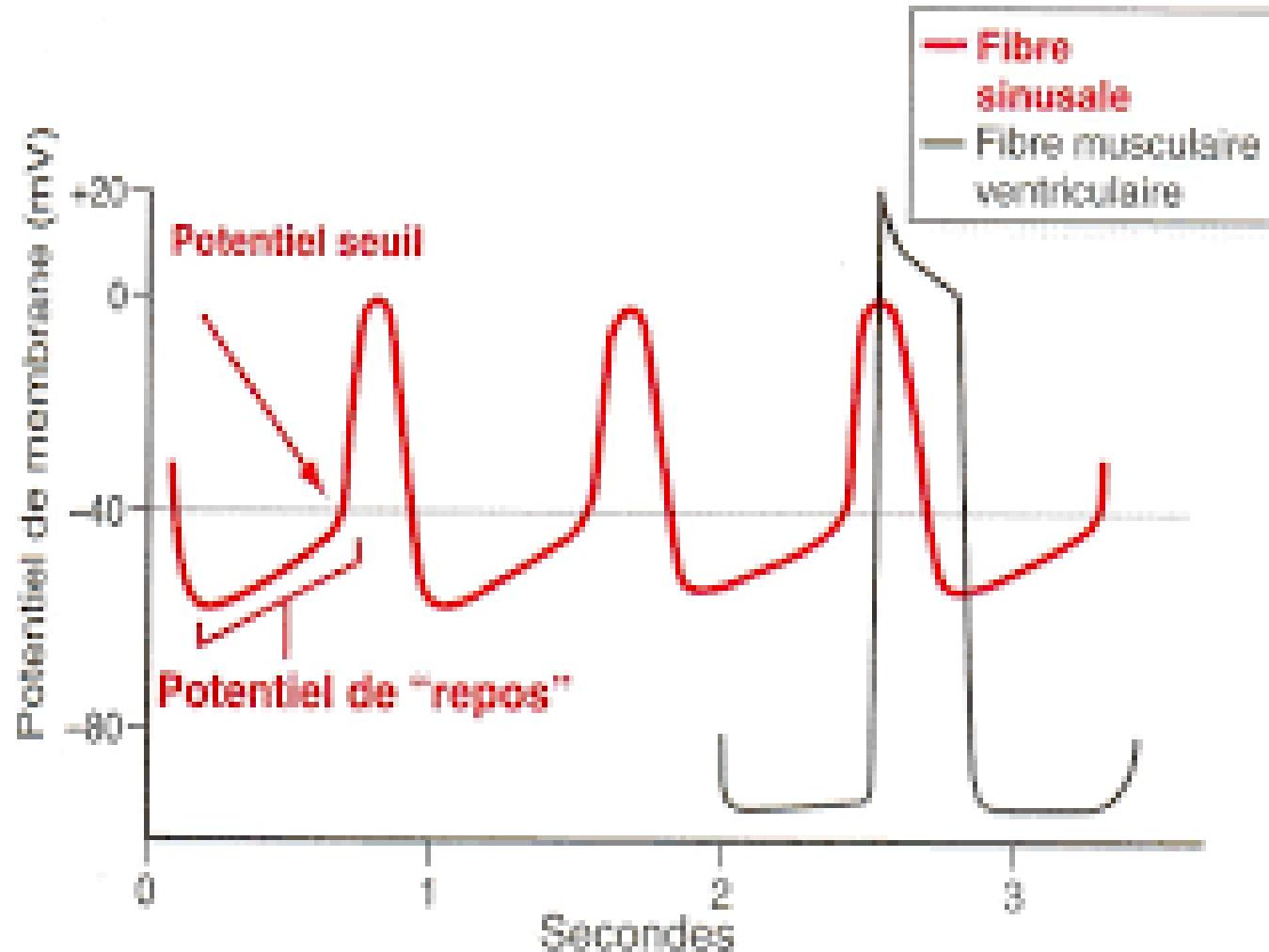
## Muscle squelettique

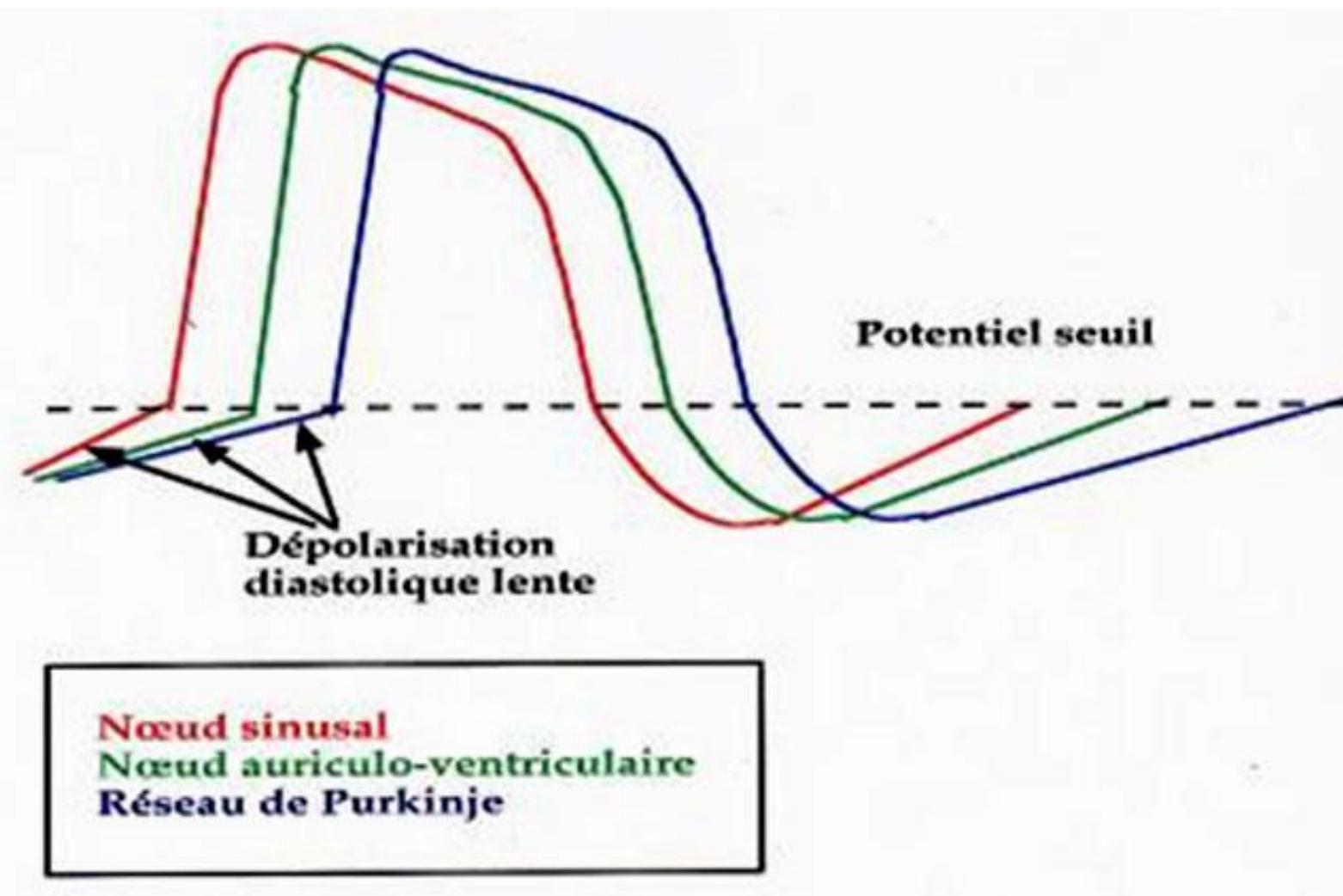


## Muscle cardiaque

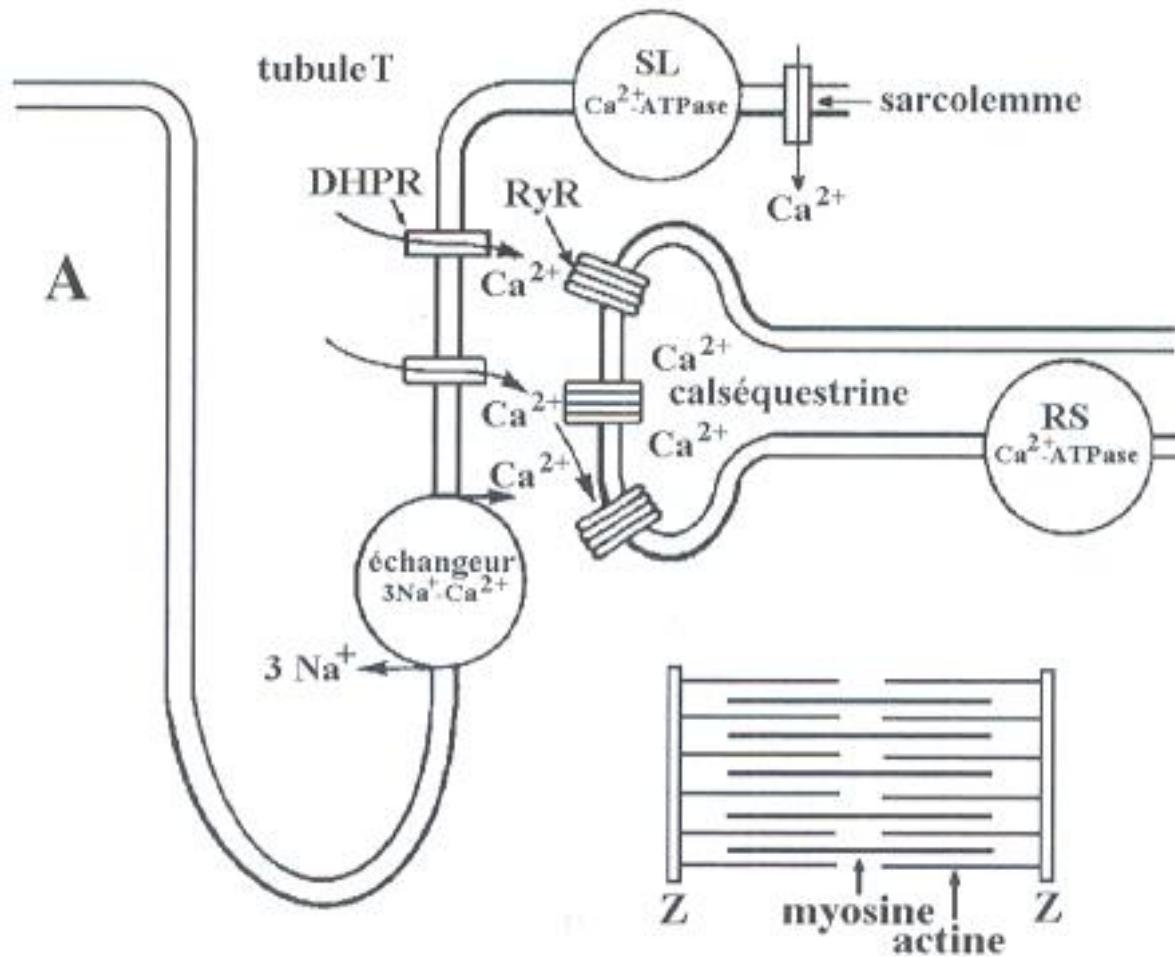






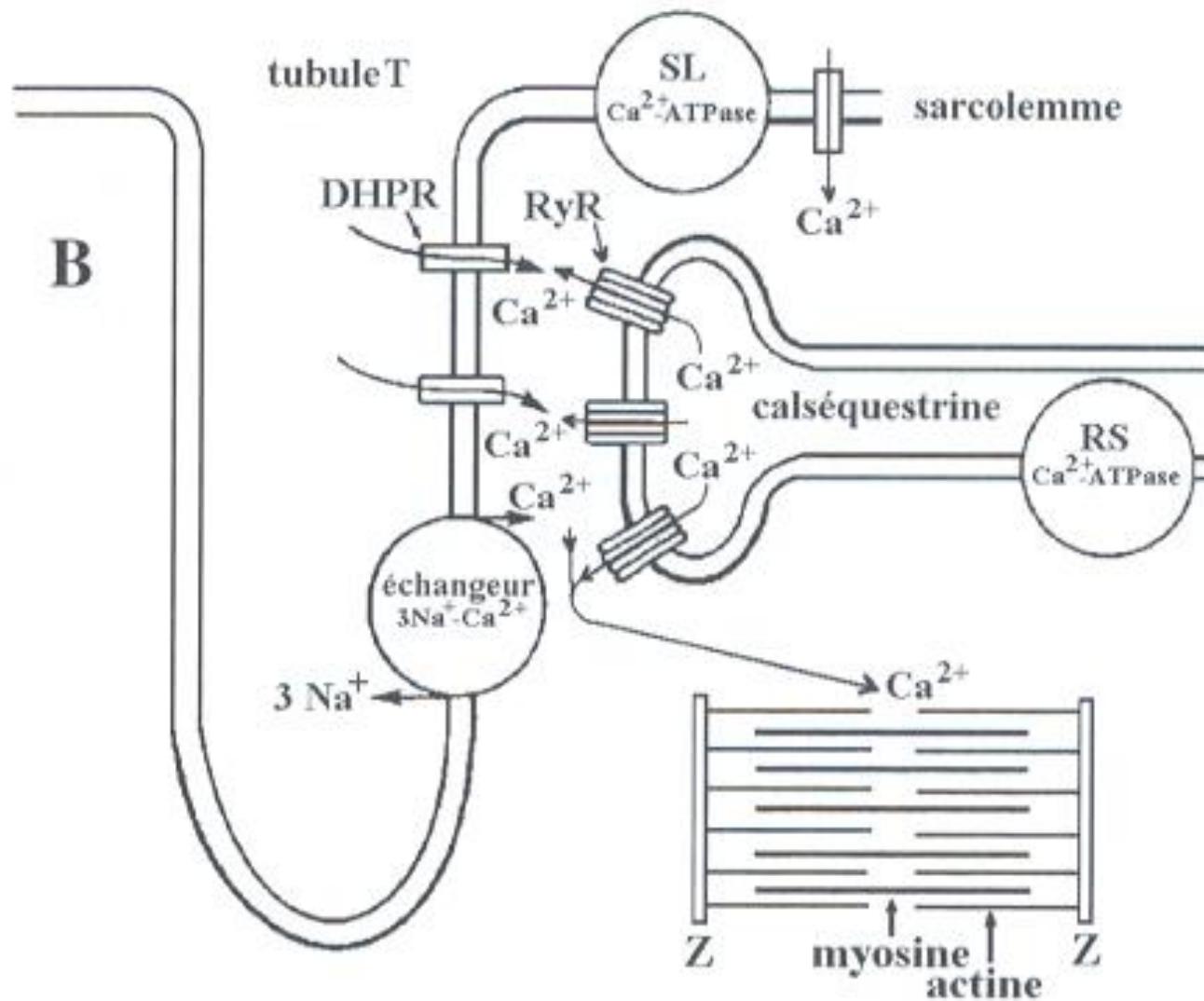


# Ions calcium et couplage électromécanique

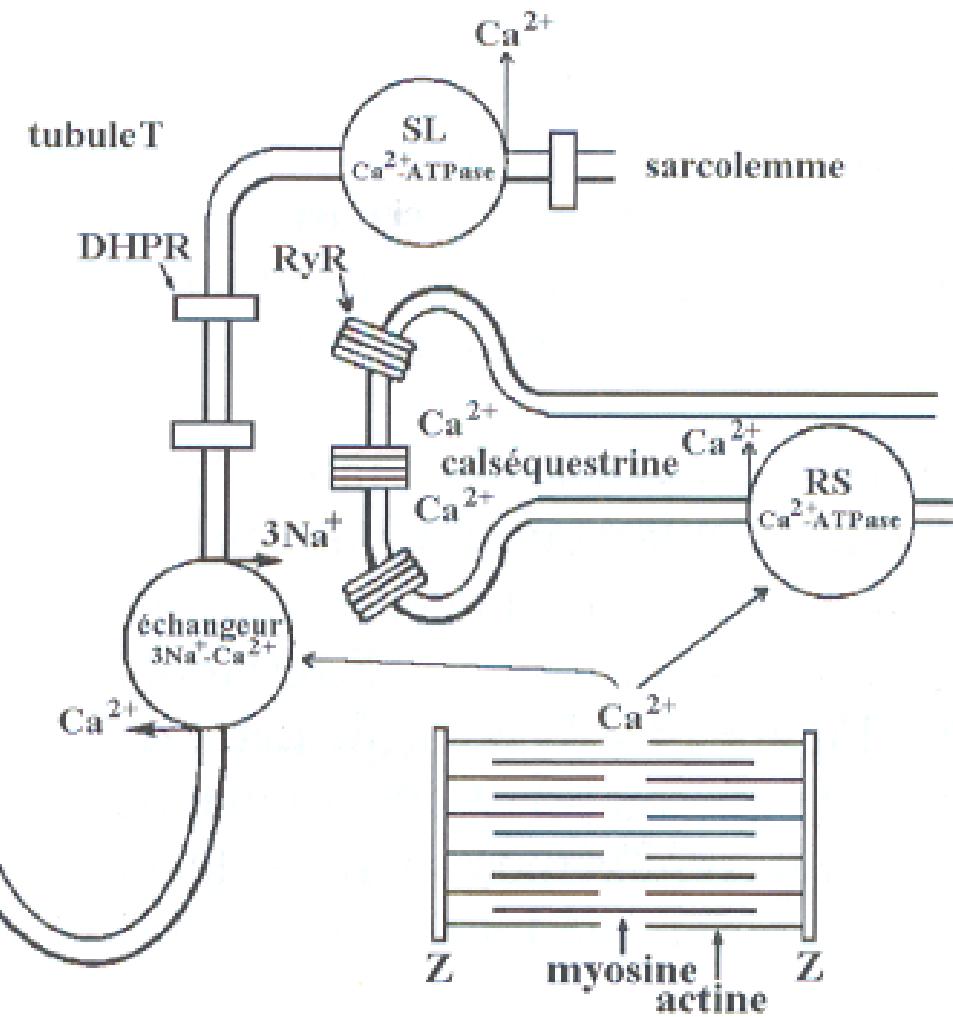


A : la dépolarisation du sarcolemme (SL) permet l'entrée d'ions  $Ca^{2+}$  dans la cellule.

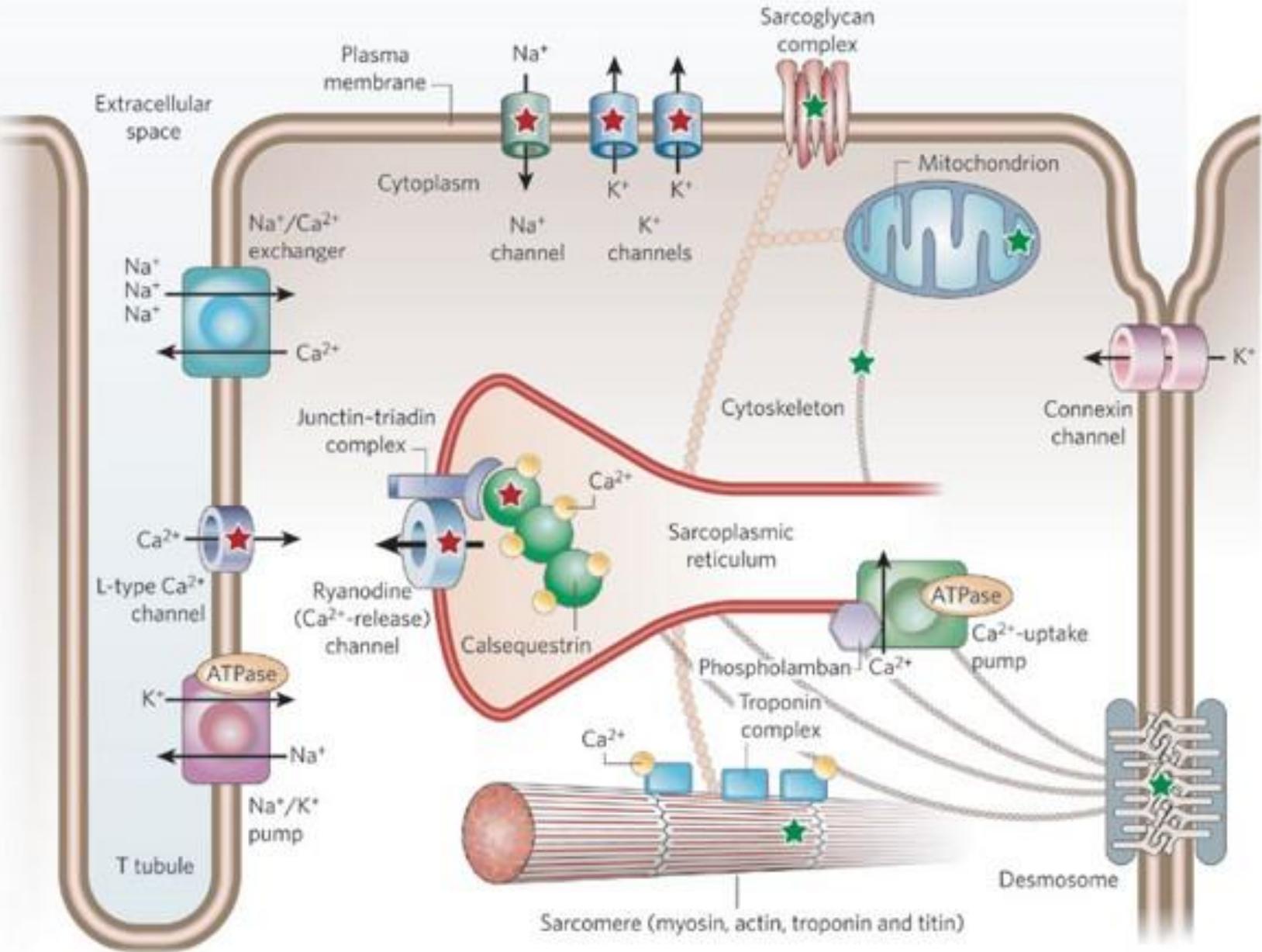
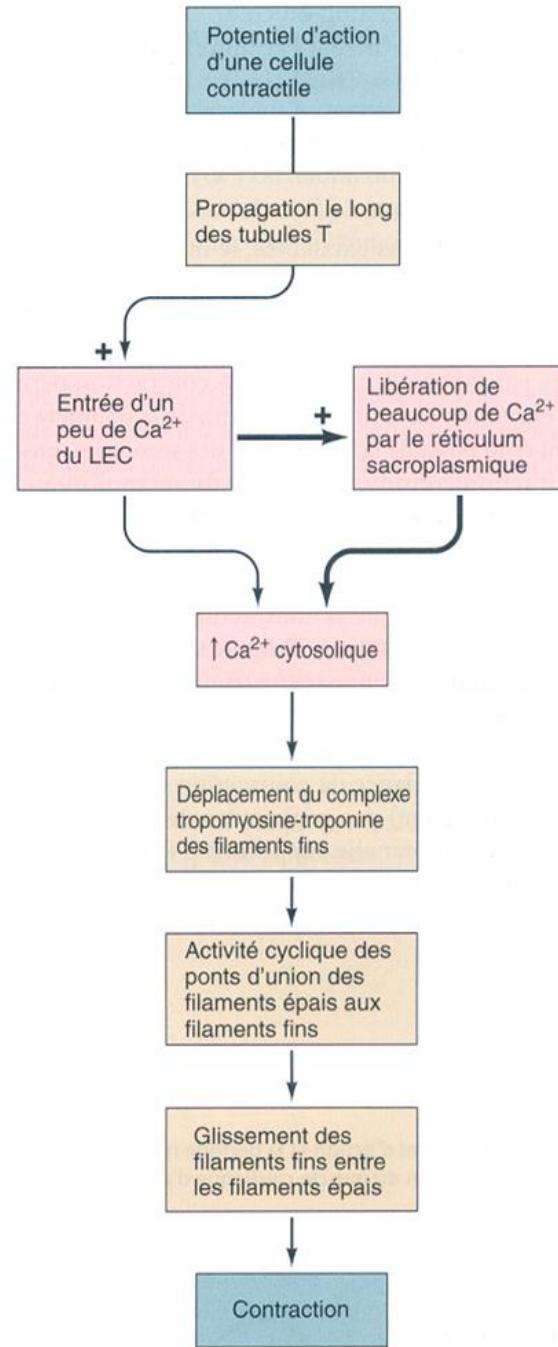
B : les ions  $\text{Ca}^{2+}$  en se fixant sur les canaux RyR du réticulum sarcoplasmique RS provoquent une sortie massive des ions  $\text{Ca}^{2+}$  du RS. Ce calcium est à l'origine de la formation des ponts actine-myosine qui provoquent le raccourcissement des sarcomères (unité de base comprise entre 2 stries Z).



C

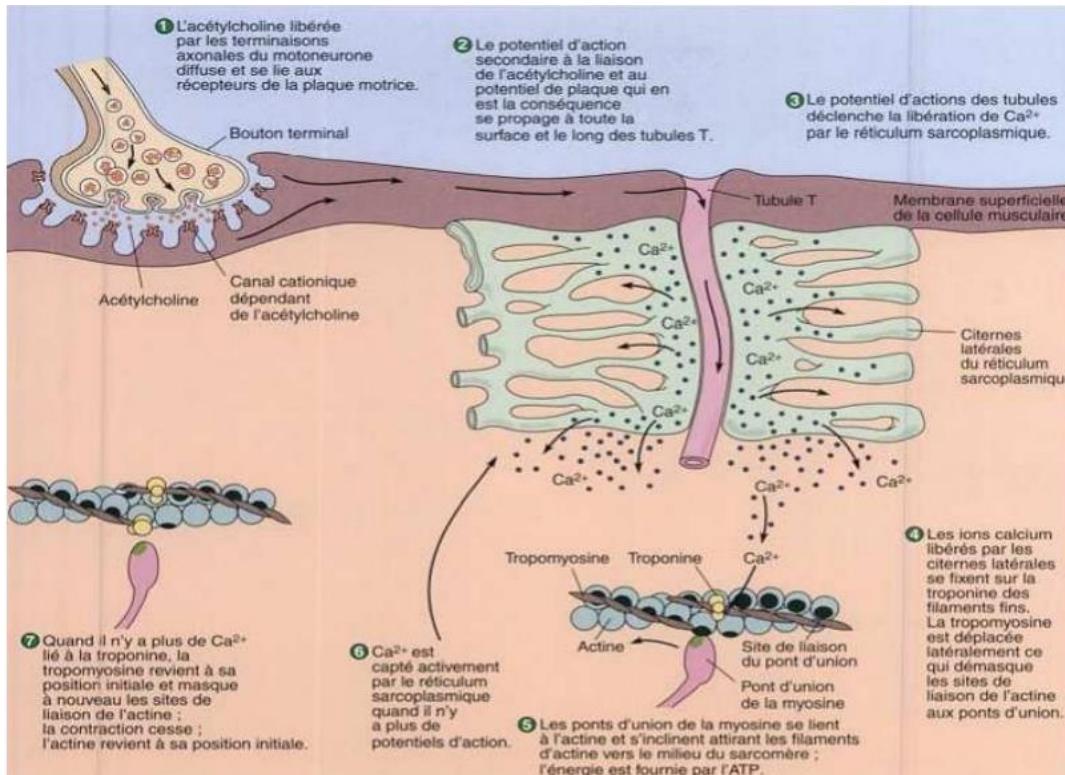


C : la relaxation est due au recaptage dans le RS ou à l'expulsion dans le milieu extracellulaire des ions  $\text{Ca}^{2+}$ . Note : les pompes fonctionnent en continu mais de façon plus accélérée lors de la relaxation.

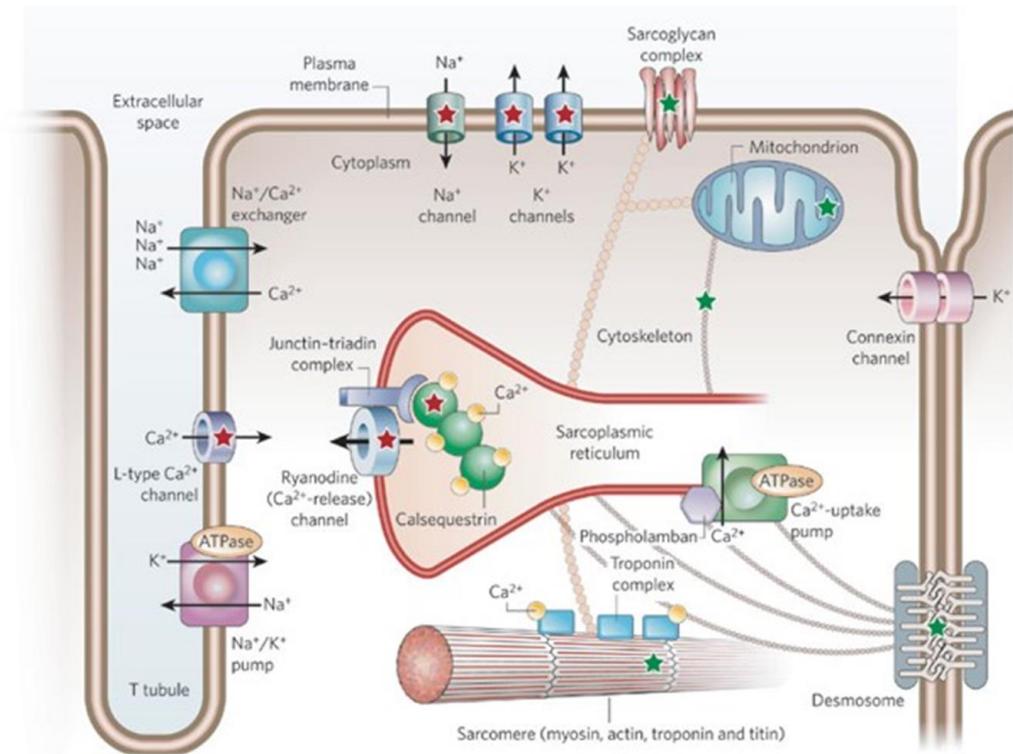


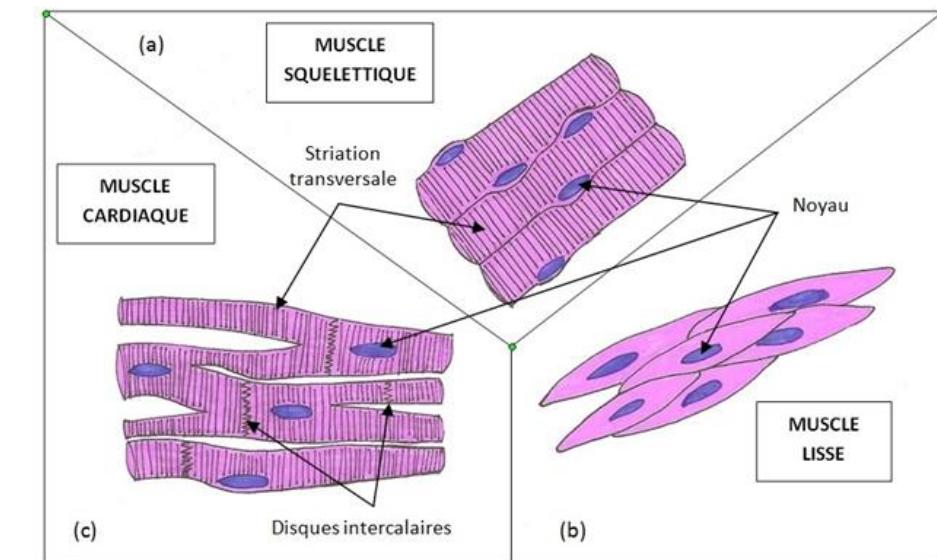
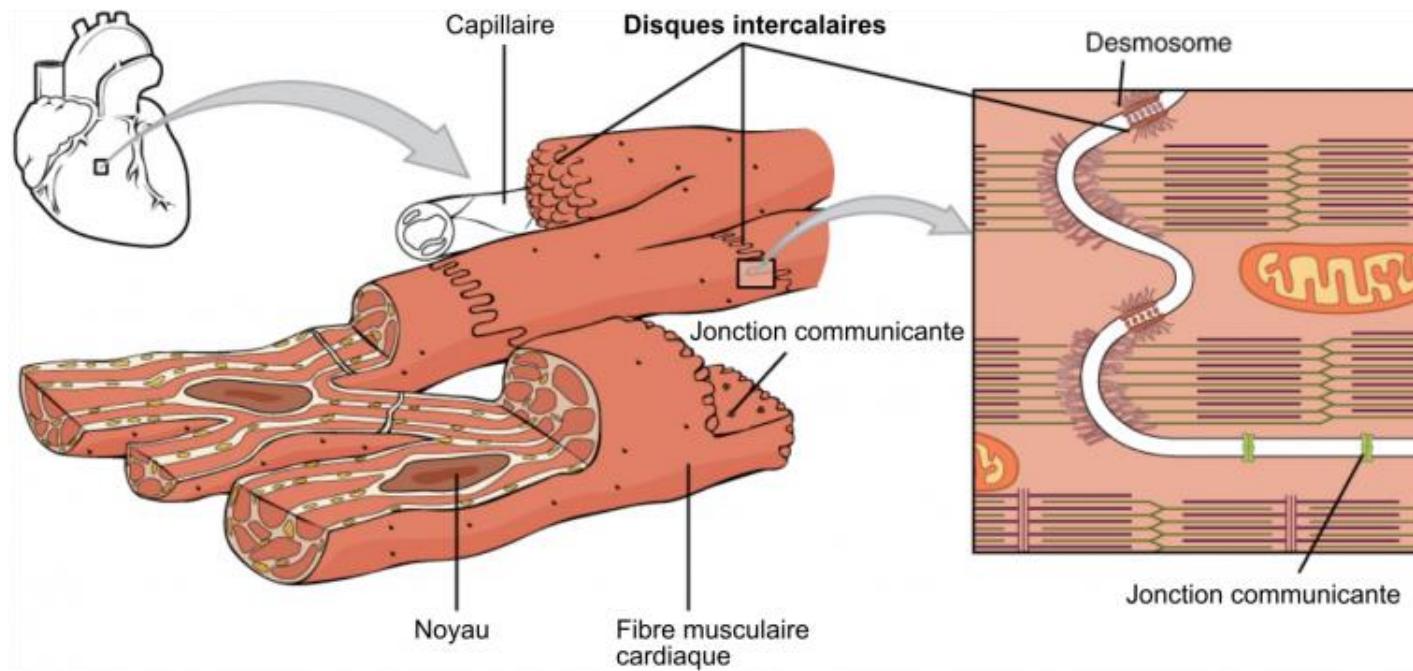
# Couplage excitation -contraction

## Muscle squelettique



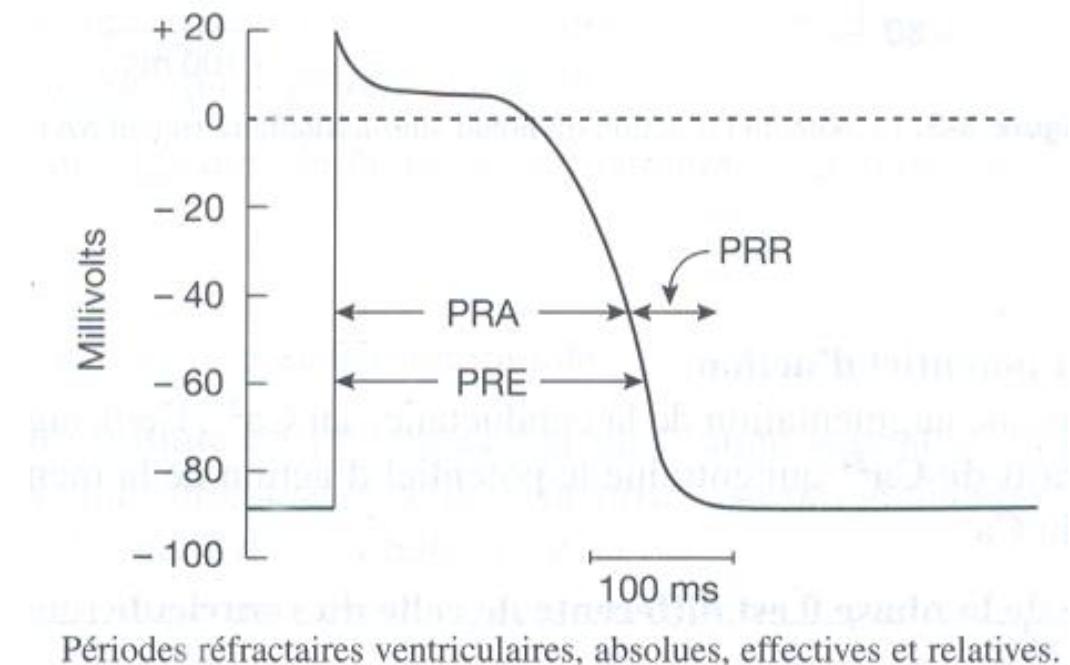
## Muscle cardiaque





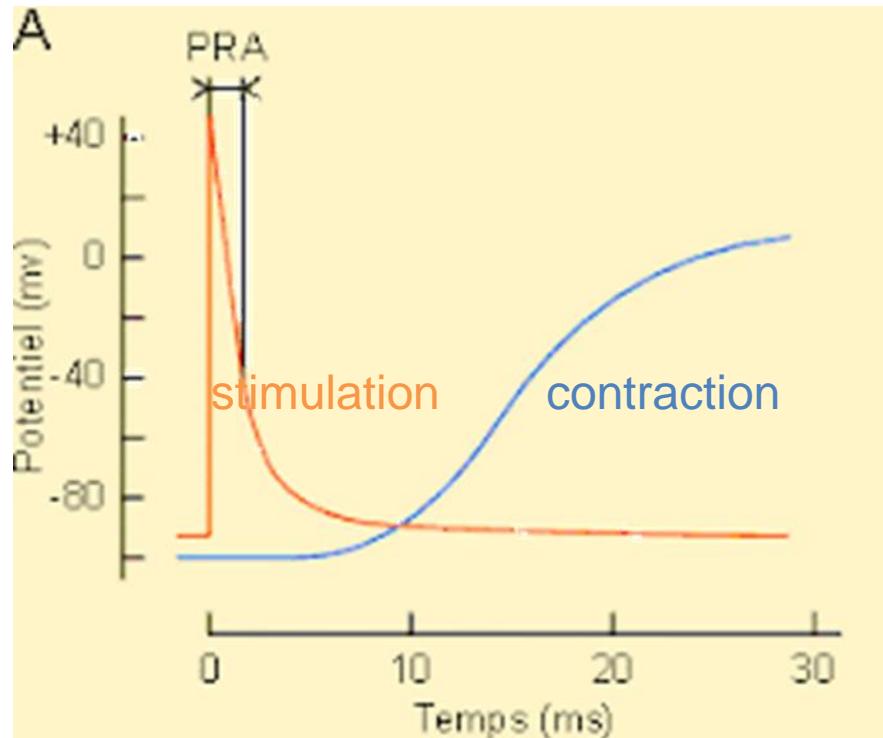
# Notion de période réfractaire

- Période réfractaire absolue
  - PRA
  - Montée du PA → Plateau
  - Aucun PA ne peut être démarré
- Période réfractaire relative
  - PRR
  - Repolarisation
  - Un PA peut être démarré mais nécessite une stimulation plus intense

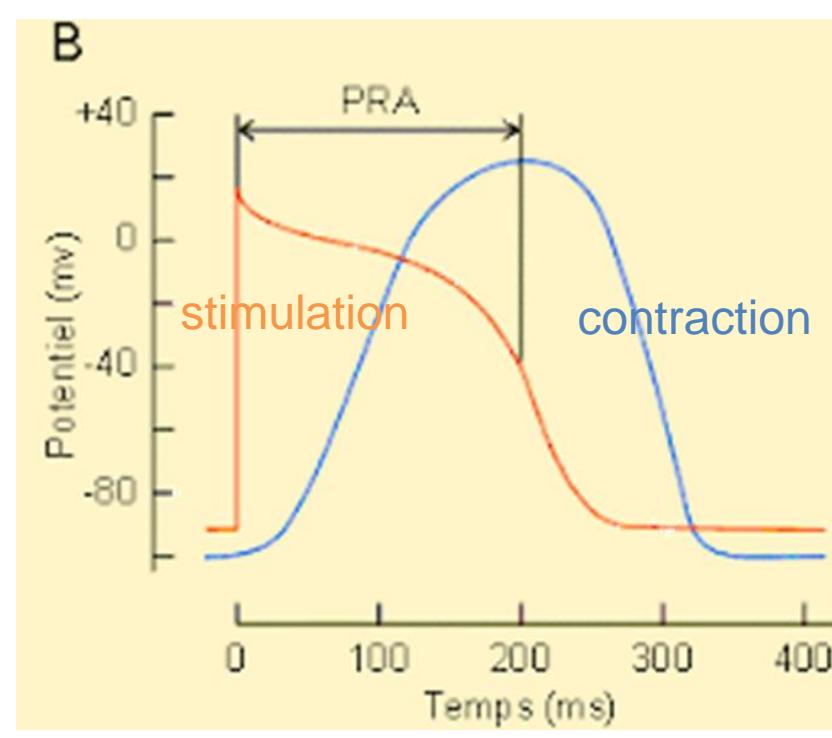


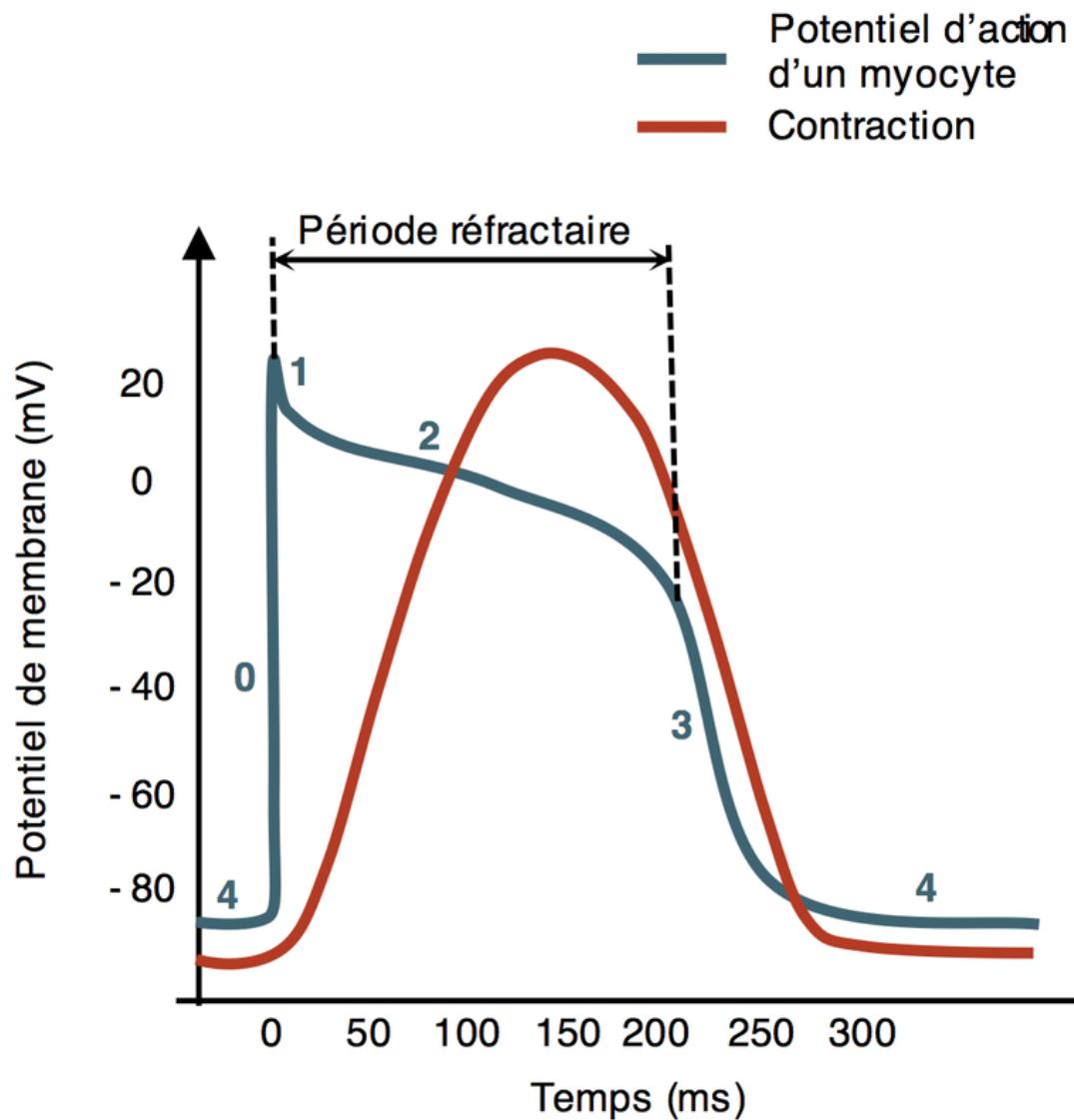
# Période refractaire

## Muscle squelettique



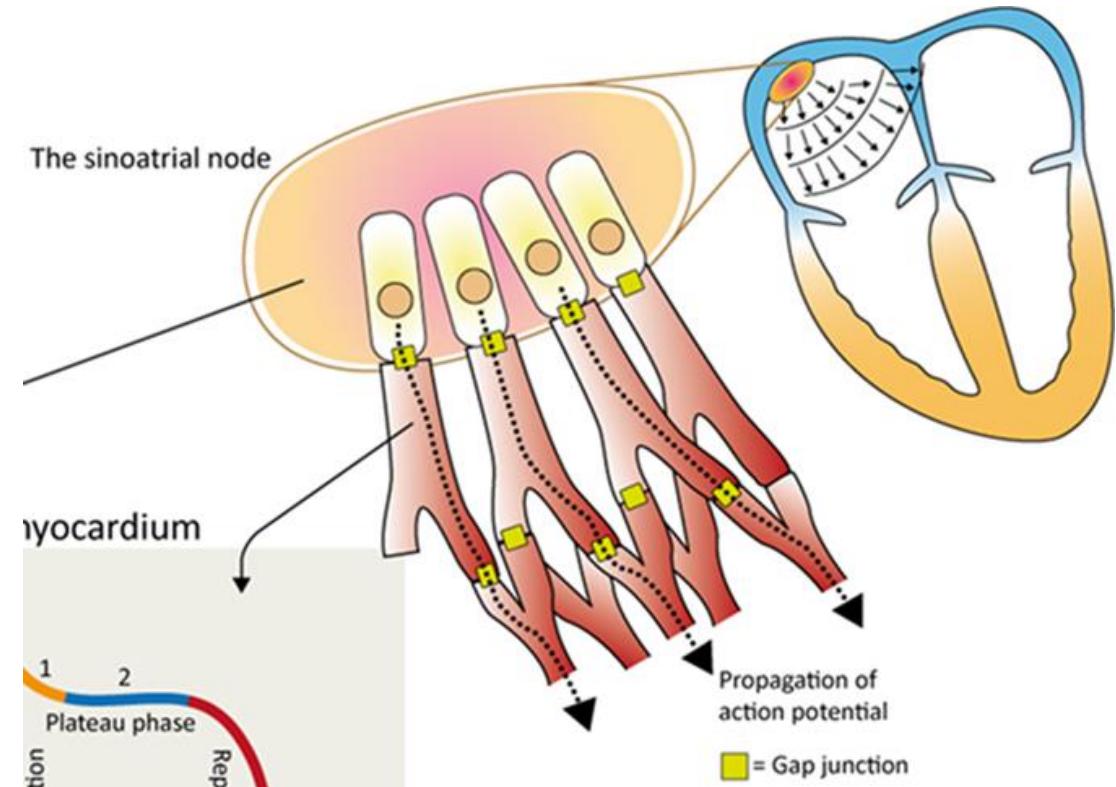
## Muscle cardiaque





# La conductivité

- Dépolarisation d'une cellule → transmission aux cellules qui l'entourent
- Vitesse de conduction : varie selon les cellules
- Transmission :
  - 1 seul sens : **antérograde**
  - vers les cellules non encore dépolarisées
  - Cellules déjà dépolarisées : en PRA
- Repolarisation :
  - phénomène spécifique à chaque cellule
  - Dépolarisation → repolarisation de la cellule



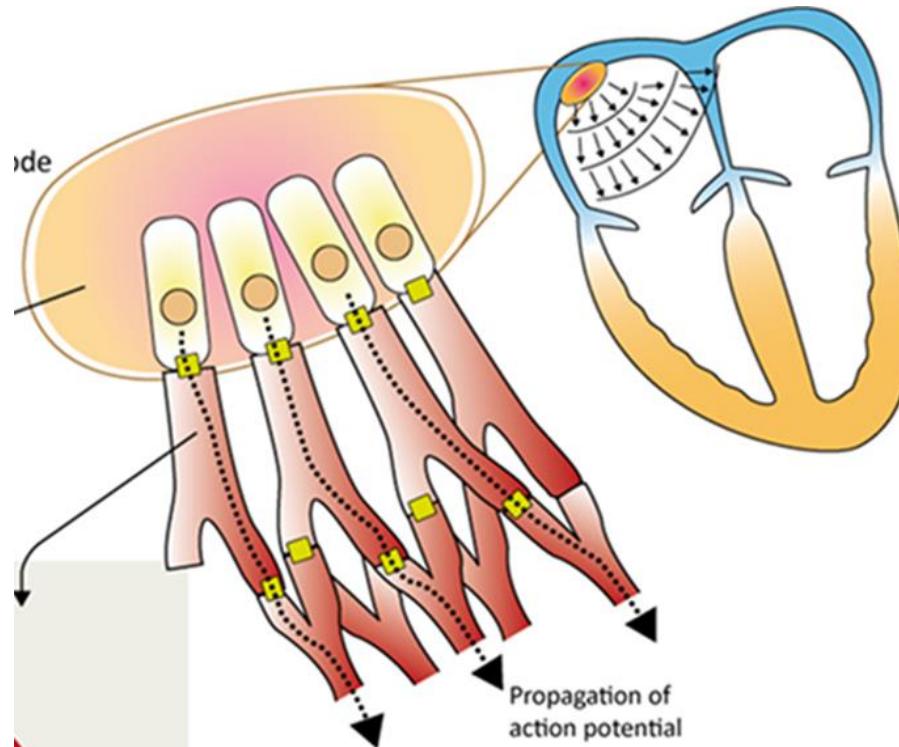
## LES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DE LA FIBRE CARDIAQUE

- Propriété passive: l'élasticité
- Propriété active: la contractilité

# PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DE LA FIBRE CARDIAQUE

## Fibre cardiaque

- Longueur
- Tension
- Contraction
- Relaxation
- Élasticité - distensibilité

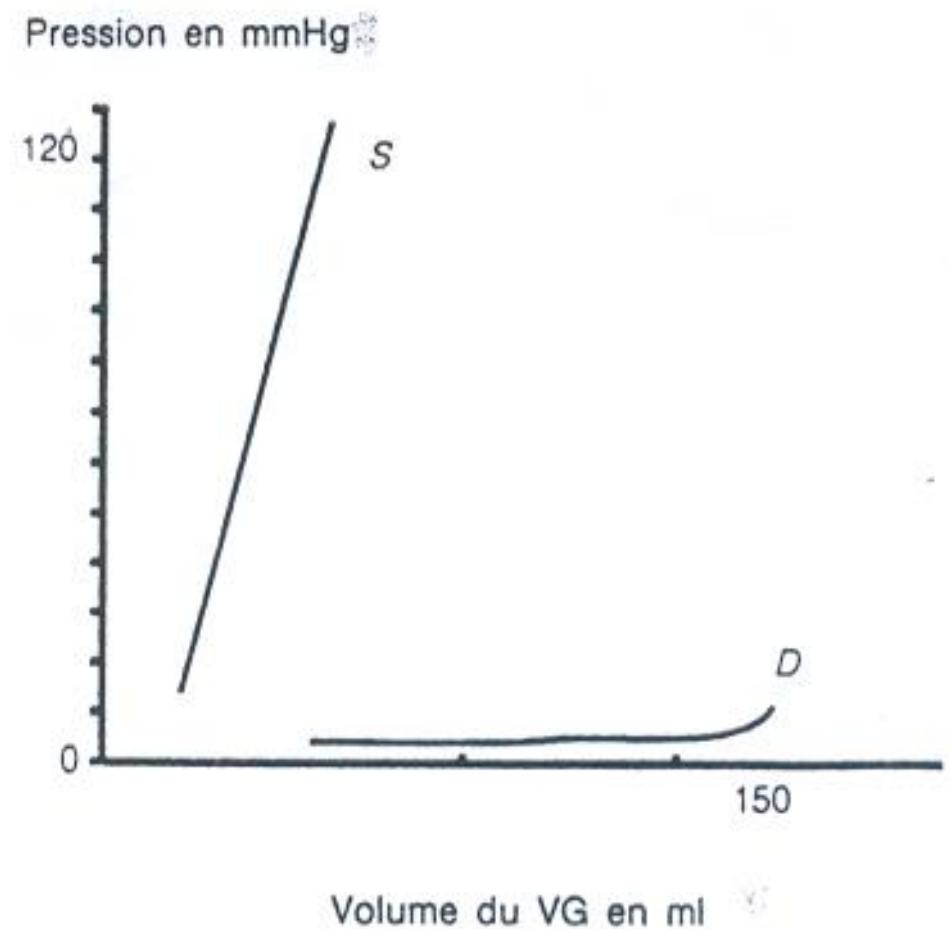


## Cavité myocardique

- Volume
- Pression
- Systole
- Diastole
- compliance

# Propriété passive: l'élasticité

- En diastole
  - Compliance élevée
  - $\nearrow$  du volume sans variation de la pression
- En systole
  - Compliance faible
  - Pour une faible  $\nearrow$  du volume,  $\nearrow$  de la pression



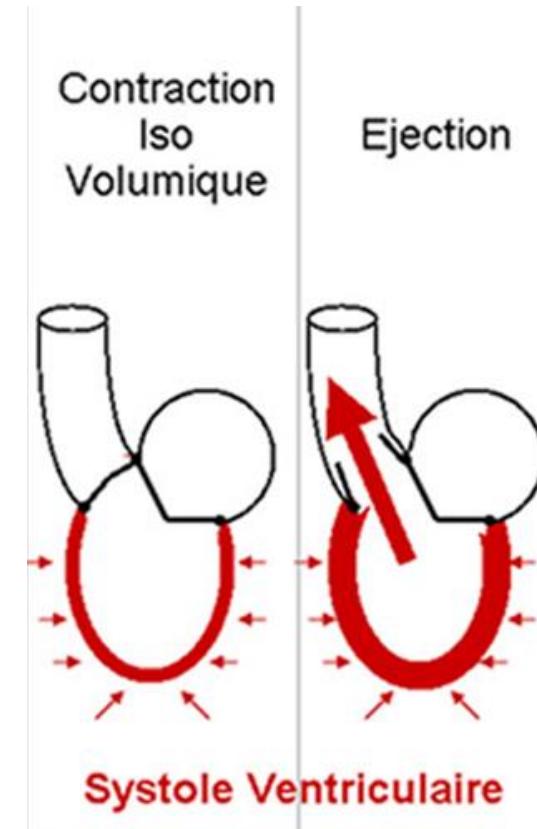
Courbe Pression-Volume du VG (compliance).

D : En relaxation (diastole),  
S : En contraction (systole).

# Propriété active: la contractilité

## Contraction :

- Sans variation de longueur/volume :
  - isométrique / isovolumique
- Sans variation de tension/pression :
  - isotonique



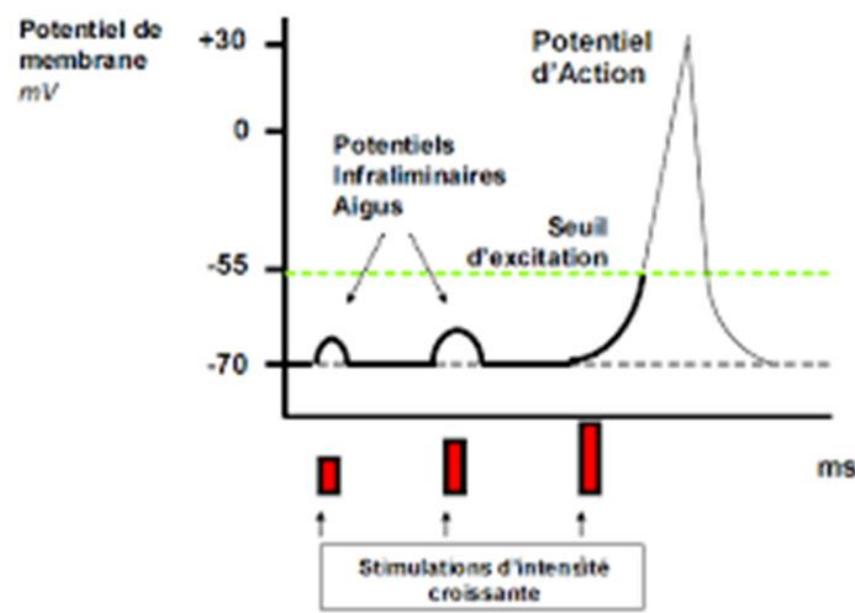
# RELATIONS MODALITÉS DE STIMULATION-CONTRACTION

- Notion de seuil
- Relation Intensité (de la stimulation) -Amplitude (de la réponse) -Loi du tout-ou-rien
- Fréquence de la stimulation -Fréquence de la réponse -Non tétanisation du cœur
- Fréquence de la stimulation -Amplitude de la réponse -Loi de l'escalier
- Relation Tension -Longueur -Loi du cœur de Starling
- Relation Force-Vitesse

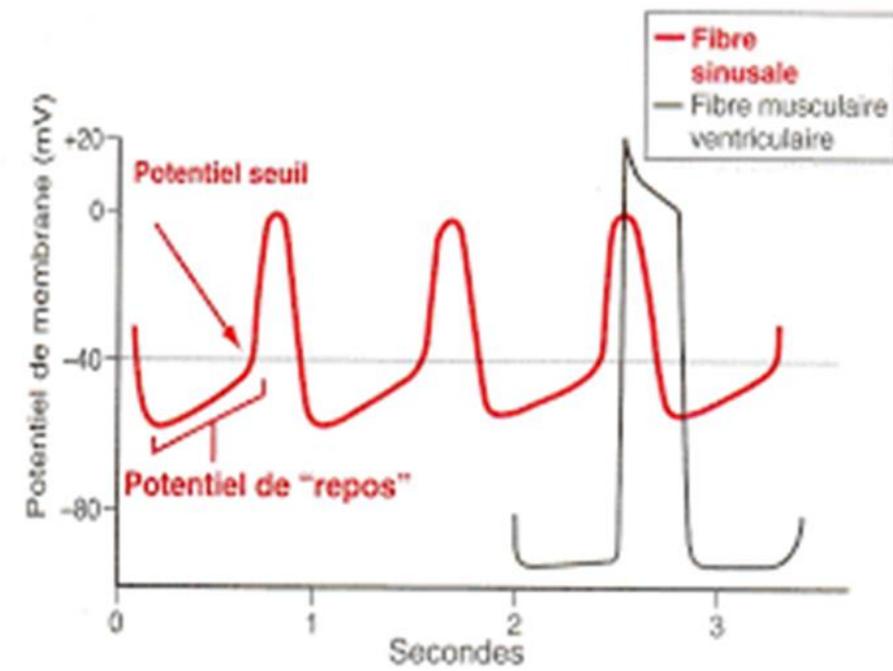
# Notion de seuil

pour que la fibre réponde, il faut que le stimulus dépasse un certain seuil en intensité et en durée

## Muscle squelettique



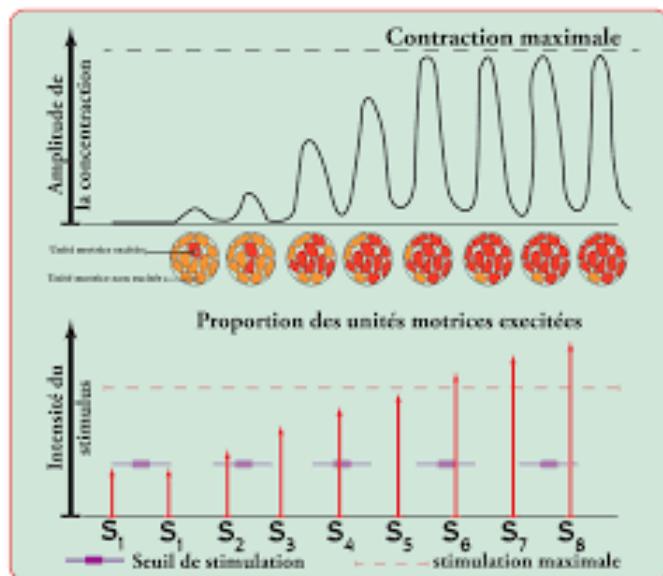
## Muscle cardiaque



# Relation : Intensité de la stimulation -Amplitude de la réponse: Loi du tout-ou-rien

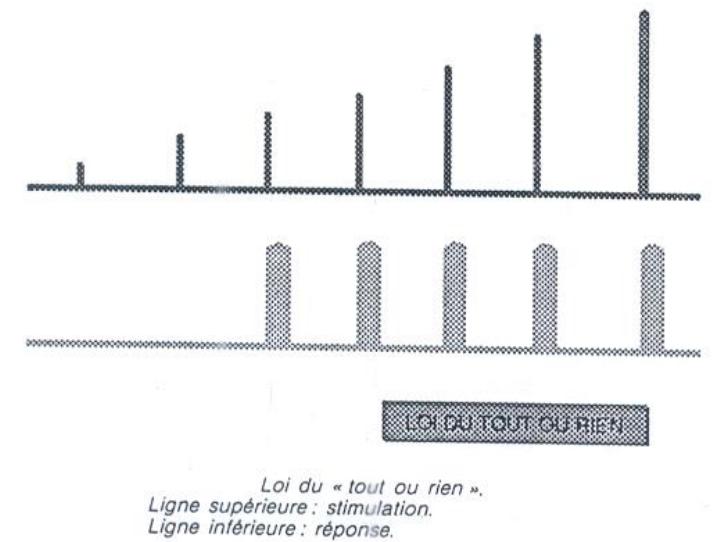
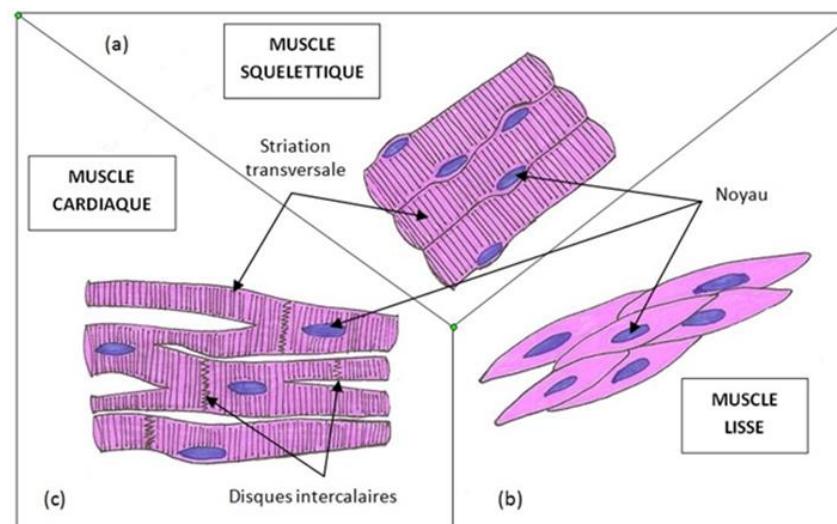
## Fibre striée squelettique

- A partir du seuil:
- Intensité de stimulation ↗ → contraction ↗



## Fibre myocardique

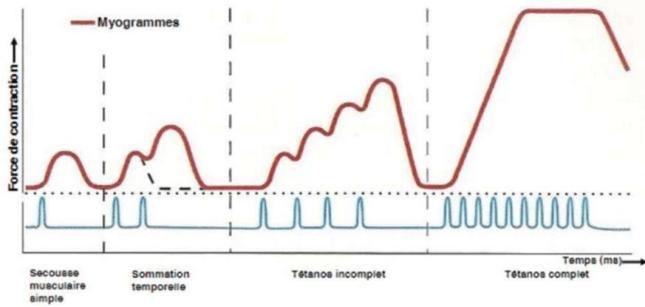
- A partir du seuil:
- Intensité de stimulation ↗ → contraction toujours la même
- **Loi de tout ou rien**



# Fréquence de la stimulation -Fréquence de la réponse Non tétanisation du cœur

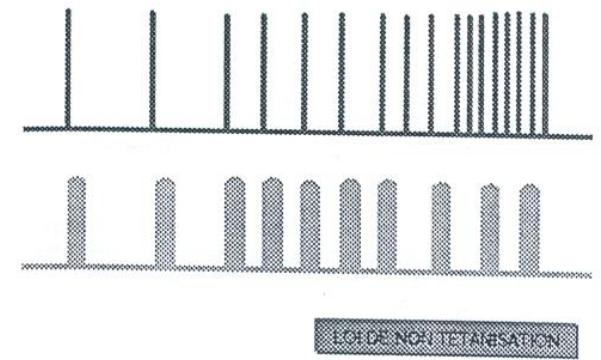
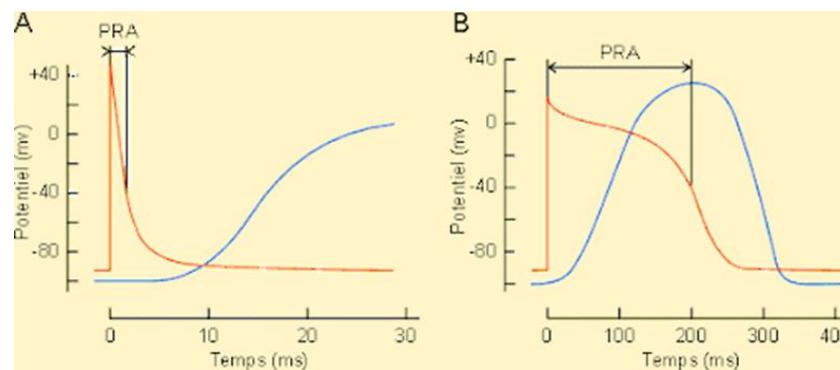
## Fibre striée squelettique

- A partir du seuil:
- fréquence de stimulation  $\uparrow \rightarrow$  Contraction continue : Tétanisation

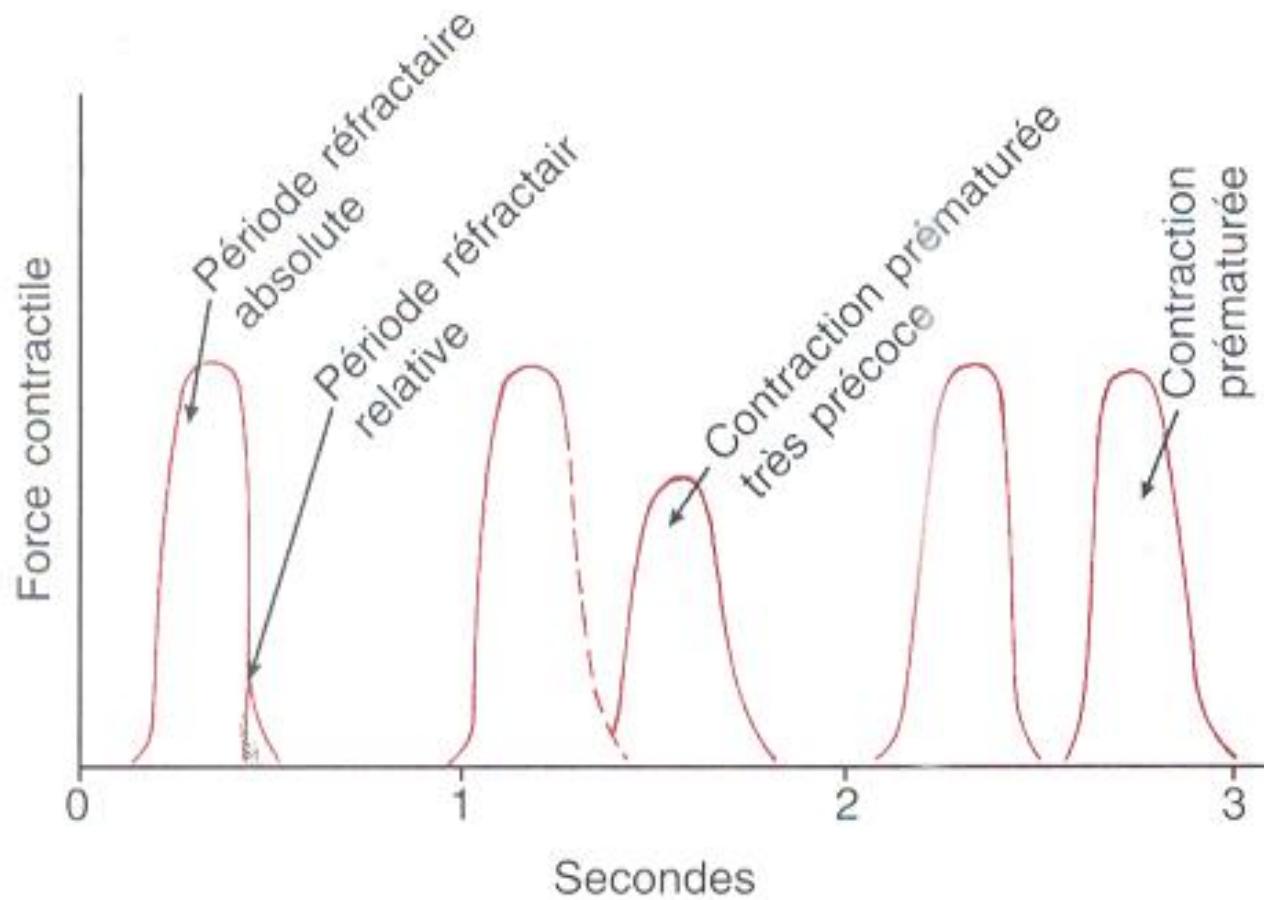


## Fibre myocardique

- A partir du seuil:
- Fréquence de stimulation  $\uparrow \rightarrow$  ne se contracte plus à chacun des stimuli : **Non tétanisation**
- Explication : Longue période réfractaire



Non-tétanisation du cœur.  
Ligne supérieure : stimulation.  
Ligne inférieure : réponse.

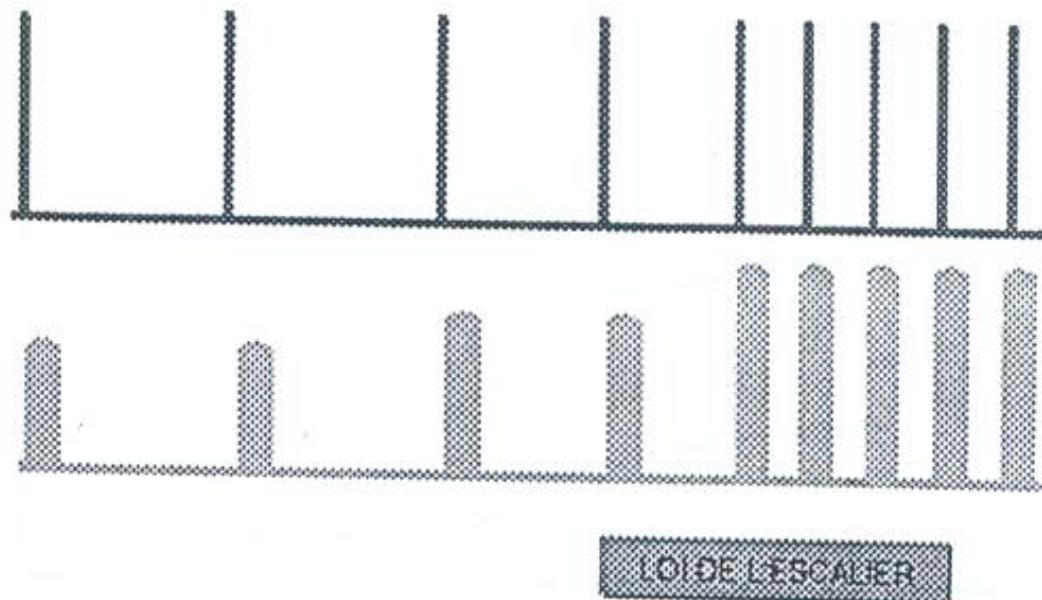


Durées respectives des périodes réfractaires et réfractaires relatives. Effets de contractions prématuées précoce et plus tardive. Des contractions prématuées n'entraînent pas de sommation au niveau du muscle cardiaque comme cela se passe au niveau du muscle strié squelettique.

## Fréquence de la stimulation -Amplitude de la réponse – Loi de l'escalier

- Fréquence de stimulation faible et constante → intensité des contractions constante
- Fréquence de stimulation ↗ → intensité des contractions ↗

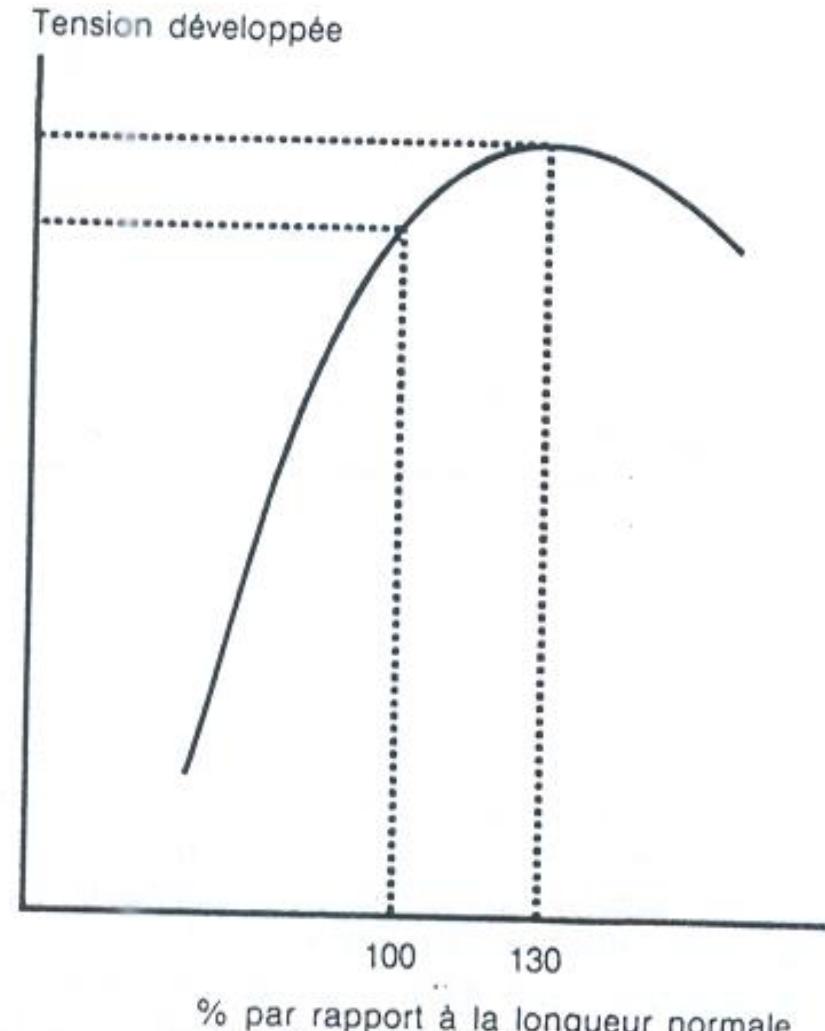
« Loi de l'escalier »



*Loi de l'escalier.  
Ligne supérieure : stimulation  
Ligne inférieure : réponse.*

## Relation Tension –Longueur: Loi du cœur : loi de Starling

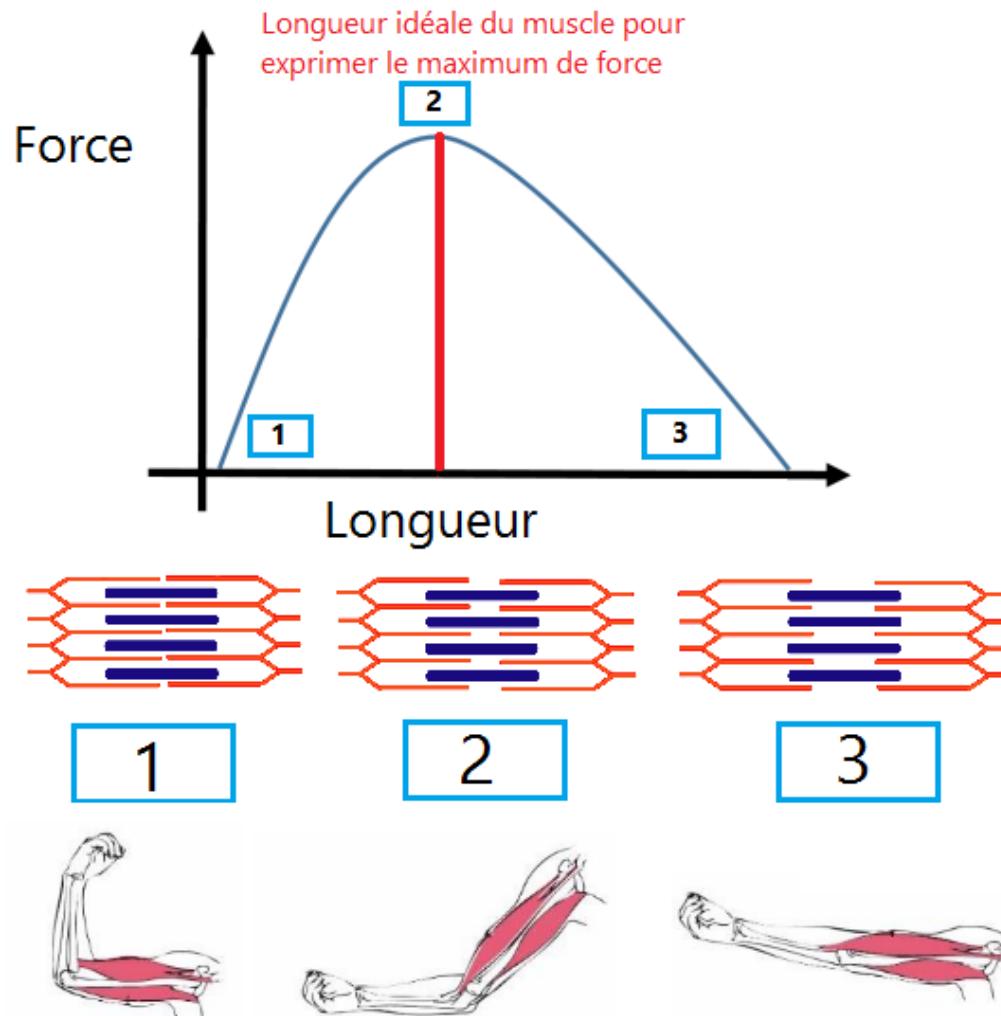
- **Plus la fibre est étirée, plus la contraction est intense**
- Puissance contractile maximale : fibre étirée à 130% de sa valeur habituelle



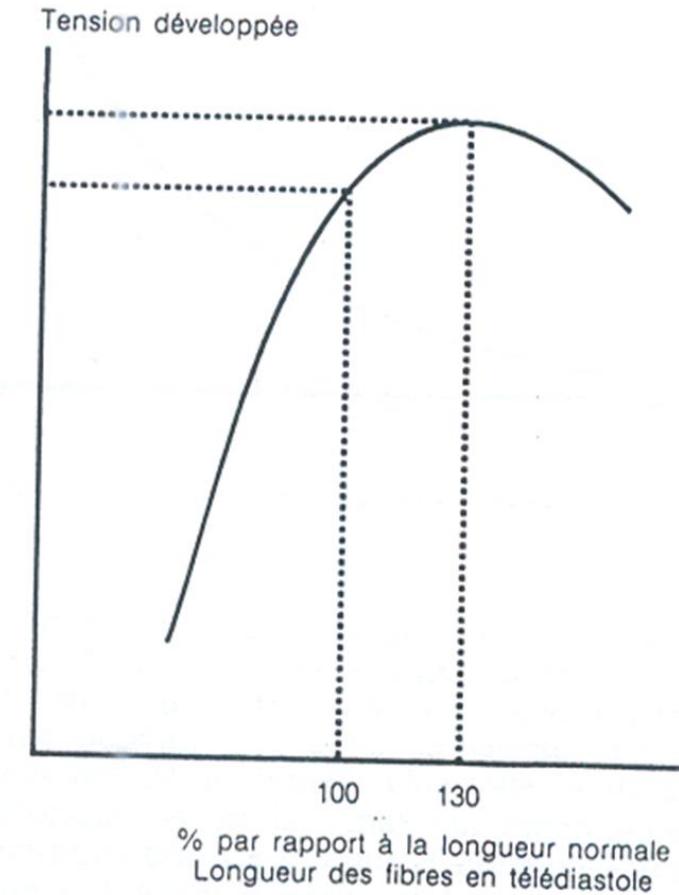
*Loi du cœur (loi de Starling).*

# Relation tension -longueur

## Muscle squelettique



## Muscle cardiaque



Loi du cœur (loi de Starling).

# Relation Tension -Longueur

## Loi du cœur : loi de Starling

Si retour veineux ↗

↓

Précharge ↗

↓

Etirement des fibres myocardiques ↗

↓

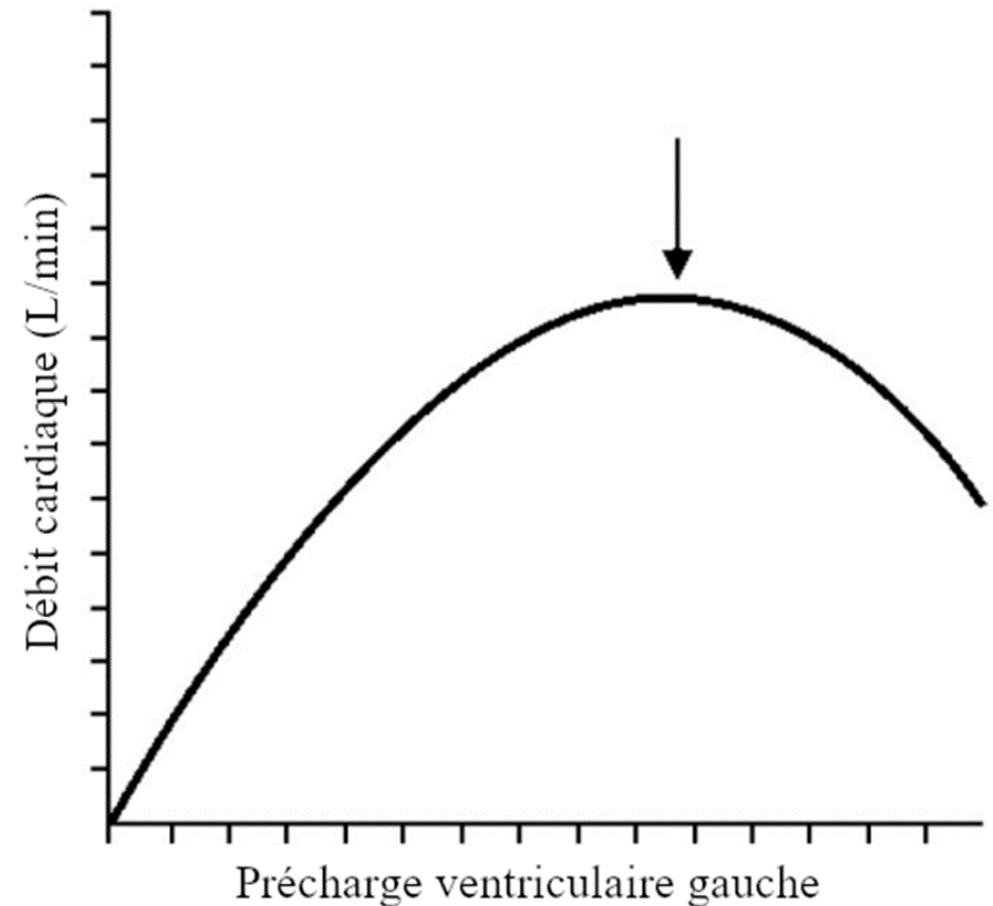
Puissance contractile ↗

↓

Volume d'éjection systolique ↗

↓

Postcharge ↗



# Loi du cœur : loi de Starling

Si retour veineux ↗



Précharge ↗



Etirement des fibres myocardiques ↗



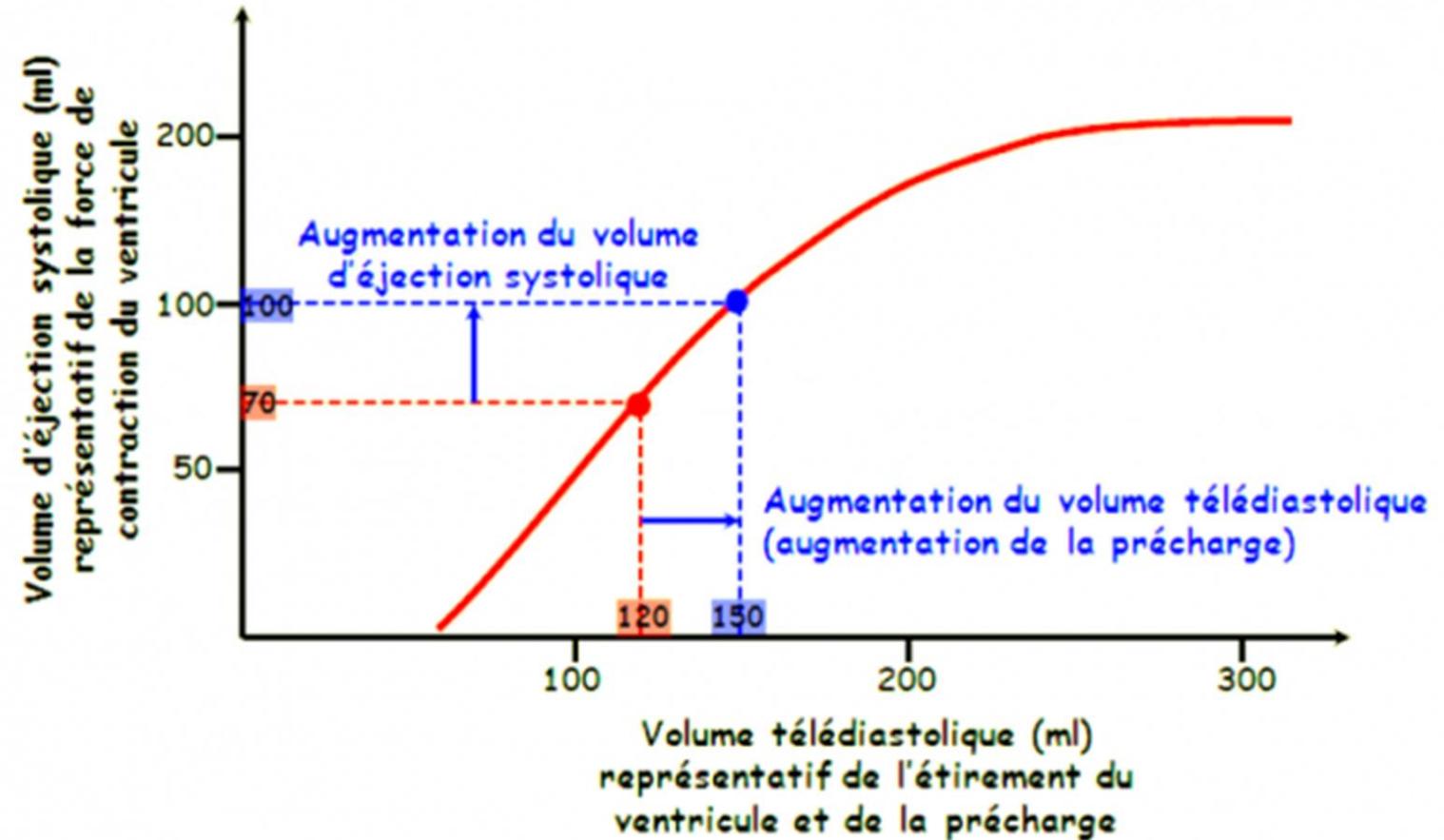
Puissance contractile ↗



Volume d'éjection systolique ↗

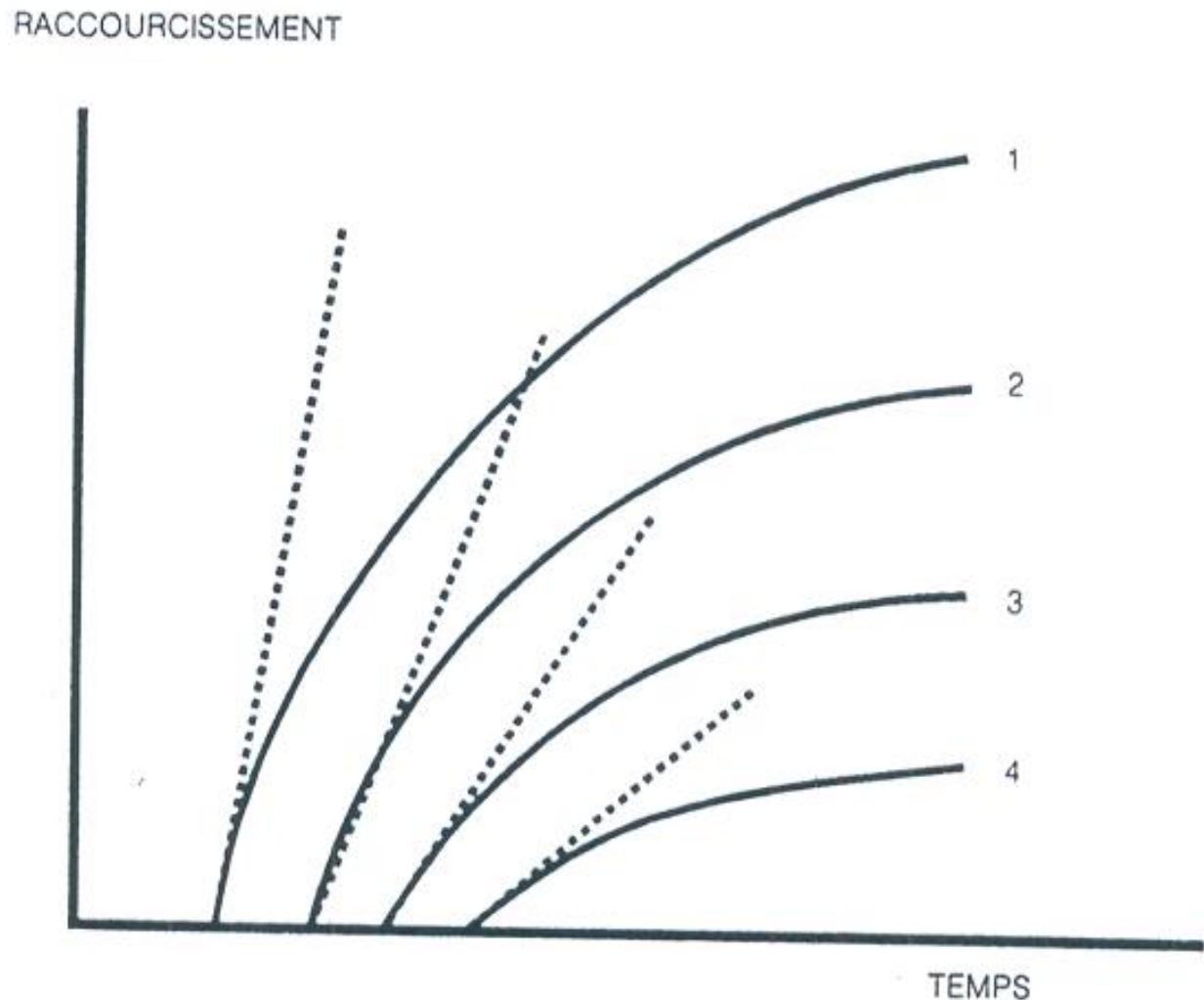


Postcharge ↗



# Relation Force-Vitesse

- Contraction isotonique
- Courbes Vitesse de raccourcissement-temps pour des postcharges croissantes
- Vitesse initiale : tangente à  $t_0$
- Relation inverse entre postcharge et vitesse initiale



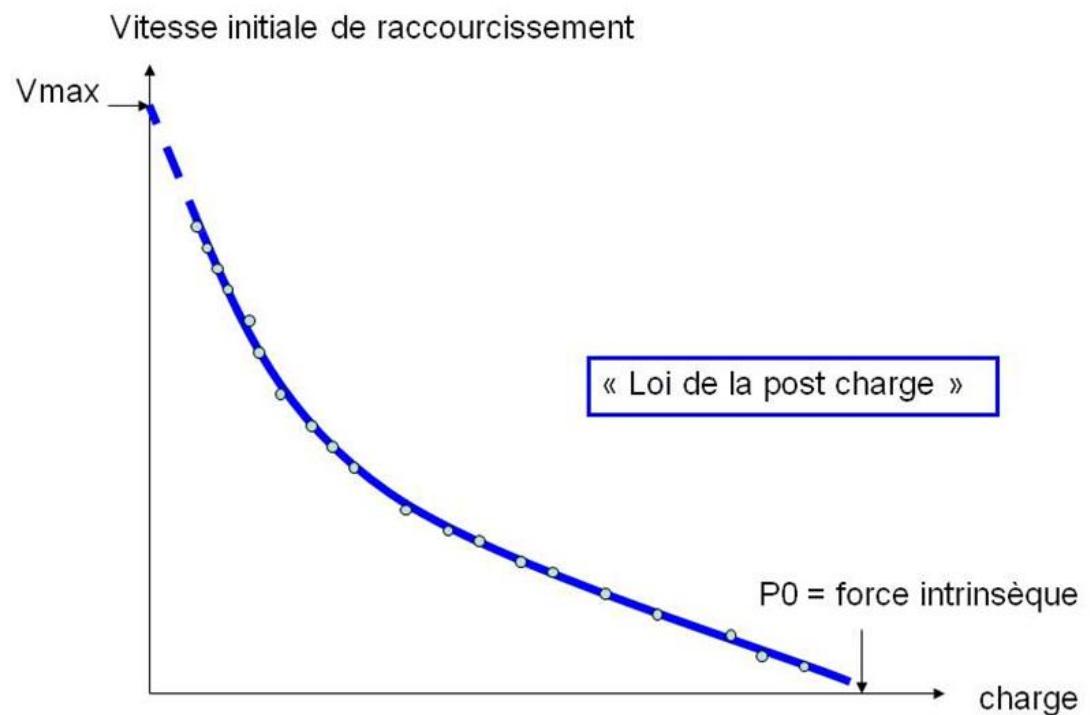
*Relation "force-vitesse de raccourcissement" pour des post-  
charges croissantes : 1,2,3,4.*

# Relation Force-Vitesse

Courbe :

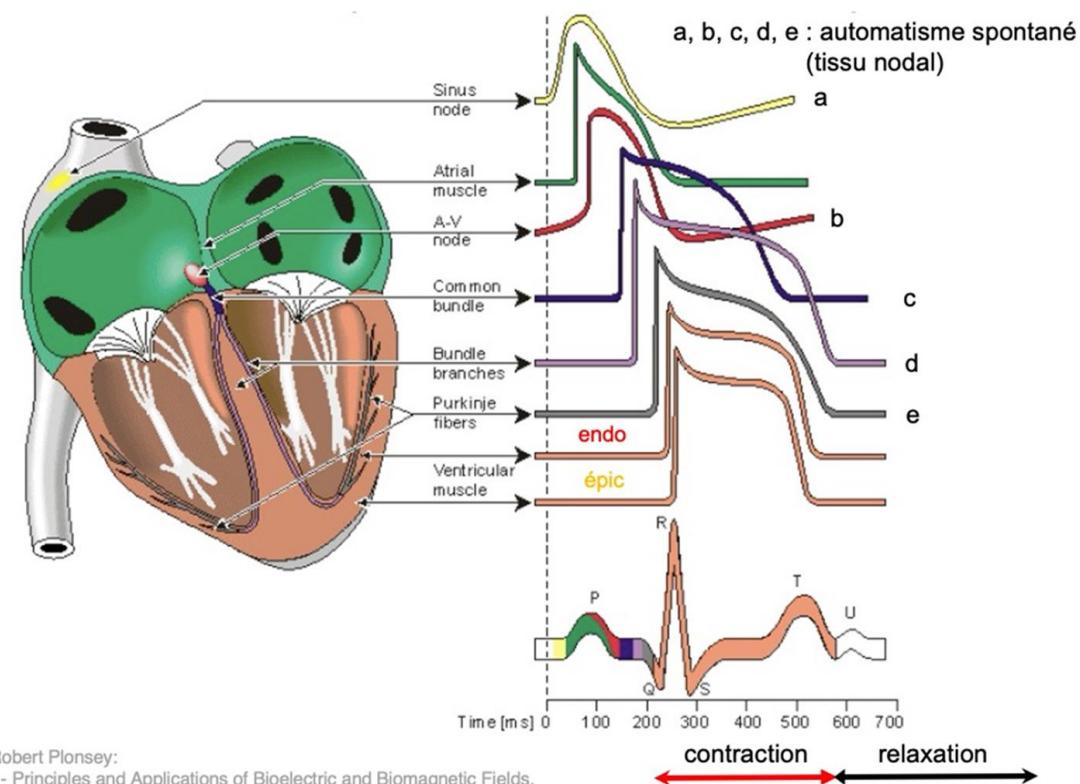
Charge - Vitesse initiale

- Charge 0 :  $V_{max}$
- Charge très élevée :  $V=0$



# L'AUTOMATISME

- Propriété capitale des cellules nodales surtout



Jaakko Malmivuo & Robert Plonsey:  
Bioelectromagnetism - Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields,  
Oxford University Press, New York, 1995.

# Expérience :

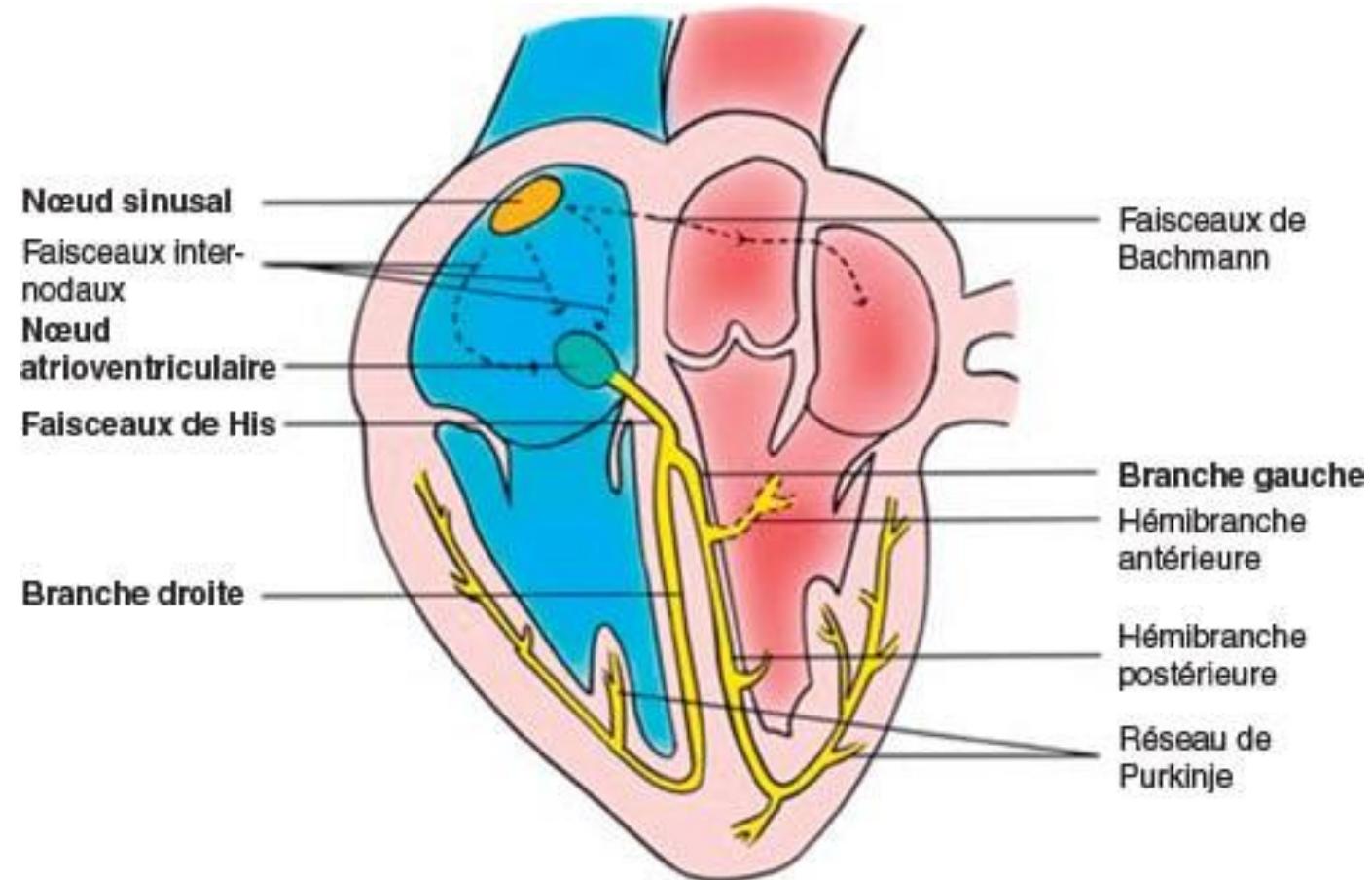
- Cœur en dehors de l'organisme
- Entièrement déconnecté du système nerveux
  - le cœur continue à battre

→ **Automatisme cardiaque et conductivité**

- Cellules nodales :+++ :
  - Capacité de se dépolariser spontanément
  - Distribution anatomique

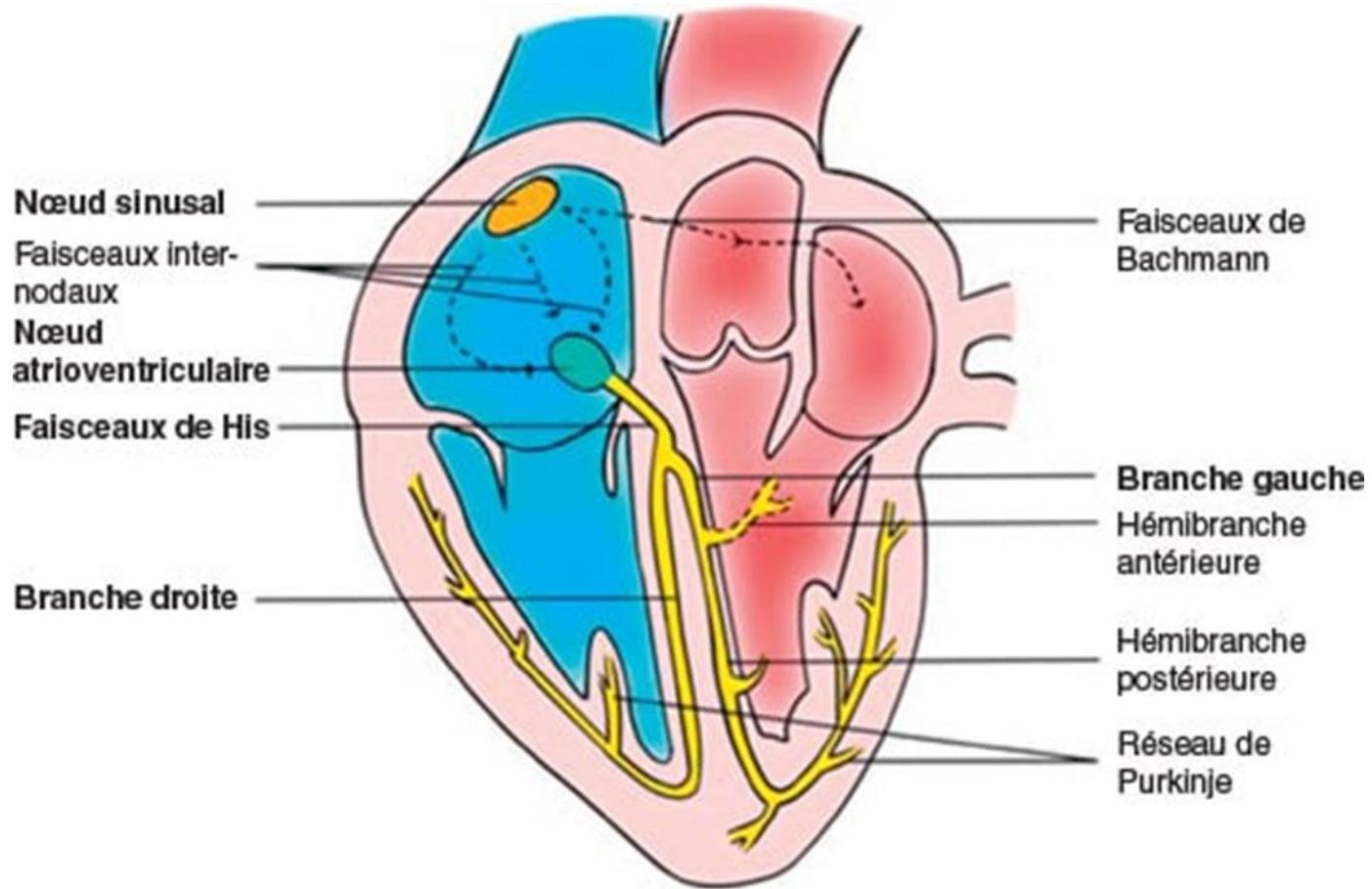
# Distribution anatomique

- Tissu nodal :
  - Nœuds
  - Faisceaux
  - réseaux



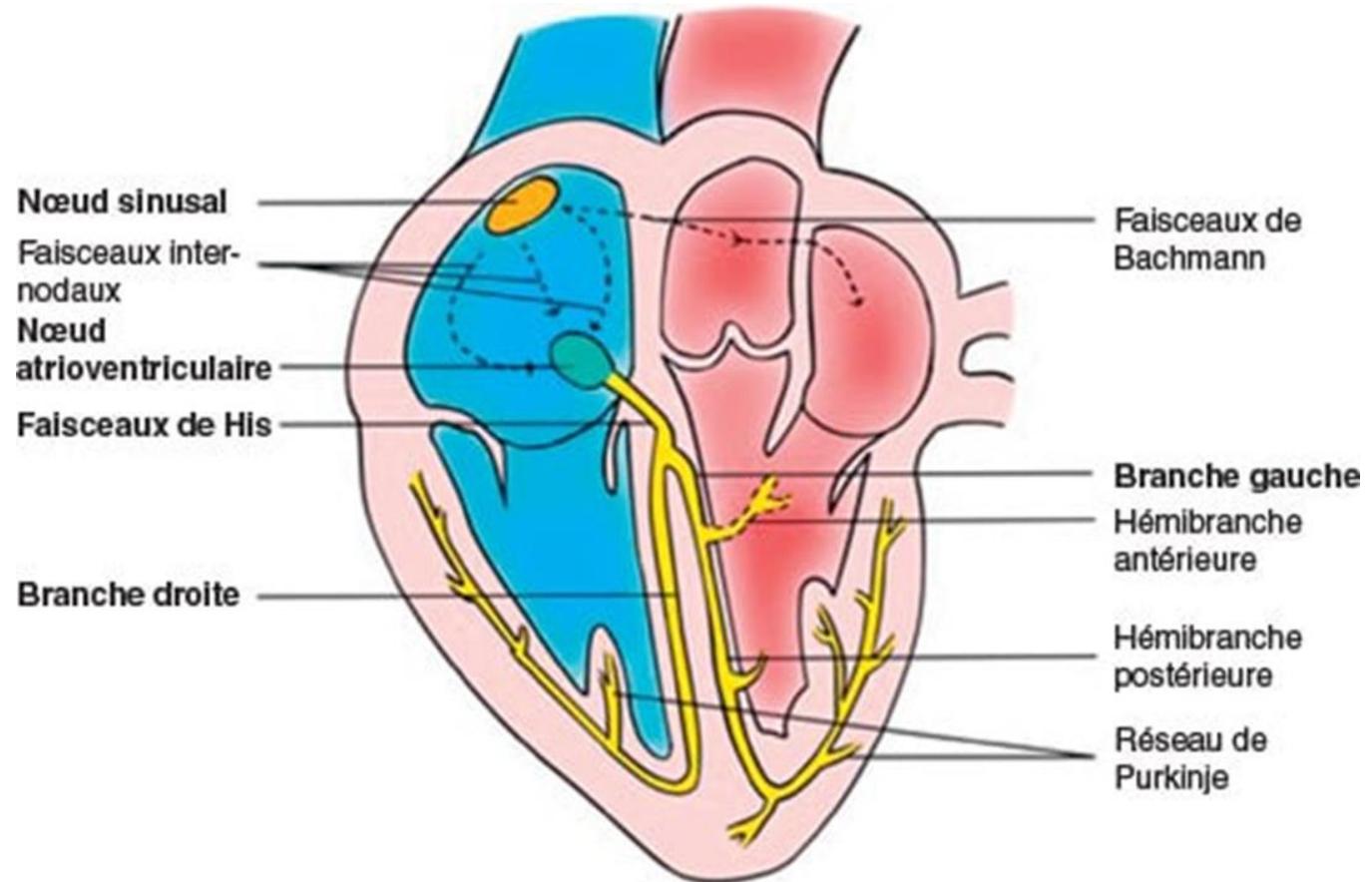
# Le nœud sinusal : nœud auriculaire

- situé dans la paroi auriculaire droite
  - au niveau de l'angle formé par la veine cave supérieure et l'oreillette droite
- forme d'un croissant ouvert vers le bas
- mesurant :
  - 15 à 20 mm de longueur
  - 2 à 5 mm en largeur.



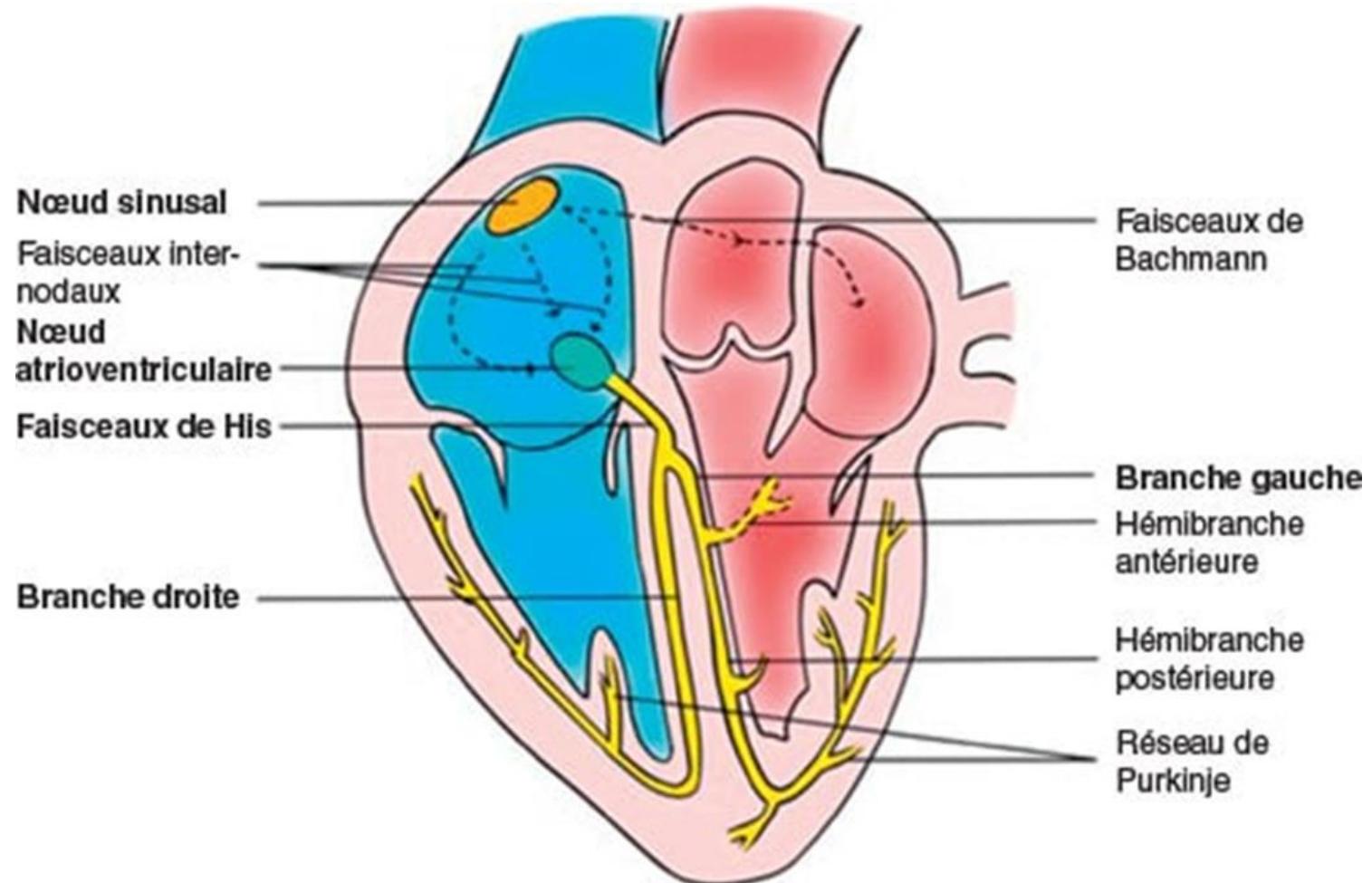
# Le nœud auriculo-ventriculaire

- dans la partie inférieure du septum inter-auriculaire
- sous l'endocarde de l'oreillette droite



## Y a-t-il des voies auriculaires inter-nodales?

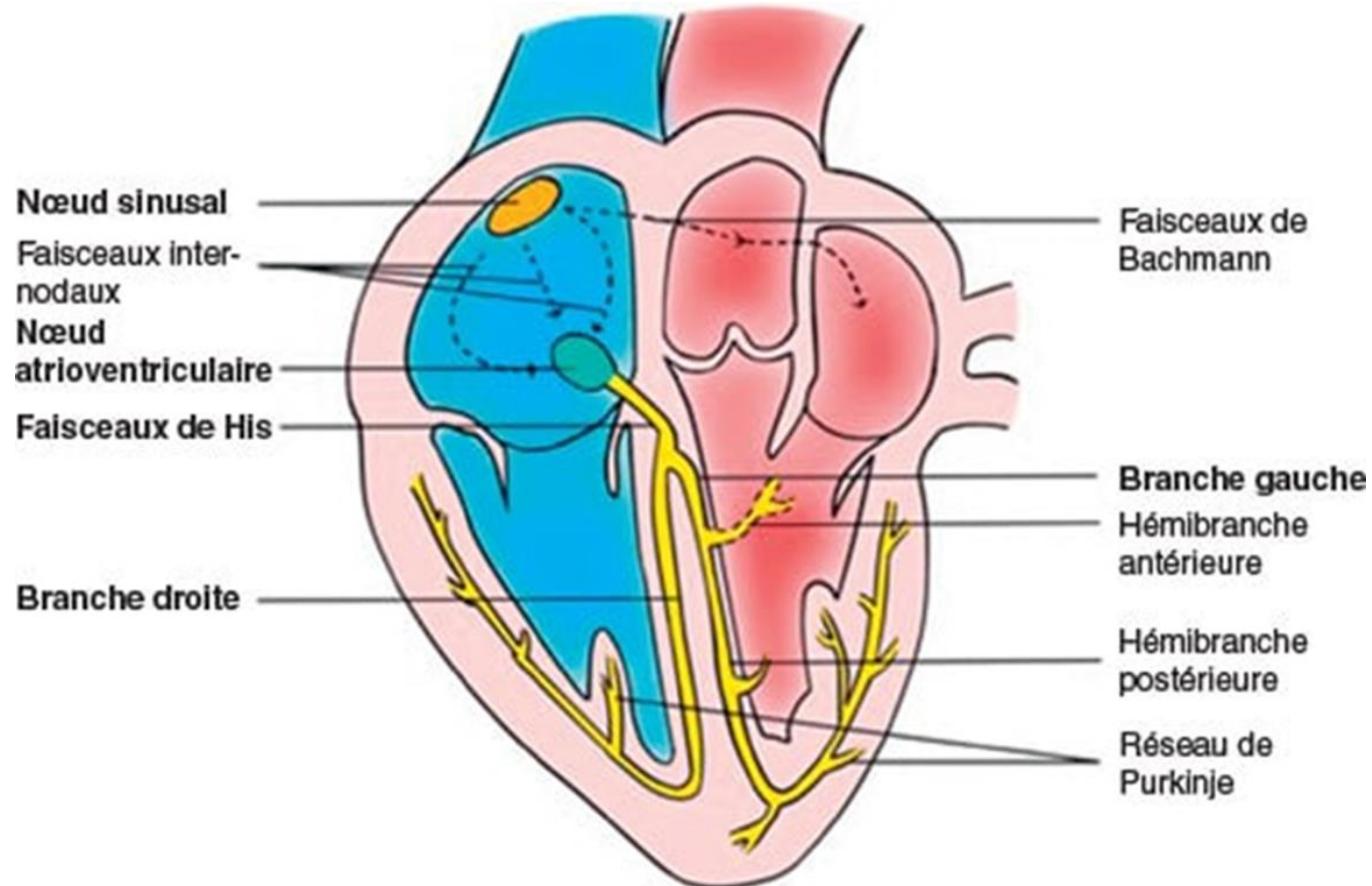
- Cellules nodales dispersées
- Pas de voies au sens propre du terme



# Le faisceau de His et ses branches

Trajet :

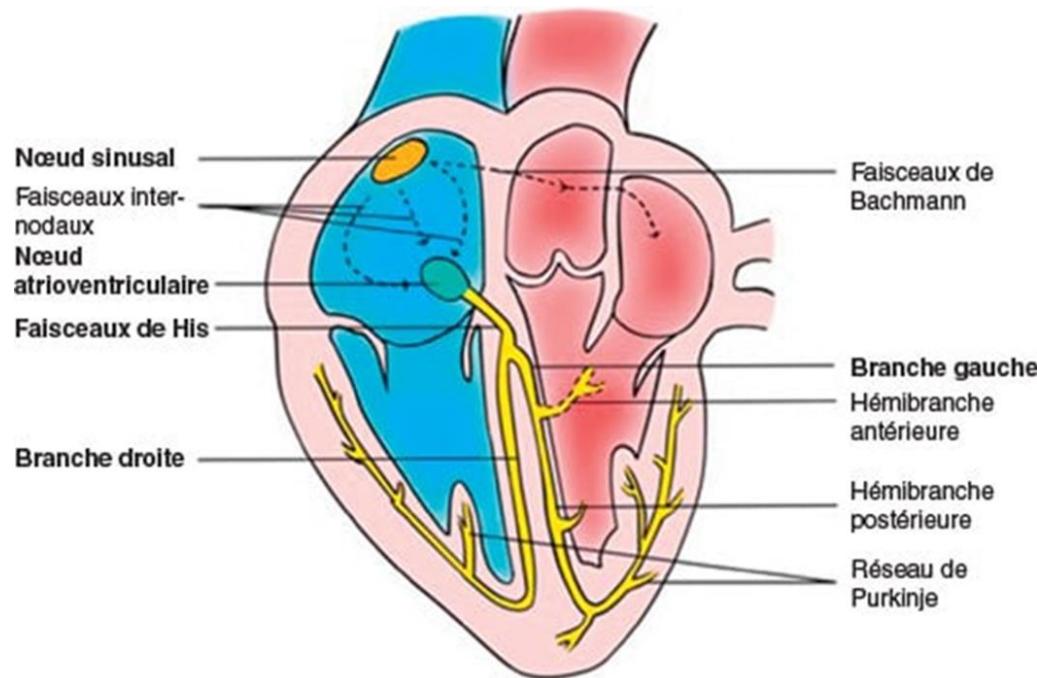
- Traverse le noyau fibreux qui sépare les septums inter auriculaires et inter ventriculaires
- Se divise en 2 branches : droite - gauche



# Le faisceau de His et ses branches

- Branche droite :

- Sous l'endocarde septal droit
- Paroi latérale du VD
- Anneau fibreux tricuspidien
- Réseau de Purkinje :
  - Prolongements dans myocarde et région sous-épicardique

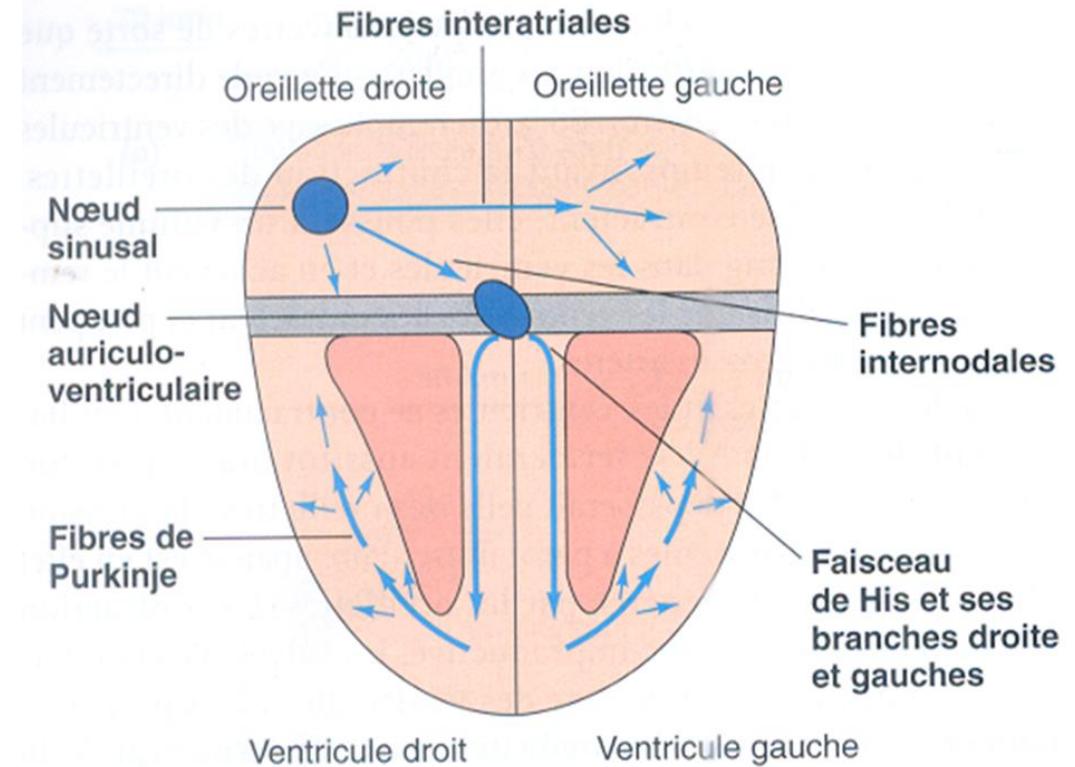
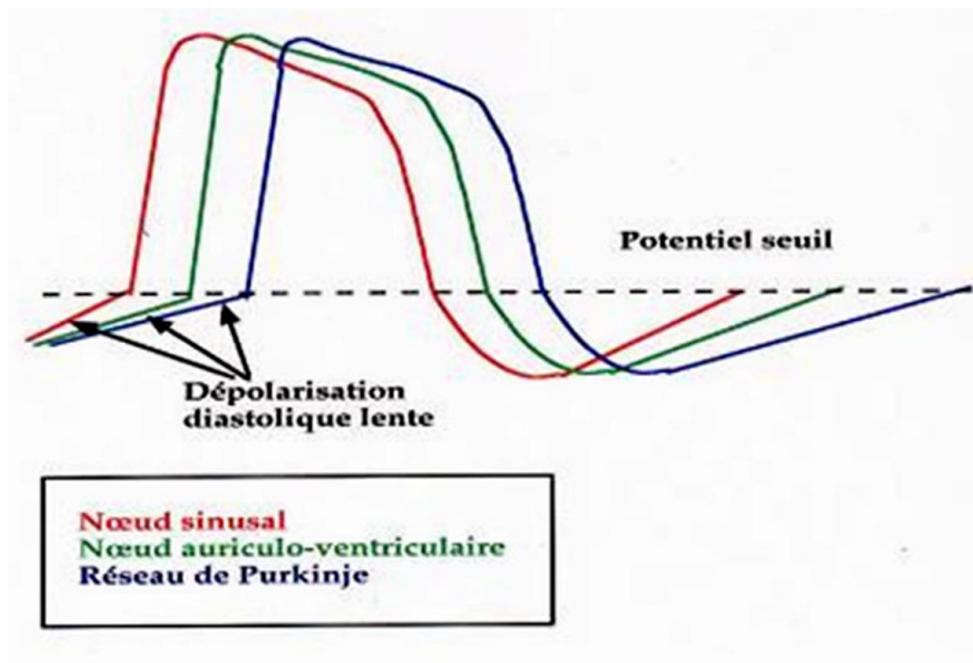


- Branche gauche :

- se divise :
  - Faisceau antérieur
  - Faisceau postérieur
- Sous l'endocarde VG
- Septum interventriculaire
- Pointe du cœur
- Anneau fibreux mitral
- Réseau de Purkinje :
  - Prolongements dans myocarde et région sous-épicardique

# LA NAISSANCE DE L'ONDE DE DÉPOLARISATION

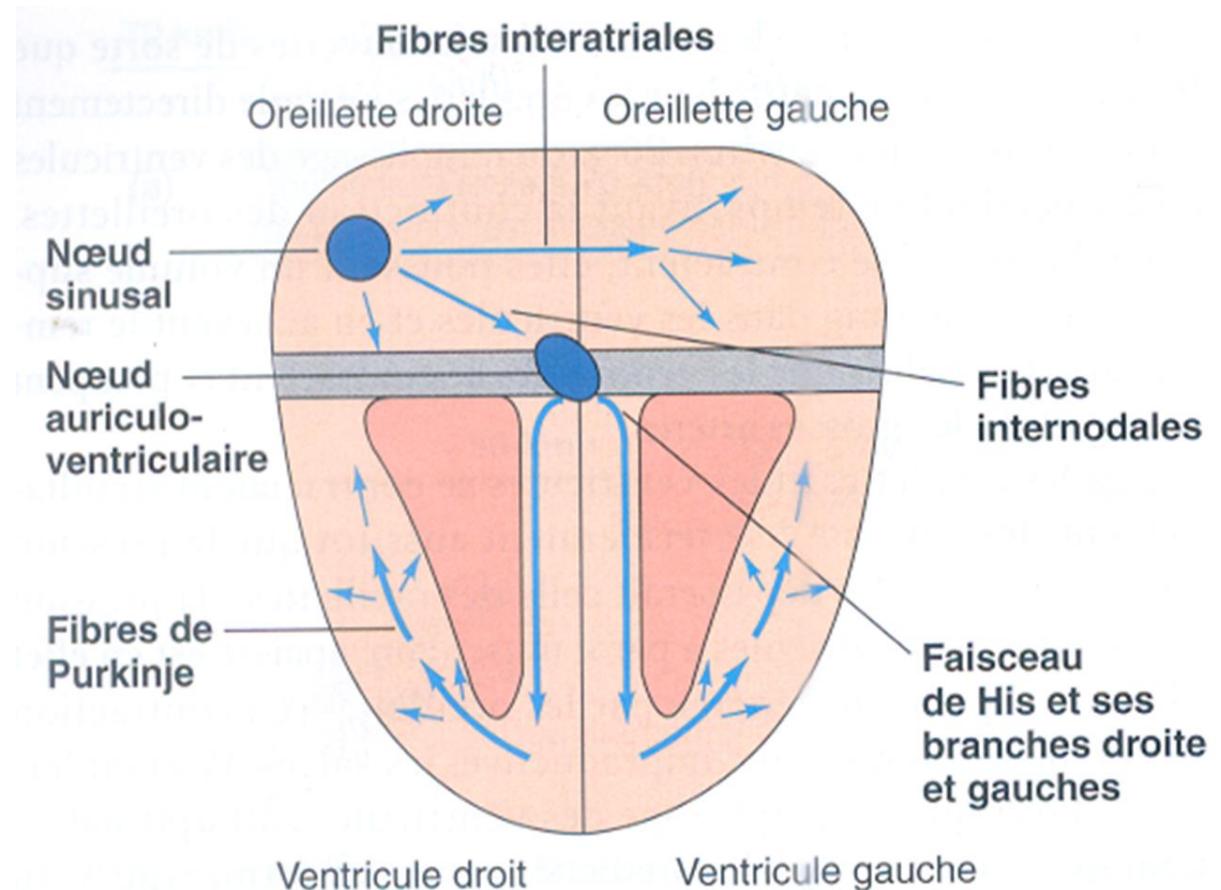
- Dépolarisation spontanée au niveau du nœud sinusal



# TRANSMISSION DE LA DÉPOLARISATION

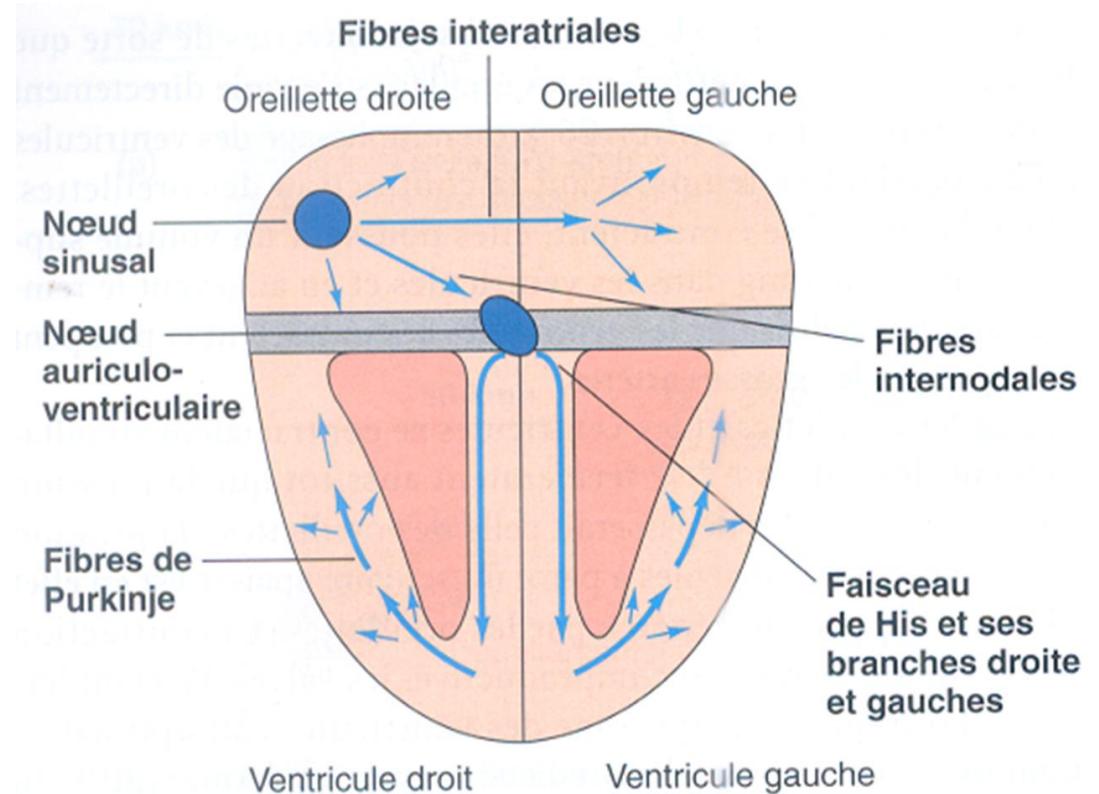
## A l'étage auriculaire

- Dépolarisation du nœud sinusal → tout le myocarde auriculaire
  - Même vitesse dans toutes les directions
  - Absence de voies nodales spécifiques
  - → **contraction de tout le myocarde auriculaire en même temps**



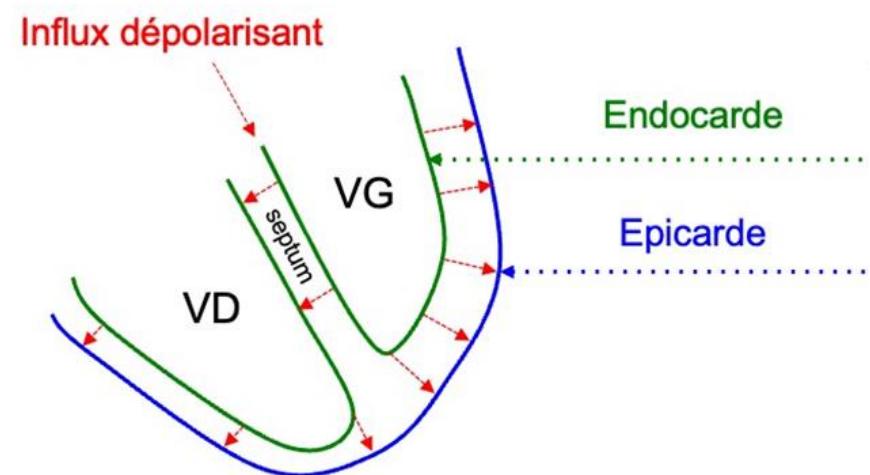
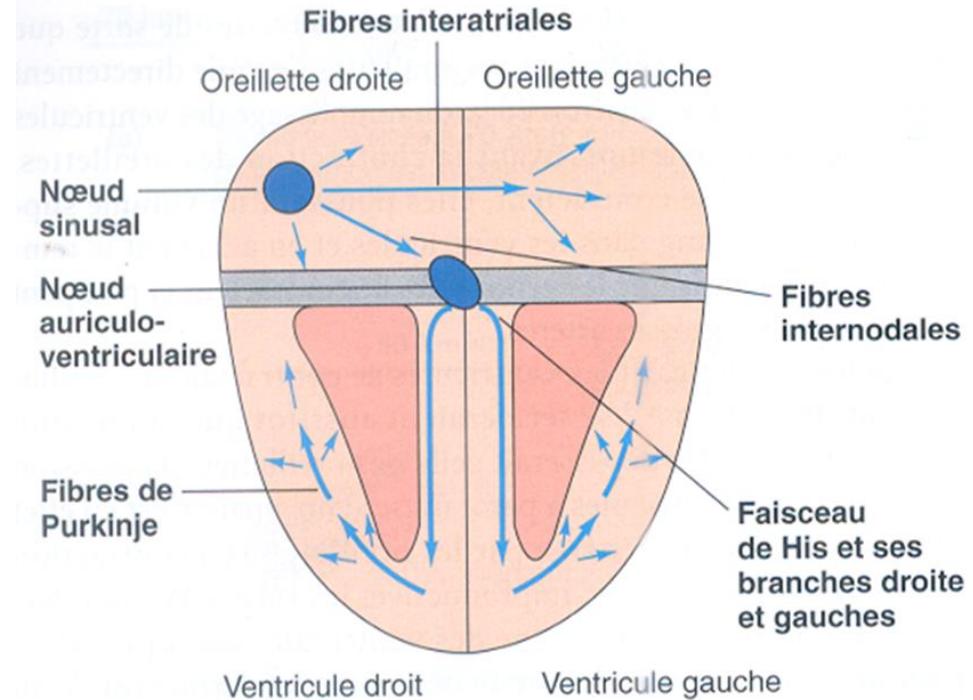
Au niveau des anneaux fibreux  
qui séparent les myocardes auriculaire et ventriculaire:

- La dépolarisation s'arrête
- Absence de tissu nodal et de tissu myocardique
- **Sauf**, le nœud auriculo-ventriculaire
- → retarder la contraction ventriculaire



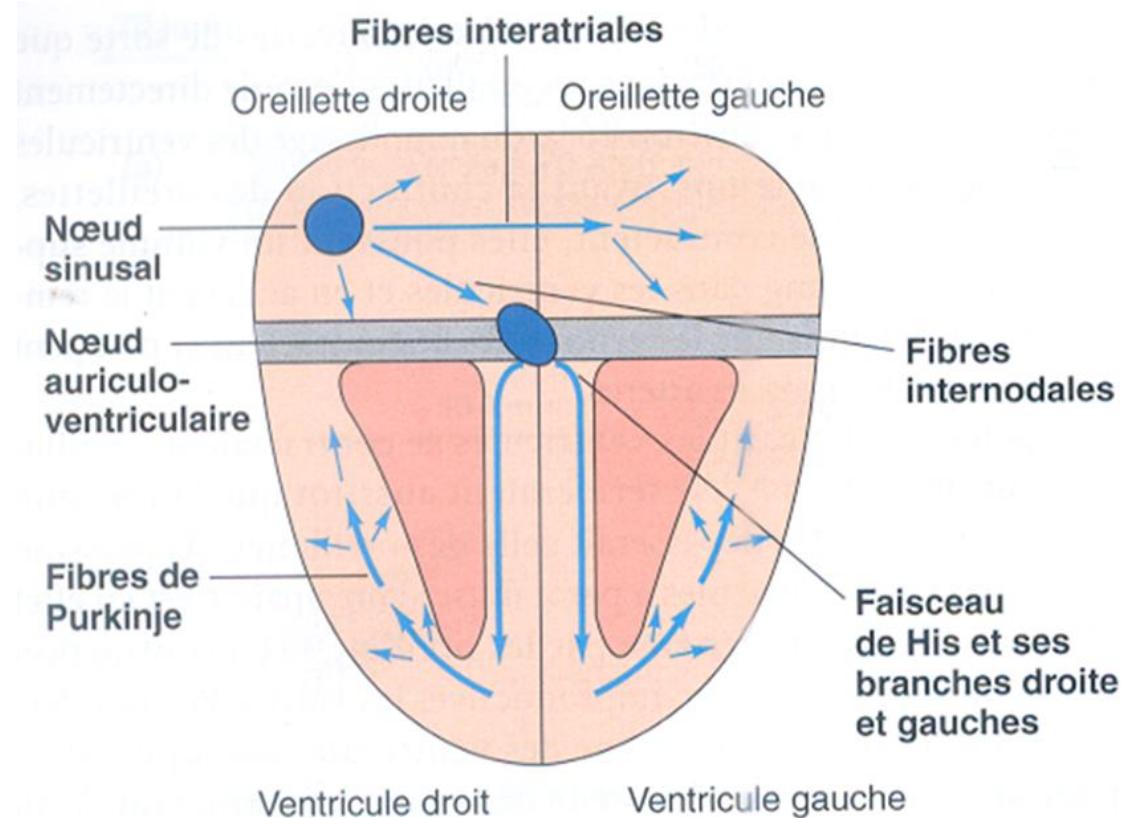
## A l'étage ventriculaire

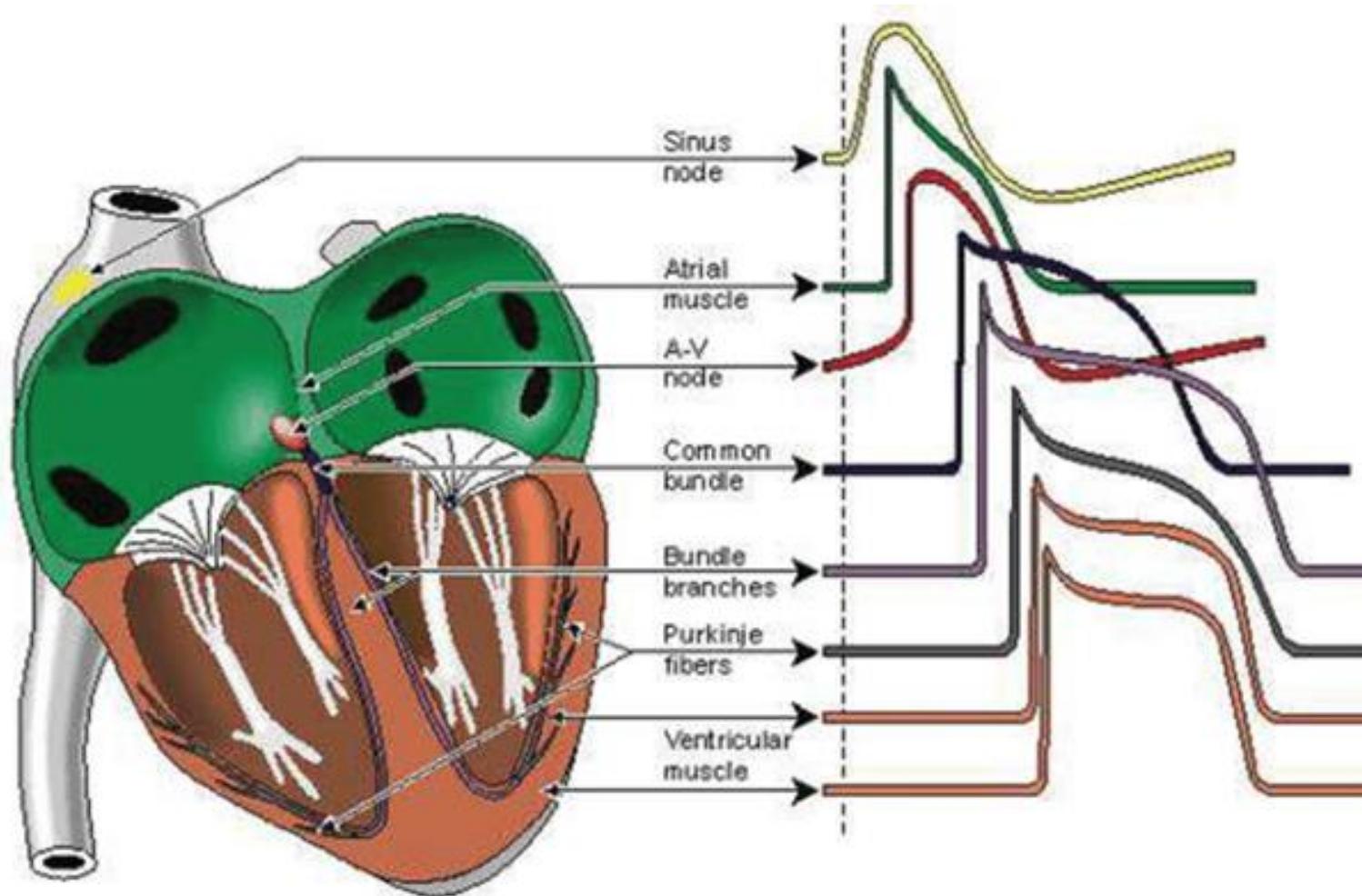
- Dépolarisation
  - → faisceau de His
  - 100 ms après la dépolarisation du nœud sinusal
  - → suivre les voies nodales
  - → myocarde : endocarde → épicarde
  - Durée : 60-80 ms
  - Septum ∈ VG → la contraction commence plus tôt à gauche.



## → anneaux fibreux

- arrêt de transmission de la dépolarisation
- → empêcher la dépolarisation rétrograde : V → O

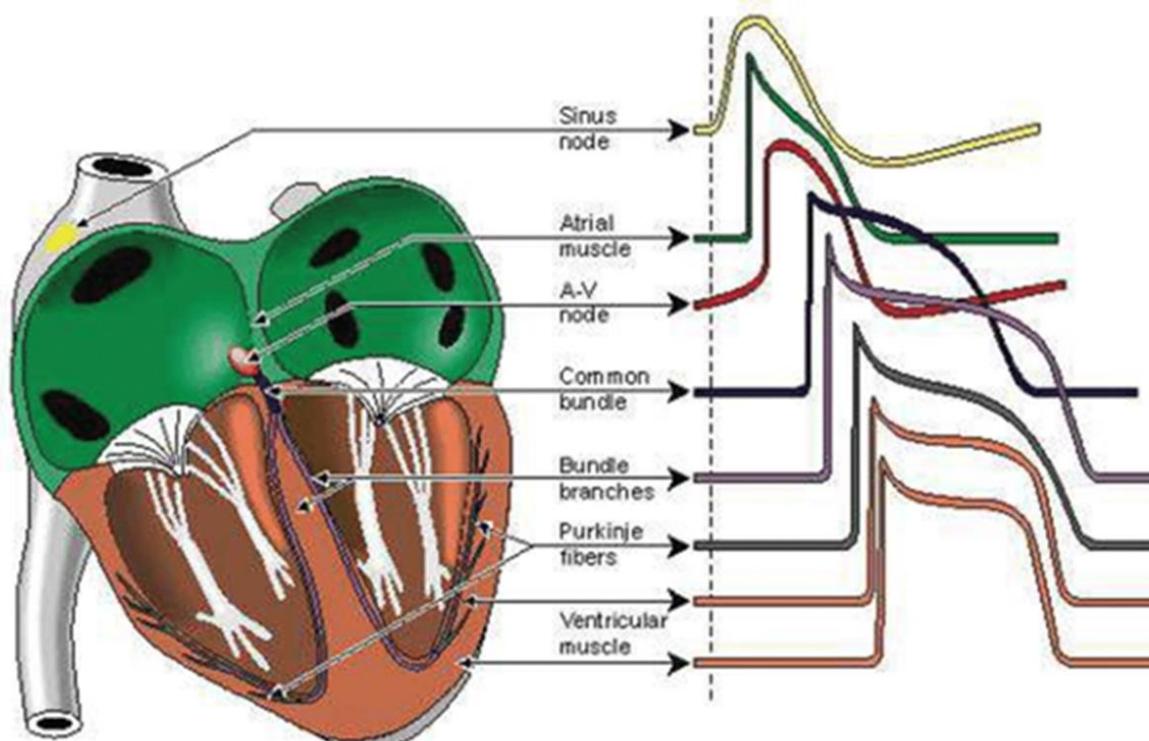




Déroulement normal de l'excitation	Temps (ms)	ECG	Vitesse de conduction (m . s <sup>-1</sup> )	Fréquence propre (min <sup>-1</sup> )
<b>Nœud sinusal</b>				
Formation de l'impulsion	0	Onde P	0,05	60-100
Arrivée de l'impulsion dans les parties éloignées des oreillettes	50		0,8-1,0	
	85		dans l'oreillette	
<b>Nœud AV</b>				
Arrivée de l'impulsion	50	Intervalle P-Q (excitation différenciée)	0,05	40-55
Conduction de l'impulsion	125			
<b>Activation du faisceau de His</b>				
<b>Activation des branches</b>	130		1,0-1,5	
<b>Activation du réseau de Purkinje</b>	145		1,0-1,5	25-40
<b>Partie interne du myocarde totalement activée</b>	150		3,0-3,5	
<b>Partie externe du myocarde totalement activée</b>	175	Complexe QRS	1,0	
	190		dans le myocarde	
	205			
	225			

Déroulement normal de l'excitation

	Temps (ms)	ECG	Vitesse de conduction (m.s <sup>-1</sup> )	Fréquence propre (min <sup>-1</sup> )
<b>Nœud sinusal</b>	0	Onde P	0,05	60-100
Formation de l'impulsion	50		0,8-1,0	
Arrivée de l'impulsion dans les parties éloignées des oreillettes	85		dans l'oreillette	
	50		0,05	
<b>Nœud AV</b>	125	Intervalle P-Q (excitation différée)	0,05	40-55
Arrivée de l'impulsion	130		1,0-1,5	
Conduction de l'impulsion	145		1,0-1,5	
<b>Activation du faisceau de His</b>	150		3,0-3,5	
<b>Activation des branches</b>	175		1,0	
<b>Activation du réseau de Purkinje</b>	190		dans le myocarde	
<b>Partie interne du myocarde totalement activée</b>	205	Complexe QRS		sans
	225			
<b>Partie externe du myocarde totalement activée</b>				



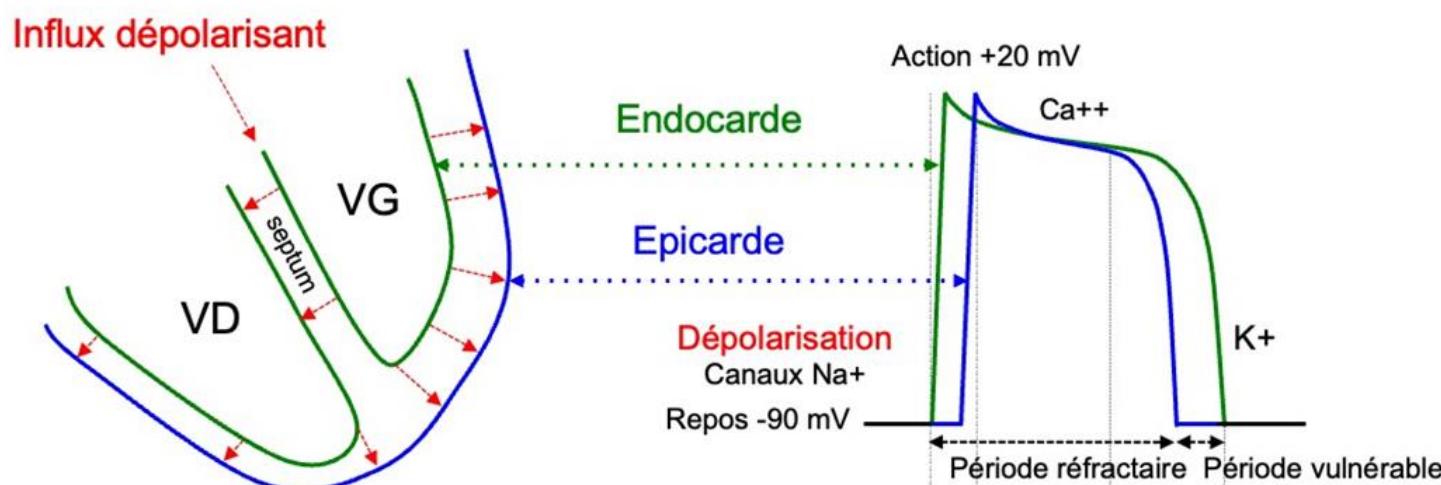
# LA REPOLARISATION

- Repolarisation :
  - Phénomène propre à chaque cellule
  - Pas de transmission
- **Au niveau des oreillettes :**
  - Repolarisation rapide
  - **Cheminement identique à celui de la dépolarisation**

# LA REPOLARISATION

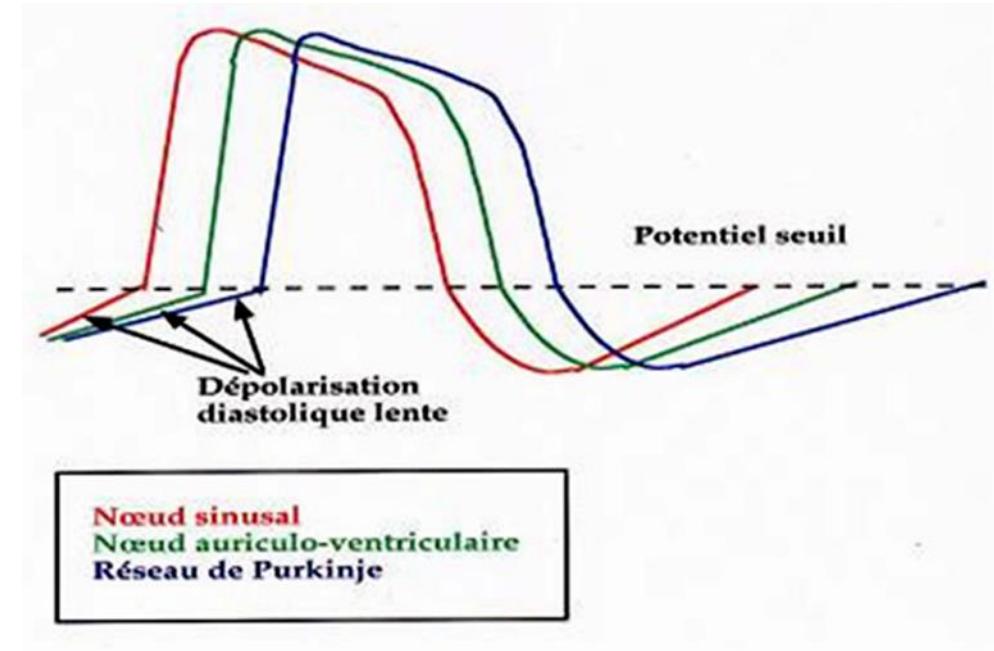
- **Au niveau des ventricules :**

- Les cellules sous-endocardiques restent long temps dépolarisées
- Les cellules sous-épicardiques se repolarisent en premier
- Repolarisation : Epicarde → Endocarde
- **chemin inverse de la dépolarisation**



# HIÉRARCHIE DE L'AUTOMATISME

- Inactivation du nœud sinusal
- Inactivation du nœud auriculo-ventriculaire
- Section du faisceau de Hiss
- Section d'une branche du faisceau de Hiss



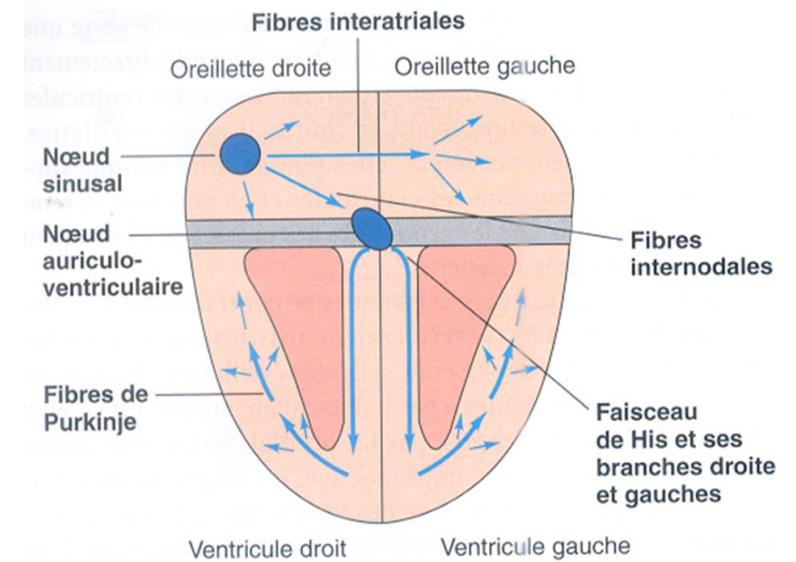
- A l'état normal :

- Le nœud sinusal :

- Impose son propre rythme à tout le reste du cœur
    - Rythme sinusal : 60-100/min
    - Pacemaker

- Le reste du tissu nodal :

- Voie de conduction privilégiée

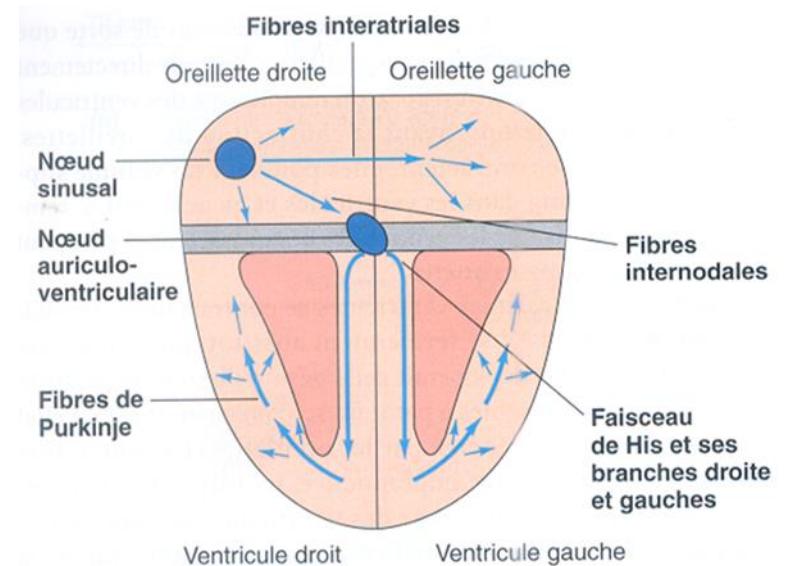


- Quand le nœud sinusal est détruit ou inactivé :

- L'automatisme de la structure immédiatement sous-jacente se démasque
  - Il en est ainsi aux autres niveaux

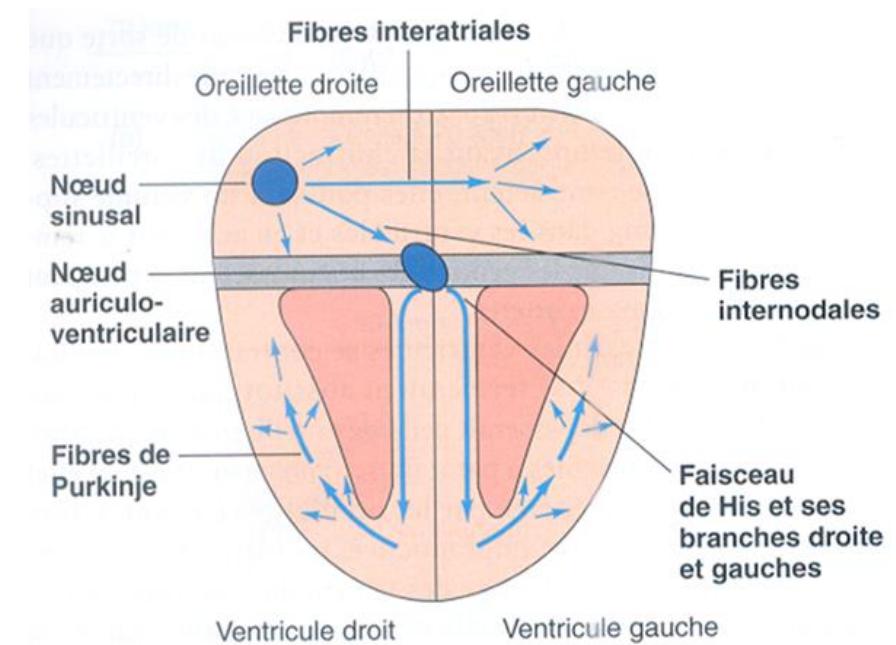
# Inactivation du nœud sinusal

- Inactivation du nœud sinusal par :
  - Destruction
  - Refroidissement
- → **le nœud A-V**
  - prend le relais : origine de la dépolarisation
  - Rythme < nœud sinusal : **40-55/min**
  - → Dépolarisation simultanée :
    - Du faisceau de His
    - Dans le myocarde auriculaire : rétrograde
  - → **Contraction simultanée des oreillettes et ventricules**



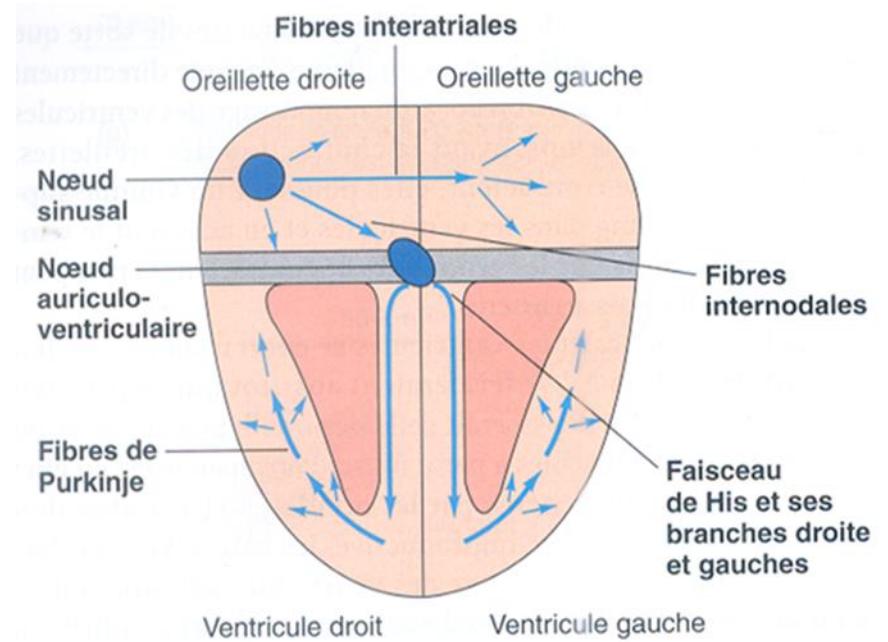
# Inactivation du nœud auriculo-ventriculaire

- → Interruption de la liaison électrique entre O et V :
  - Bloc complet
- Oreillettes :
  - Dépolarisées à partir du nœud sinusal
  - Rythme sinusal
- Ventricules :
  - Au début : temps d'arrêt
  - Puis : Automatisme du **faisceau de His** :
    - Prend le relais
    - Rythme plus lent : **25-40/min**



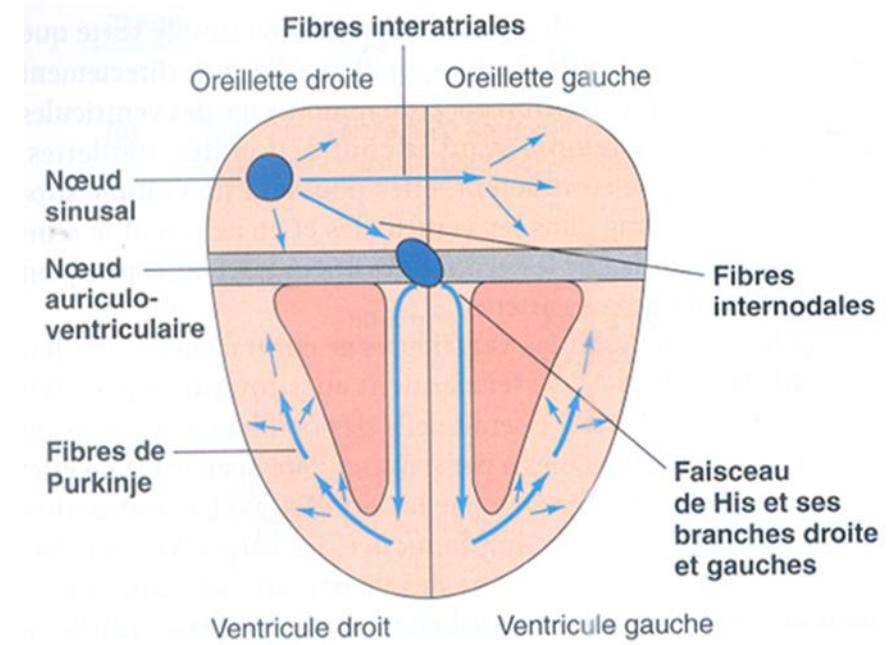
# Section du faisceau de Hiss

- Dépolarisation :
  - nœud sinusal → oreillettes → nœud A-V → s'arrête
  - Rythme sinusal
- Automatisme des structures sous-jacentes :
  - Rythme idioventriculaire : plus lent
- Bloc complet entre O et V



## Section d'une branche du faisceau de Hiss

- Transmission de la dépolarisation :
  - interruption du passage préférentiel
  - Emprunter à partir de la branche normale, les réseaux de Purkinje
  - → ↑ du temps de conduction
- → Retard à la dépolarisation et à la contraction du ventricule dont la branche a été lésée



Fréquence propre des potentiels d'action à différents niveaux du tissu de conduction du cœur

### NIVEAU

### POTENTIELS D'ACTION PAR MINUTE\*

Nœud sinusal (pacemaker normal)

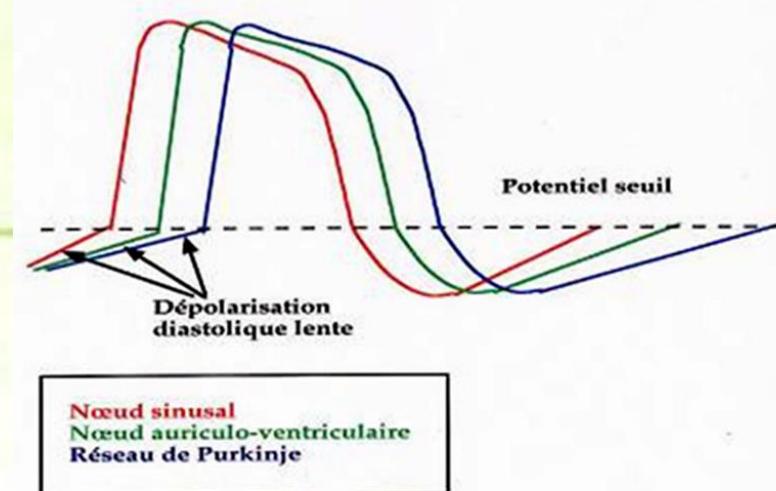
70-80

Nœud auriculo-ventriculaire

40-60

Faisceau de His et fibres de Purkinje

20-40



\*En présence de tonus parasympathique

