

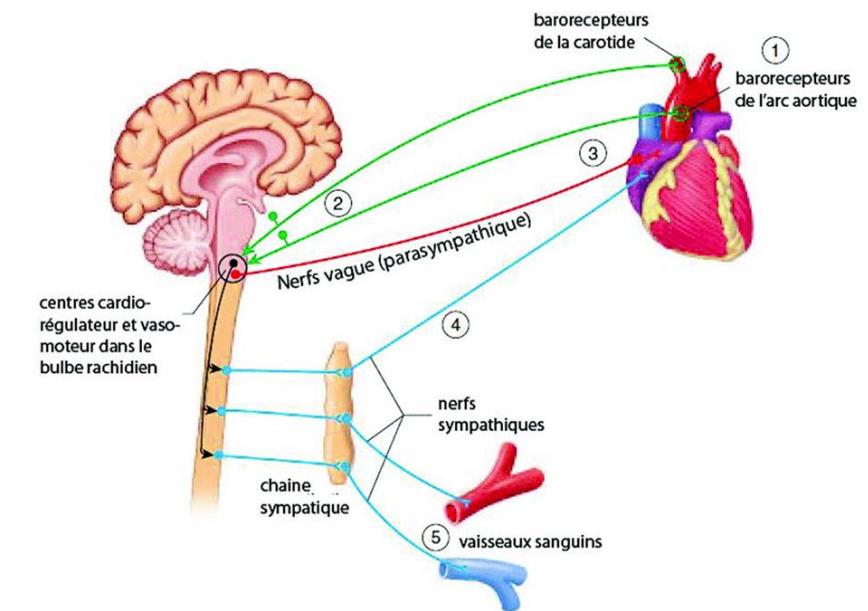


# INTEGRATION ET REGULATION DE LA FONCTION CARDIO-VASCULAIRE

UEF 106

Pr Kaouthar Masmoudi

2025- 2026

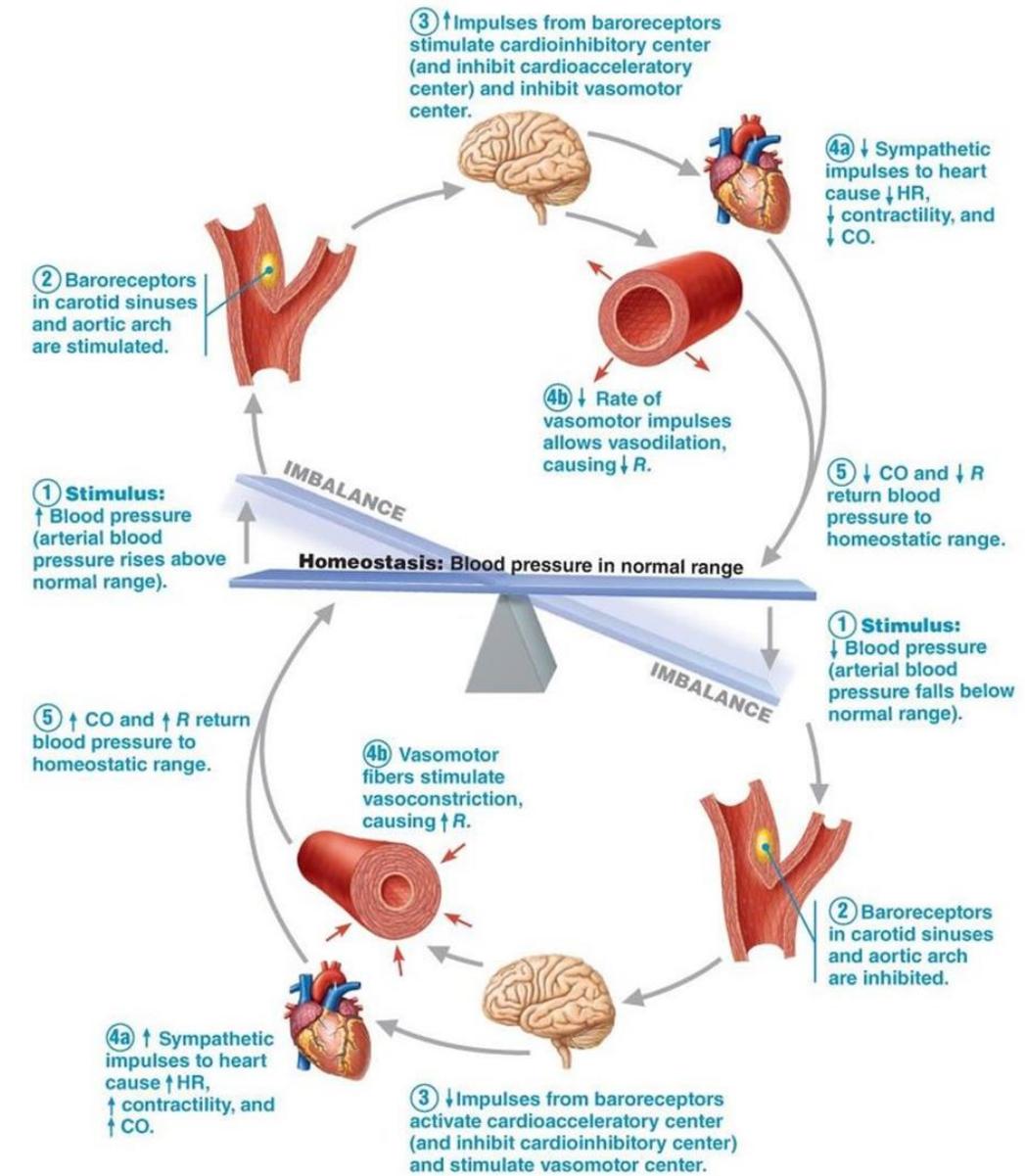


# Plan

- LA BOUCLE DE REGULATION
- LES MECANISMES NERVEUX SE CONTRÔLE
- LES FACTEURS HUMORAUX

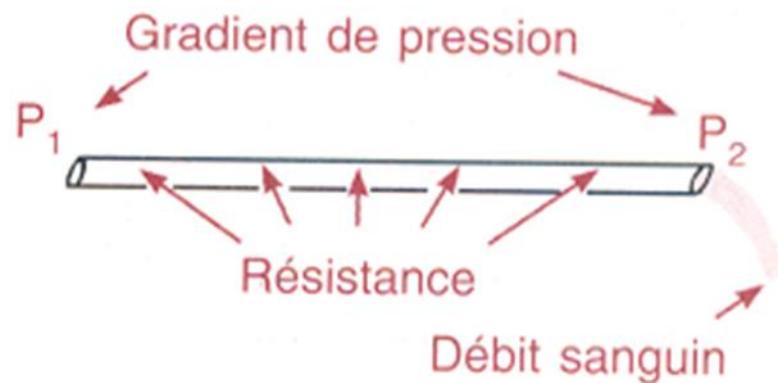
# BOUCLE DE REGULATION

- Lois physiques
- Différents aspects de la régulation
- La grandeur réglée du système cardio-vasculaire



# Loi de Poiseuille

- débit si écoulement laminaire
- $Q = \Delta P / R$
- $R = 8 \eta L / \pi r^4$
- $\Delta P = Q \times R$



## Loi de Poiseuille

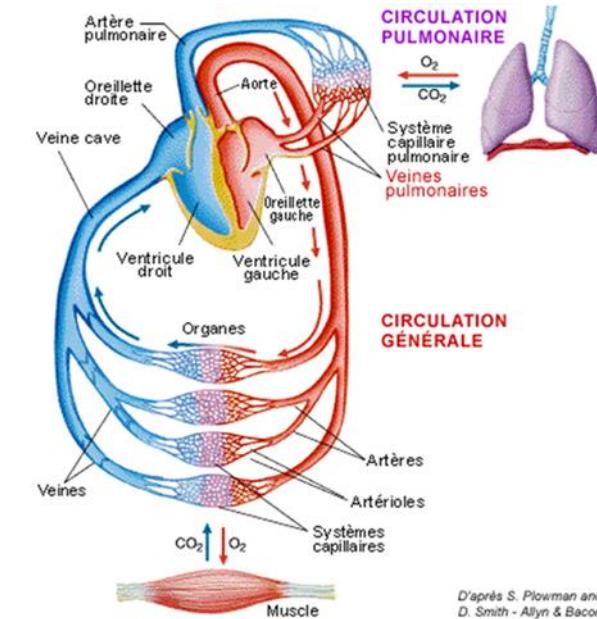
**Débit d'un fluide newtonien en écoulement laminaire**

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8 \eta L}$$

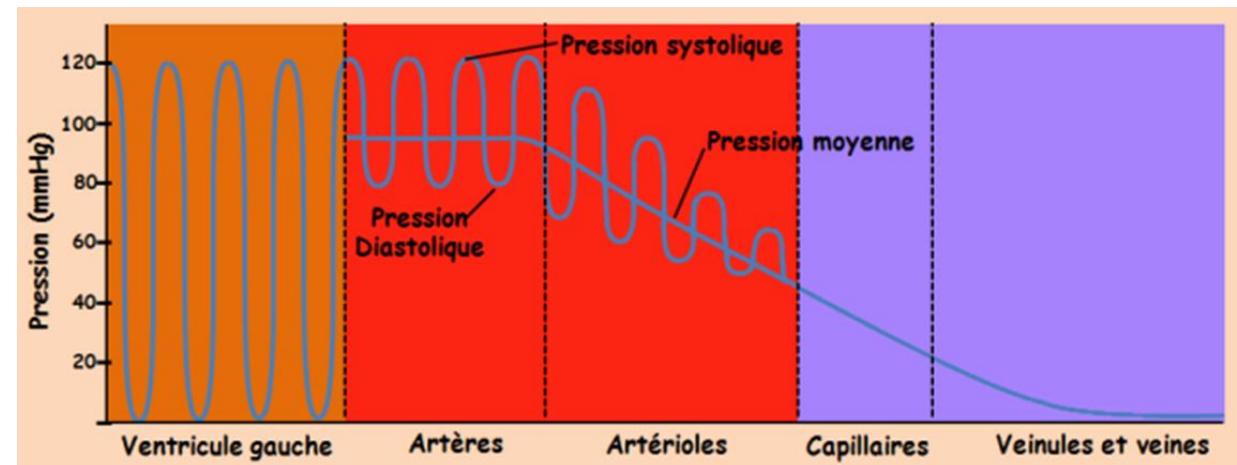
Avec Q : débit (parfois noté D);  $\eta$  : viscosité;  $\Delta P$  : différence de pression entre les 2 extrémités du tube de rayon r et de longueur L

## Dans la circulation sanguine systémique :

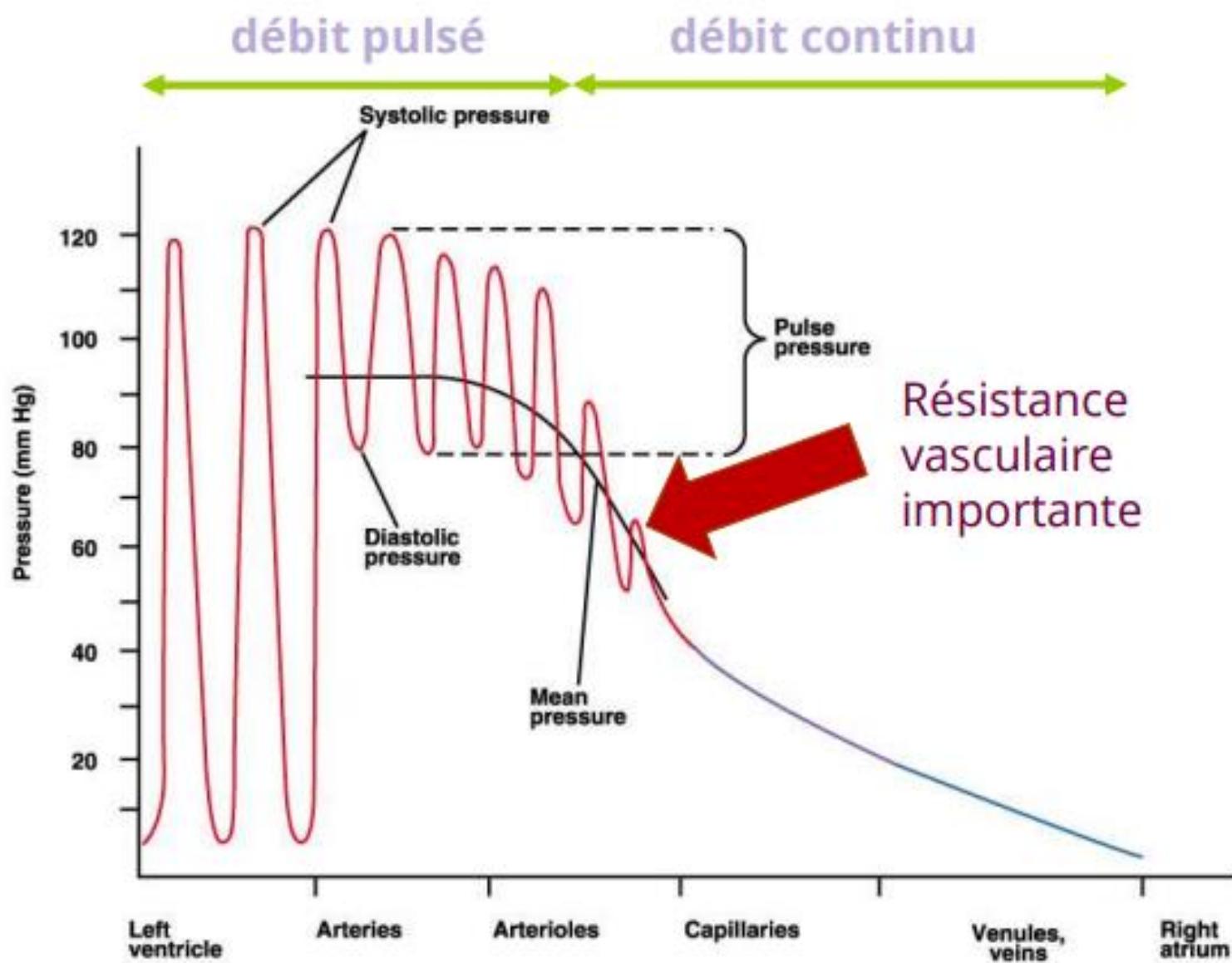
- $\Delta P = P_{\text{entrée}} - P_{\text{sortie}}$
- $\Delta P = P_{\text{aorte}} - P_{\text{OD}}$
- $P_{\text{OD}}$  : très faible
- $P_{\text{aorte}} = P_{\text{artérielle}} = PA$
- $\Delta P = PA$
- $PA = Q \times R$
- $Q = VES \times FC$
- $PA = VES \times FC \times R$



D'après S. Plowman and  
D. Smith - Allyn & Bacon



Pression = force que le sang exerce sur la paroi des vaisseaux



- **Pression artérielle (PA)**

« Loi d'Ohm »

$$PA = Q_C \times RVP$$

- $Q_C$  = débit cardiaque
- $RVP$  = résistances vasculaires périphériques

« Loi de Poiseuille »

$$RVP = \frac{8\eta L}{\pi r^4}$$

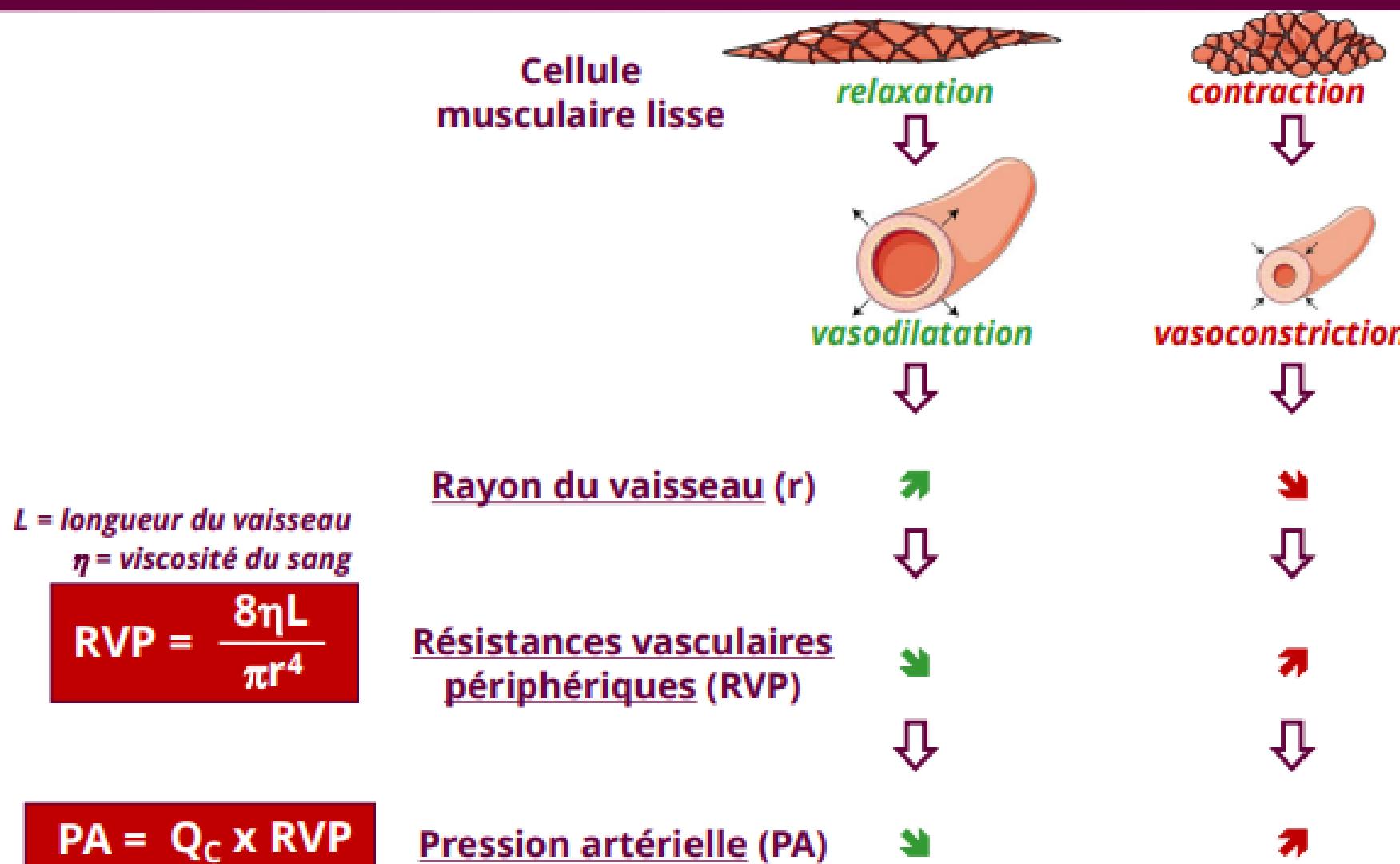
$r$  = rayon du vaisseau

$L$  = longueur du vaisseau

$\eta$  = viscosité du sang

**Faible variation du rayon**  
=> grande variation de la résistance

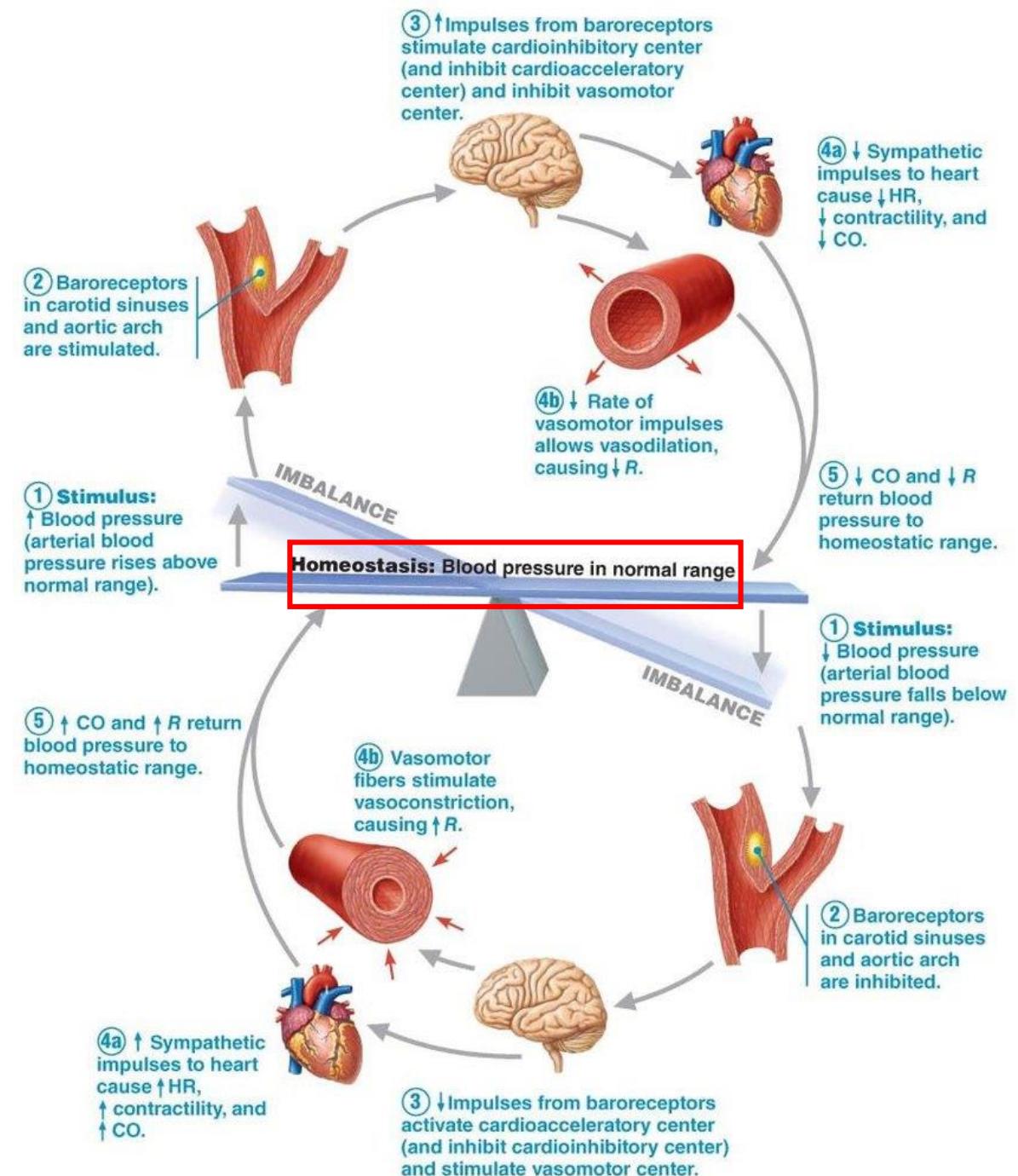
## Rôle du tonus vasculaire dans la régulation de la pression artérielle



- $Q_C$  = débit cardiaque
- $RVP$  = résistances vasculaires périphériques

# LES DIFFÉRENTS ASPECTS DE LA RÉGULATION

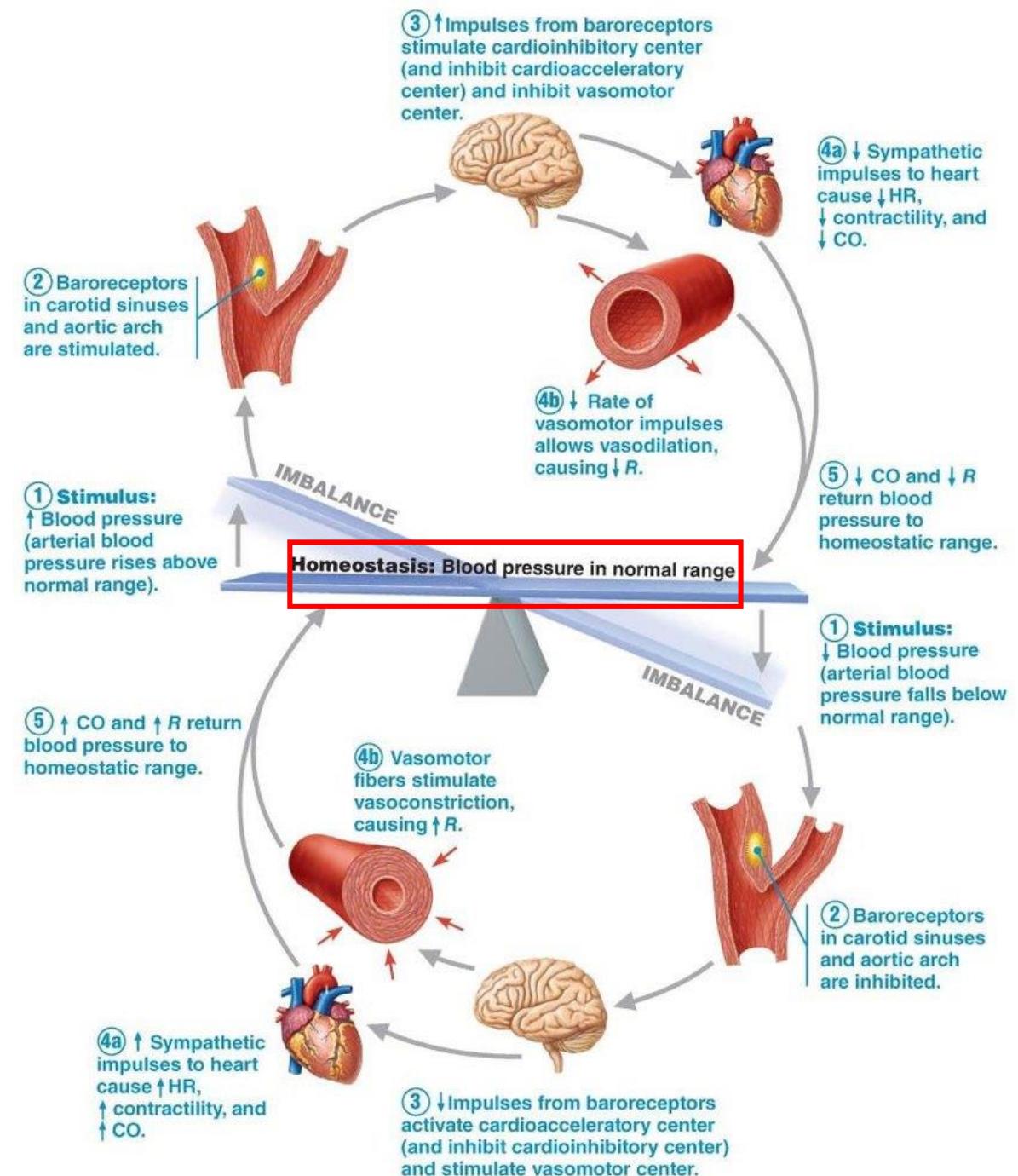
- Adaptation cardio-vasculaire
- Fonctionnement cohérent et stable
- Régulation de base :
  - Au repos
  - À jeun
  - Neutralité thermique



# LES DIFFÉRENTS ASPECTS DE LA RÉGULATION

## Boucle de régulation :

- Grandeur réglée
- Facteurs de modification de la grandeur réglée
- Information des centres de contrôle
- Action des centres de contrôle



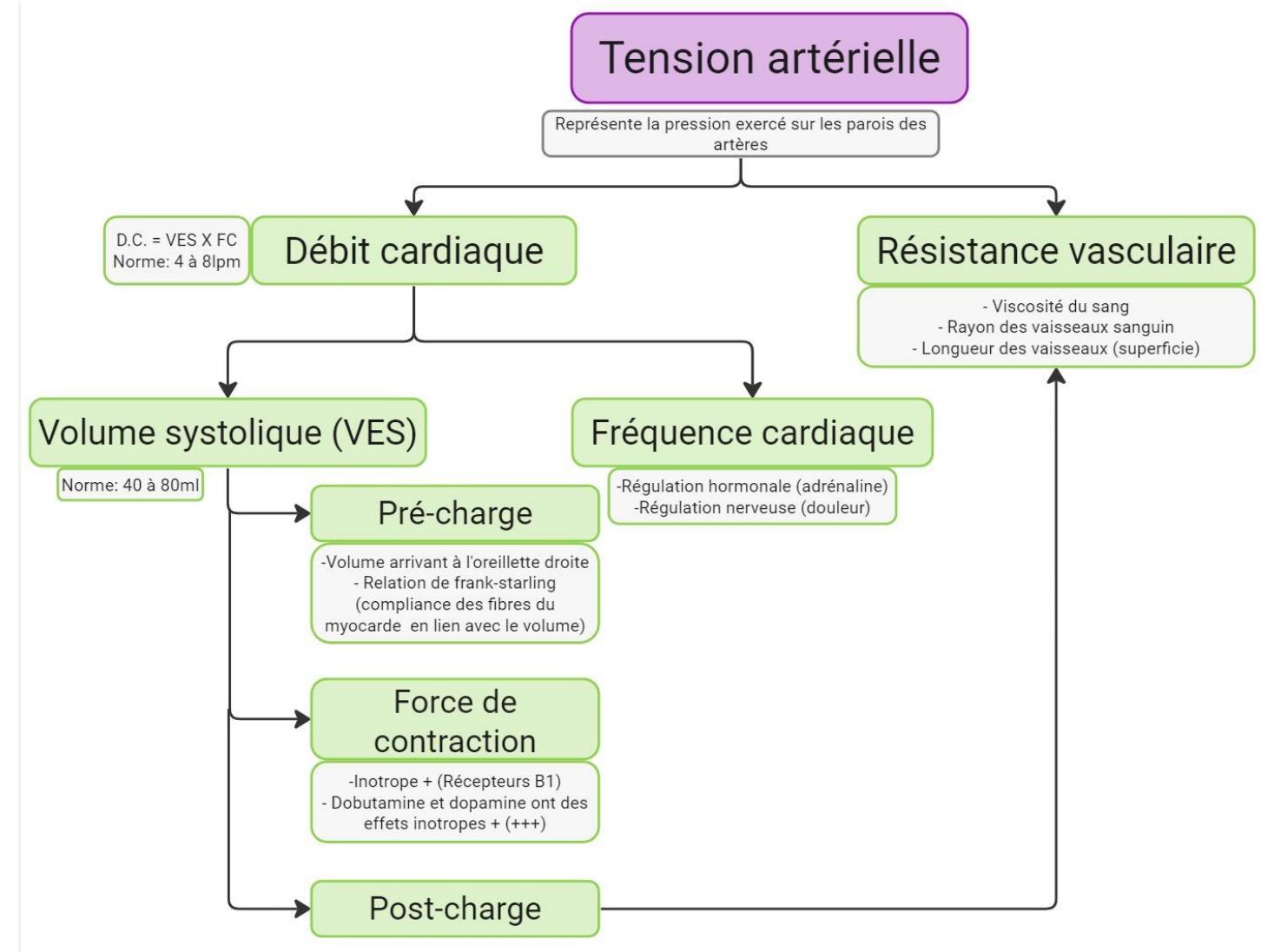
# La grandeur régulée du système cardio-vasculaire

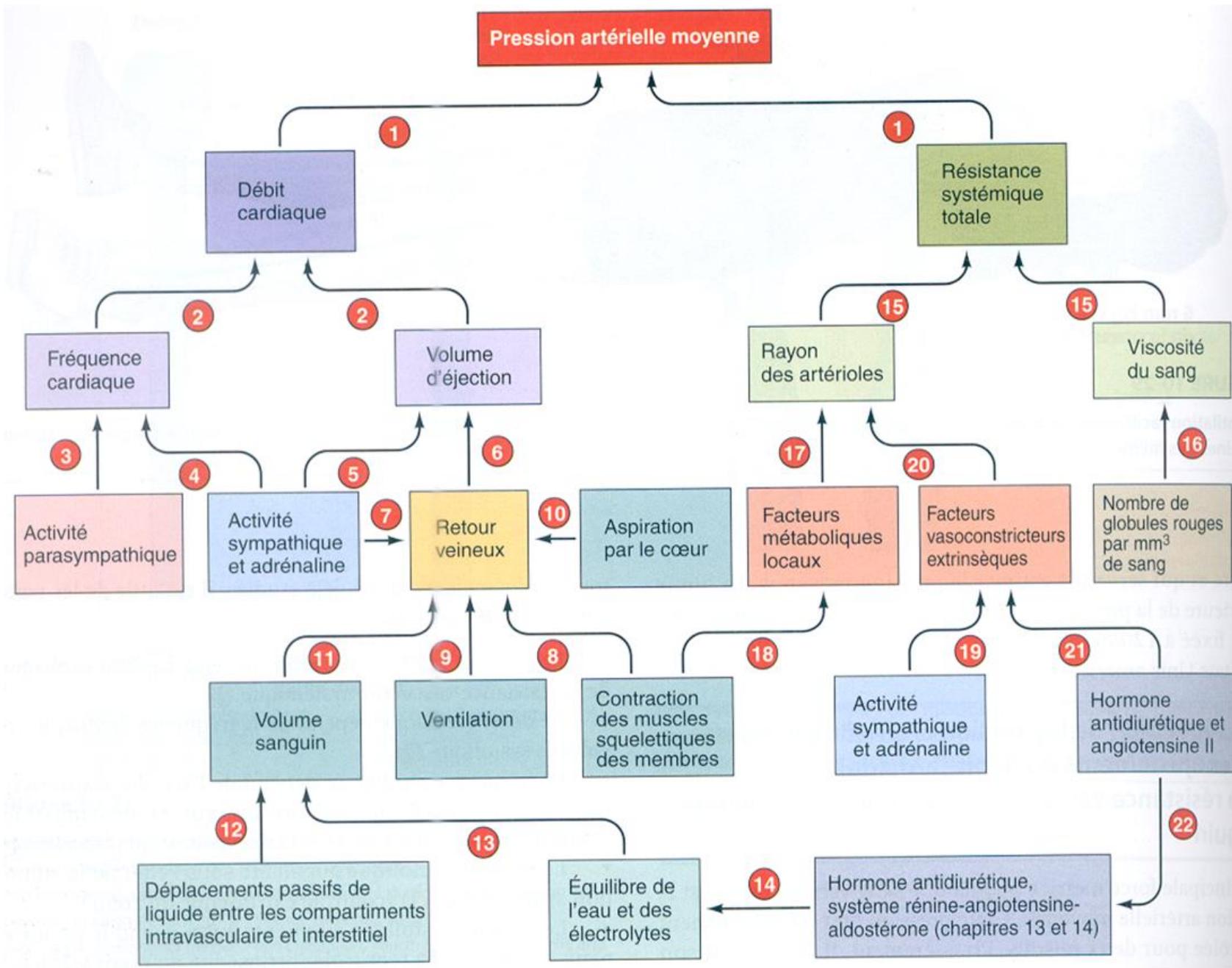
LA PRESSION ARTÉRIELLE MOYENNE :

$$PA = Q \times R = VES \times FC \times R$$

# LA GRANDEUR RÉGLÉE DU SYSTÈME CARDIO-VASCULAIRE

- Contrôle :
  - nerveux
  - Humoral
- Contrôle :
  - Cardiaque : Q
    - VES
    - FC
  - Vasculaire : R





Facteurs déterminant la pression artérielle moyenne

# LES MÉCANISMES NERVEUX DU CONTRÔLE

- Le contrôle nerveux de l'activité cardiaque
- Le contrôle nerveux de la vasomotricité
- Les centres nerveux de contrôle
- Les barorécepteurs

# LE CONTRÔLE NERVEUX DE L'ACTIVITÉ CARDIAQUE

- Le contrôle cardio-modérateur parasympathique
- Le contrôle accélérateur sympathique
- Les rôles respectifs des deux systèmes

## Le contrôle cardio-modérateur parasympathique

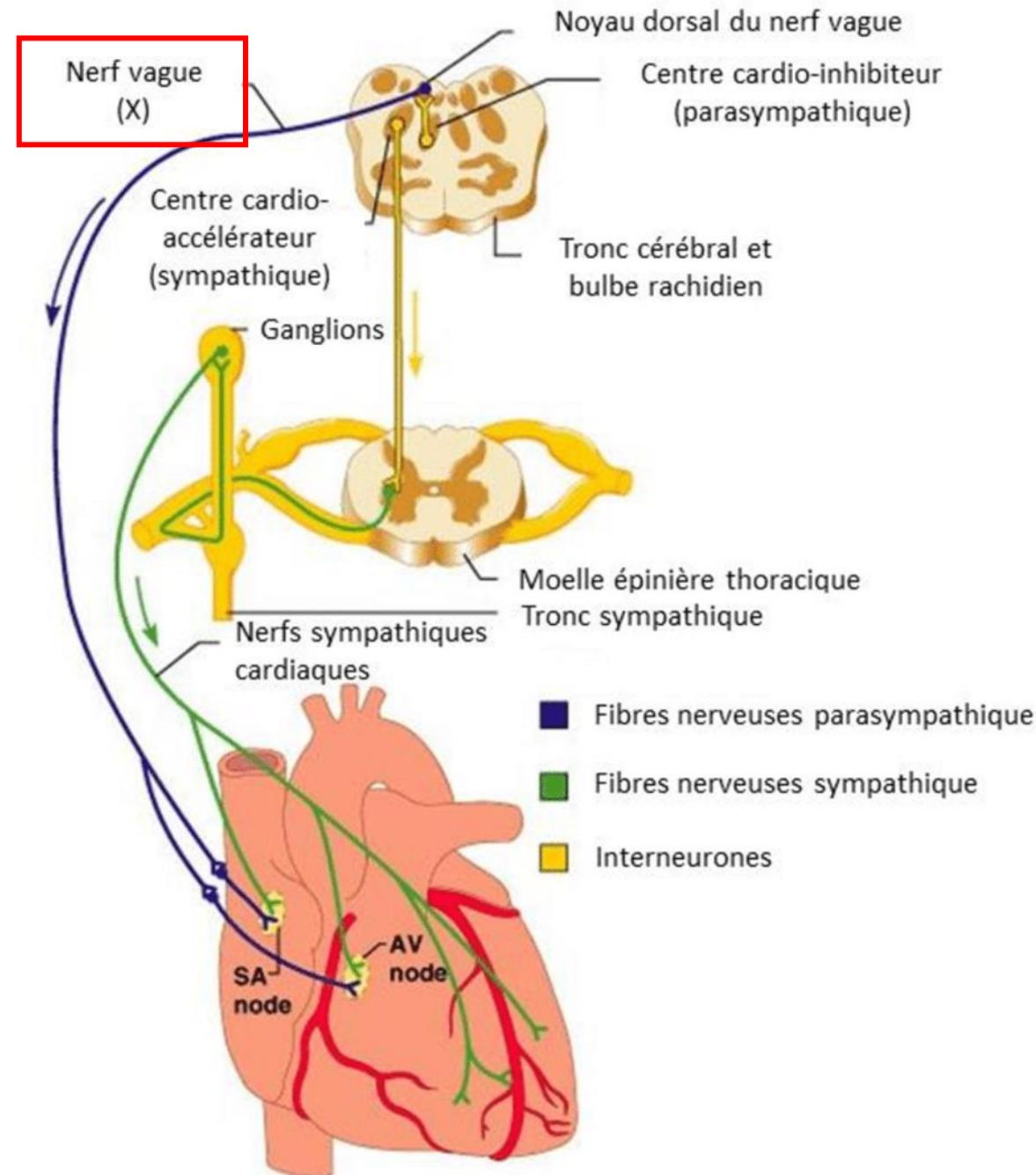
- *Aspects morphologiques*
- *Action des pneumogastriques*

## Aspects morphologiques

Nerfs vagus : X :



- **Terminaison :**
  - Nœud sinusal : vague droit
  - Nœud A-V : vague gauche
  - Myocarde auriculaire
  - Myocarde ventriculaire : dépourvu :+++



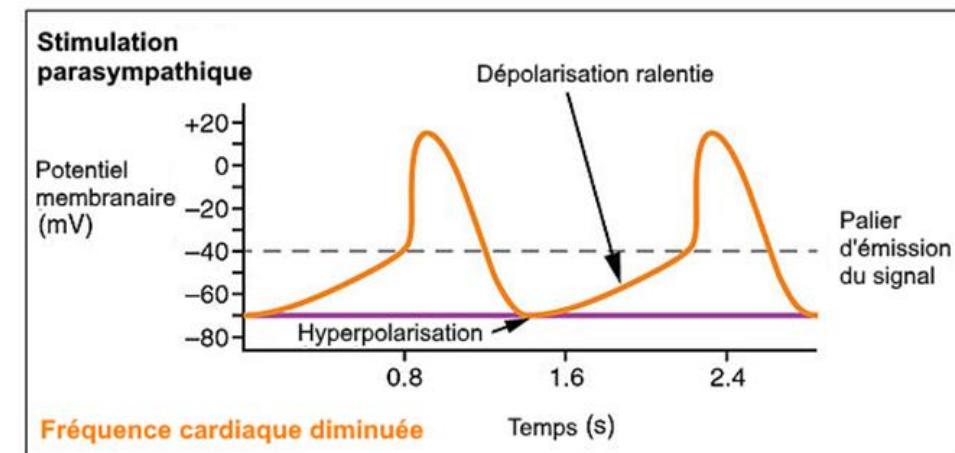
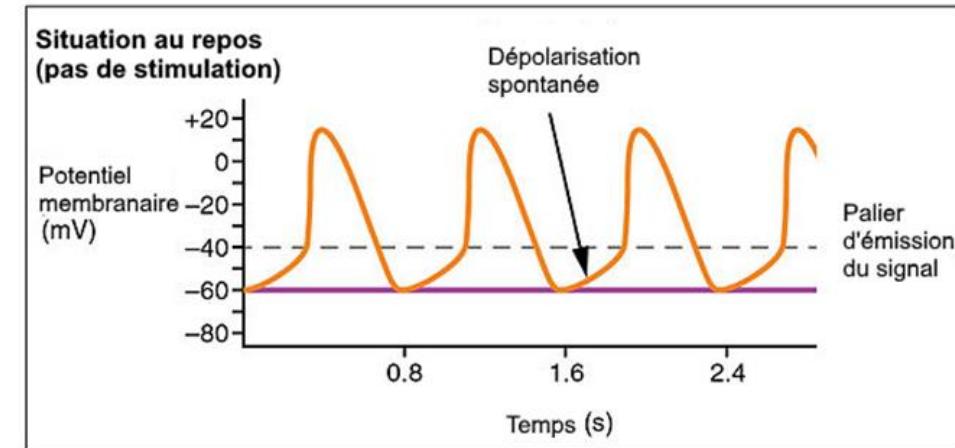
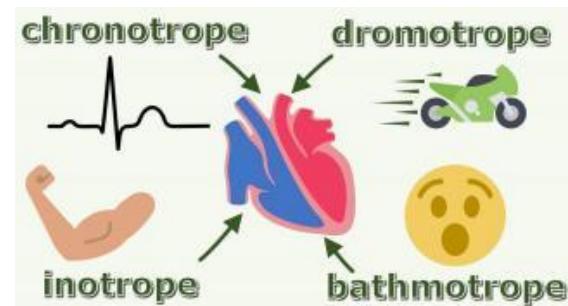
## *Action des nerfs vague (pneumogastriques)*

- **Expérience :**
  - Section d'1 seul nerf vague →
    - pas d'effet notable sur l'activité cardiaque de repos
  - Section bilatérale des vagues →
    - $\uparrow$  FC  $\rightarrow$  120/min
    - Stimulation du bout périphérique d'un nerf vague préalablement sectionné  $\rightarrow$   $\downarrow$  FC
- **→ Conclusion**
  - À l'état normal :  
les nerfs vagues  $\rightarrow$  action frénatrice continue sur l'activité cardiaque  
**Tonus cardio-modérateur**

## Action des vagues (pneumogastriques) :

Actions :

- Chronotrope (-) :  $\downarrow$  FC : (-) du nœud sinusal
- Dromotrope (-) :  $\downarrow$  de la conduction
- Bathmotrope (-) :  $\downarrow$  de l'excitabilité du tissu nodal



## Le contrôle accélérateur sympathique

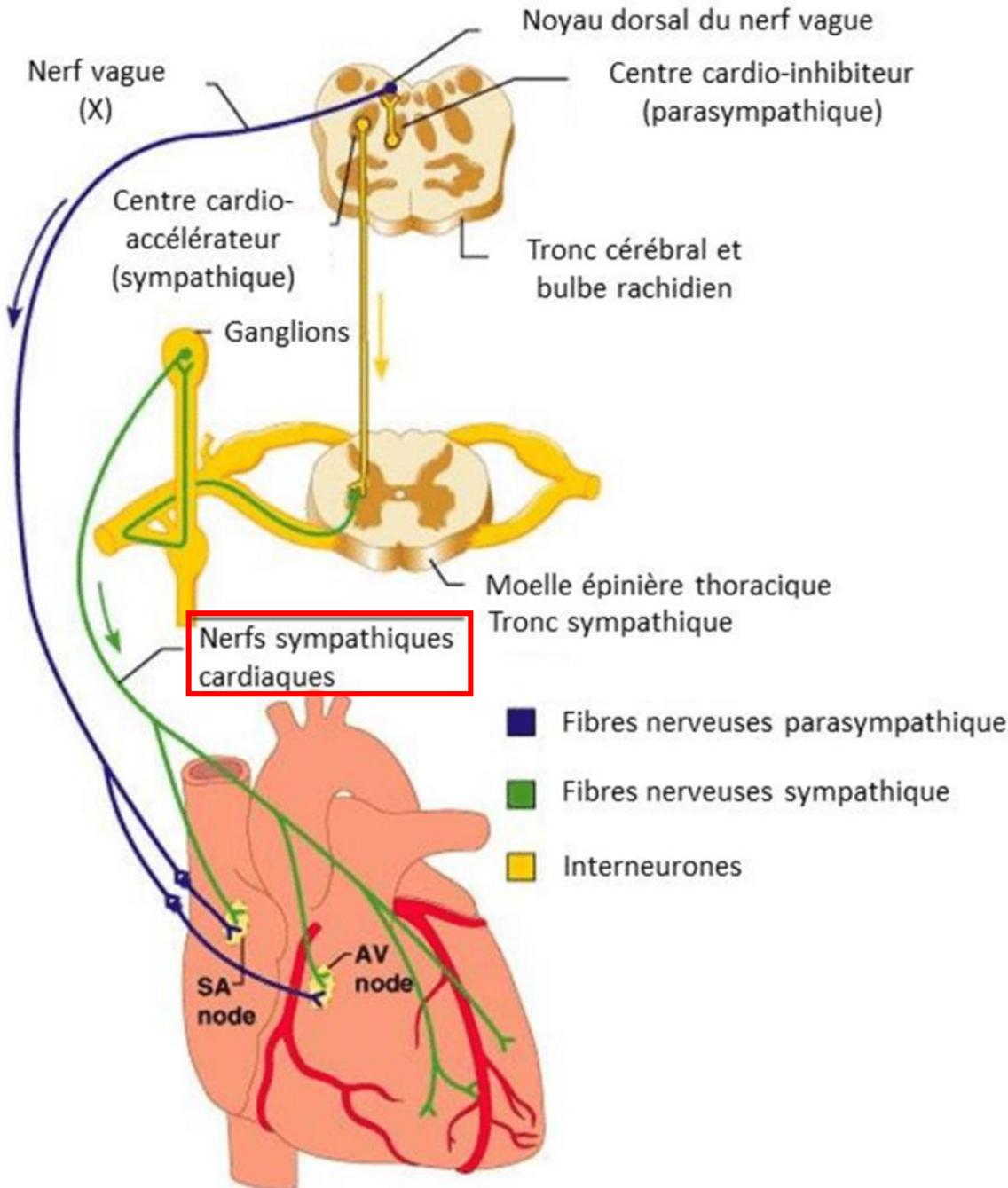
- *Aspects morphologiques*
- *Action du système sympathique*

# Aspects morphologiques

## acétylcholine

## noradrénaline (R $\beta$ )

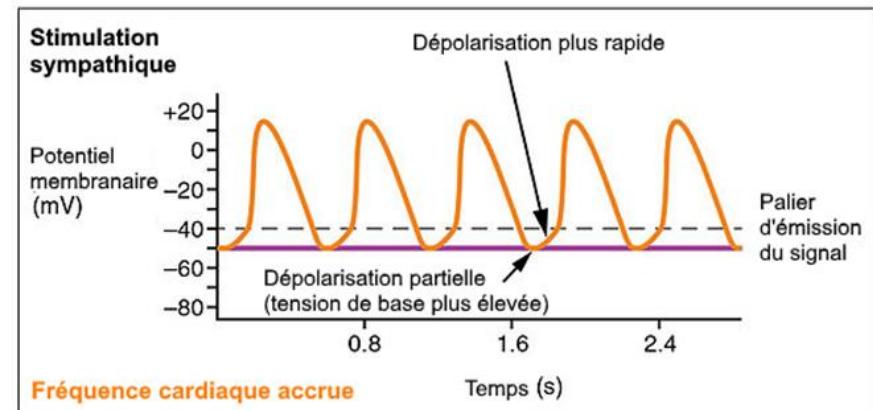
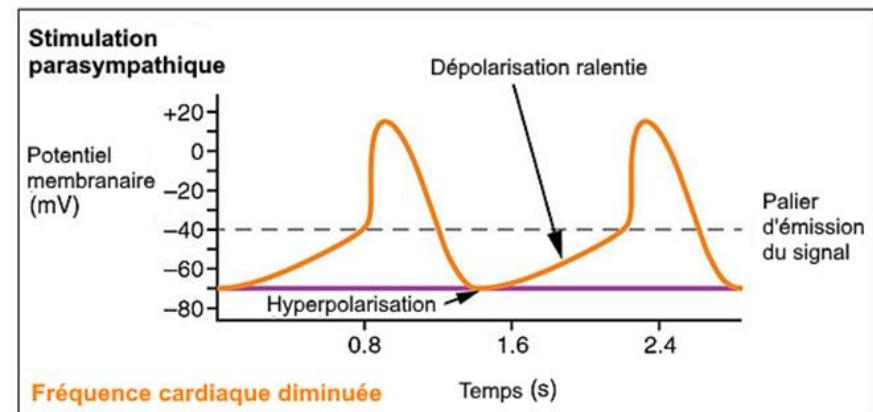
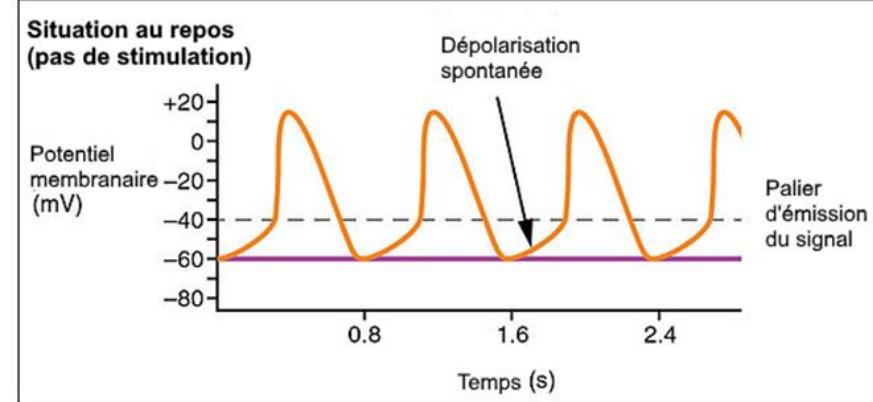
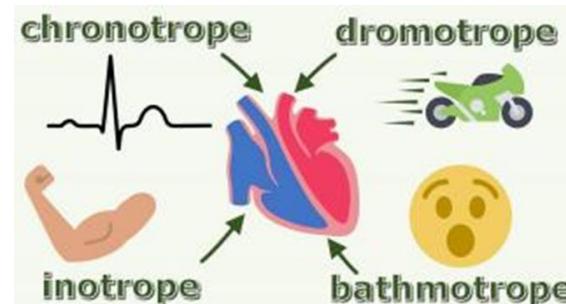
- D1-D4 -----< -----< cœur
- Tractus gg Σ cervicaux cellules nodales,
- intemédio- (gg stellaire) myocardiques
- latéralis



# Action du système sympathique

## Expériences :

- Destruction bilatérale des ganglions stellaires →
  - peu d'effets sur l'activité cardiaque
- B-bloquants →
  - légère  $\downarrow$  FC
- (+) ganglion stellaire → action :
  - Chronotrope (+) :  $\uparrow$  FC  $\rightarrow$  200/min
  - Inotrope (+) :  $\uparrow$  puissance contractile ventriculaire
  - Dromotrope (+) :  $\uparrow$  vitesse de conduction
  - Bathmotrope (+) :  $\uparrow$  excitabilité myocardique



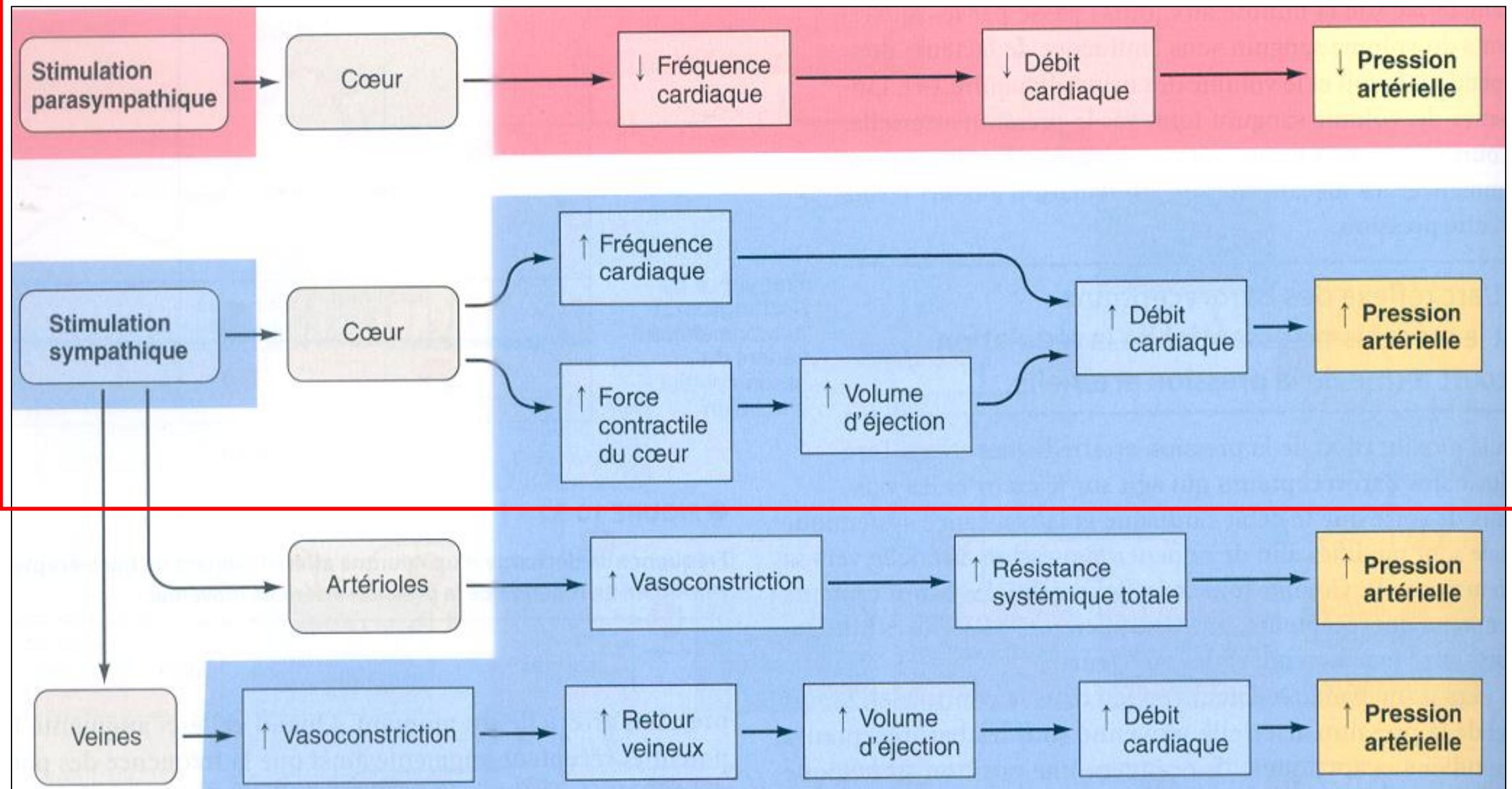
# Les rôles respectifs des deux systèmes

- **Expérience :**
  - A l'état normal : FC  $\approx$  70/min
  - Suppression du contrôle nerveux de l'activité cardiaque →
  - ↑ de l'activité : ↑ FC → 120/min
- **Conclusion :**

Tonus cardio-modérateur vagal > Tonus cardio-accélérateur sympathique

## Les rôles respectifs des deux systèmes

- $\uparrow$  FC :
  - activité paraΣ  $\rightarrow 120/\text{min}$   $\nearrow$   $> 120/\text{min}$
  - activité Σ  $\nearrow$  supprimée  $\nearrow \nearrow$
- $\downarrow$  FC :
  - activité paraΣ  $< 70/\text{min}$   $\nearrow$
  - activité Σ supprimée



## LE CONTRÔLE NERVEUX DE LA VASOMOTRICITÉ

- Le contrôle sympathique vasoconstricteur
- Existe-t-il un contrôle parasympathique de la vasomotricité ?
- Actions nerveuses vasodilatatrices

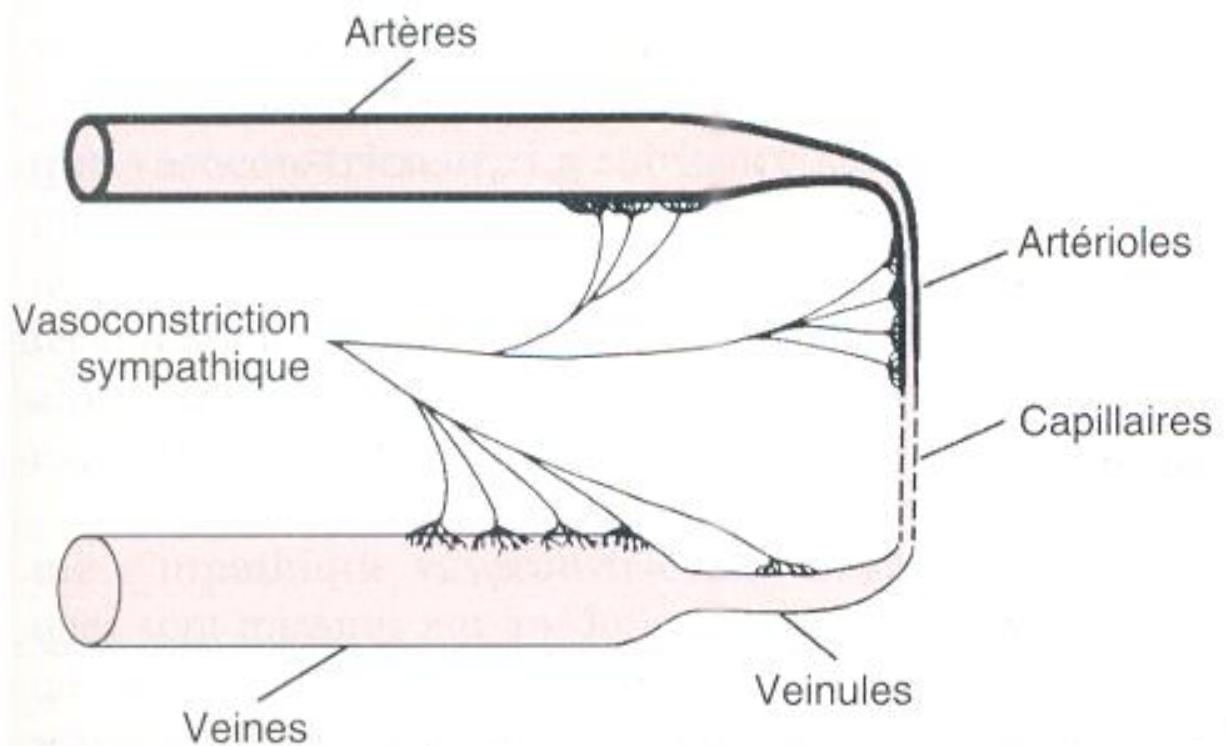
# Le contrôle sympathique vasoconstricteur

- *Aspect morphologiques*
- *Le rôle du système vasoconstricteur*
- *Le tonus propre des fibres lisses vasculaires*
- *L'intervention des glandes médullosurrénales*

## Aspect morphologiques

Innervation  $\Sigma$  :

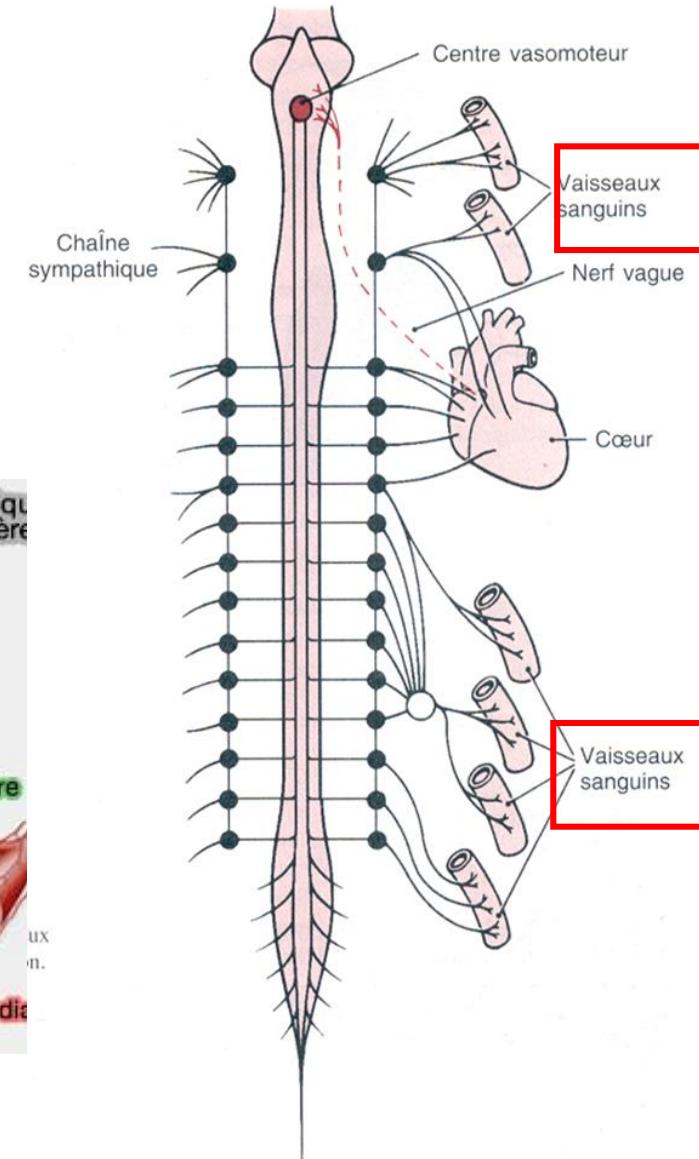
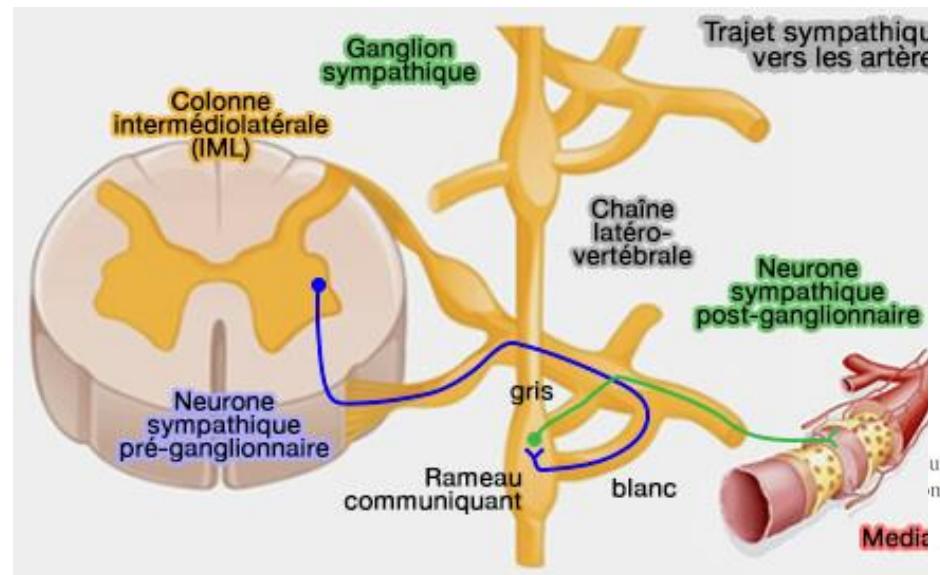
- Petites artères et artéries :+++
- Veines et veinules : aussi
- $\rightarrow$  vasoconstriction
- $\rightarrow$   $\uparrow$  résistances vasculaires
- $R = 8 \eta l / \pi r^4$



Innervation sympathique de la circulation systémique.

# Aspect morphologiques

- Fibres pré-ganglionnaires
  - D1-L3-4 : Tractus intermédiaire-latéralis
  - Racine ant de ME
  - Rameaux communicants blancs
  - gg chaîne  $\Sigma$  paravertébrale
- fibres post-ganglionnaires
  - Trajet variable
  - Médiateur : noradrénaline
  - Récepteurs :
    - $\alpha_1$  : + + +
    - $\beta$  : + / -



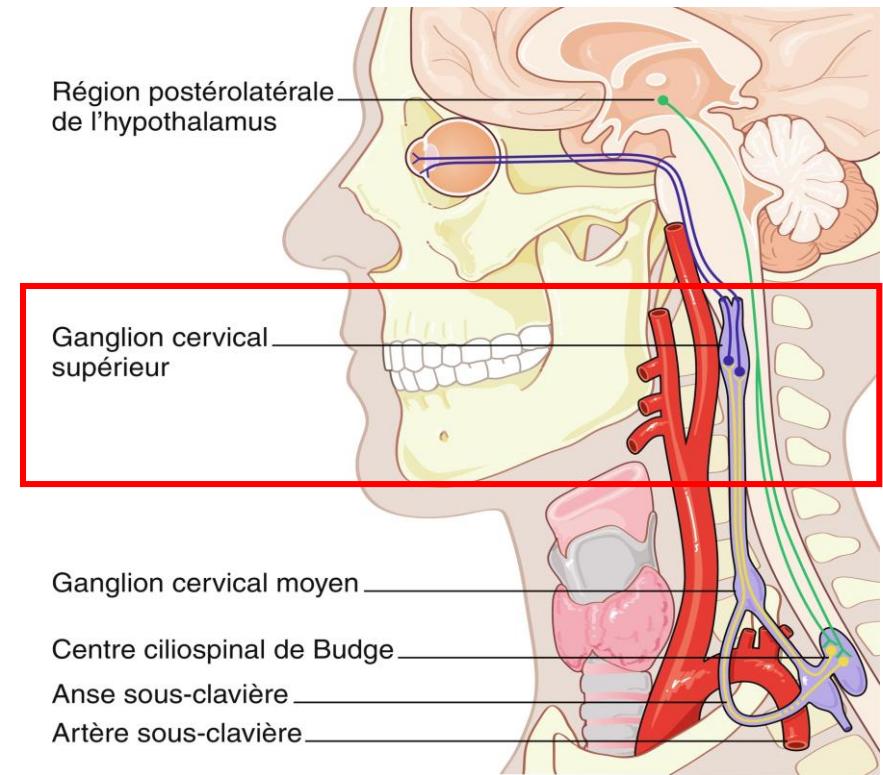
# Le rôle du système vasoconstricteur

- **Expérience de Claude Bernard :**

- Section du sympathique cervical → vasodilatation+++ au niveau du territoire cutané de la face
- (+) du bout périphérique de ces nerfs → vasoconstriction +++ du même territoire

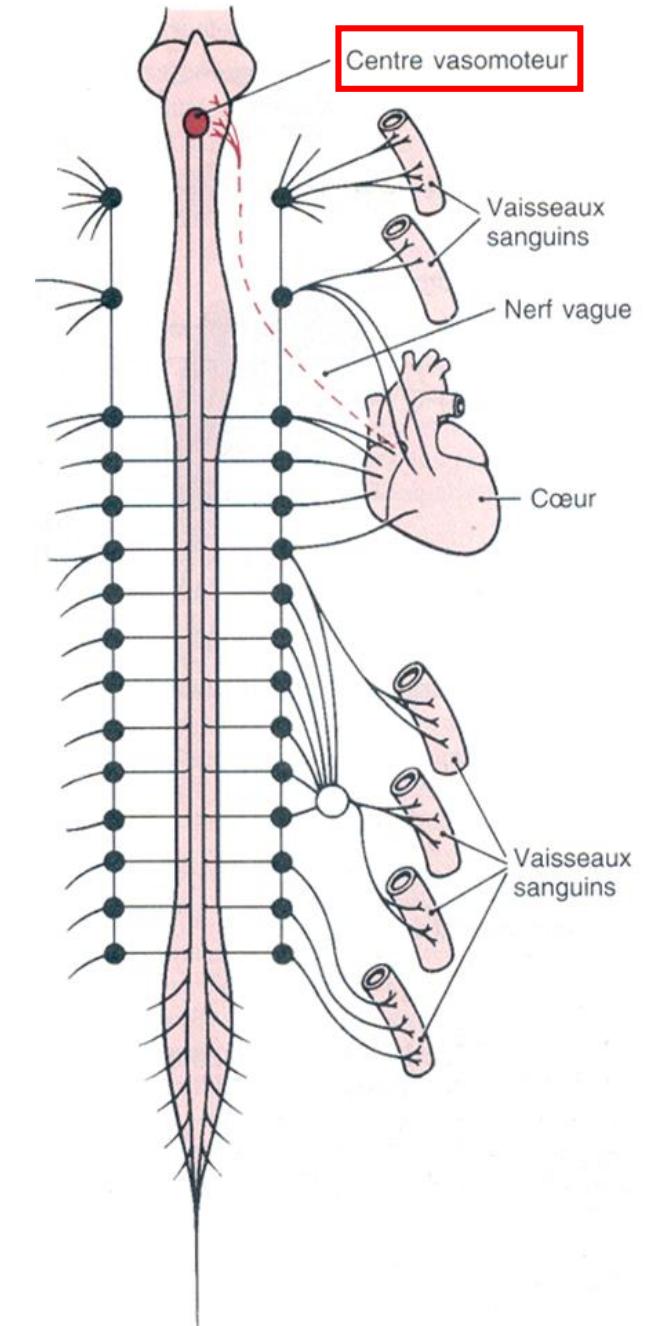
- Conclusion :

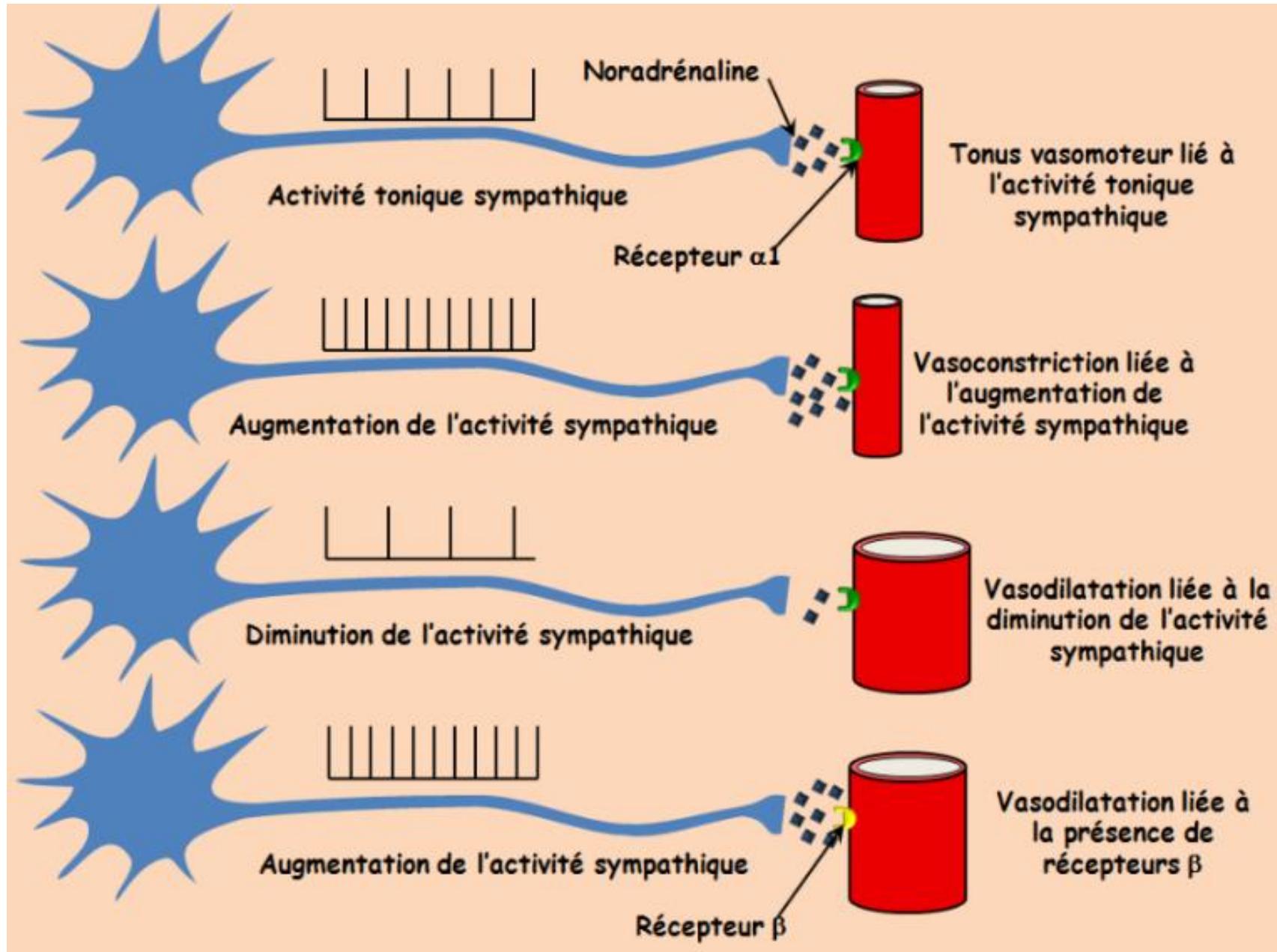
- Système  $\Sigma$  : vasoconstricteur
- Au repos : tonus vasoconstricteur +++
- Suppression du tonus vasoconstricteur → vasodilatation passive



## Le rôle du système vasoconstricteur

- (+)Centre vasoconstricteur :
  - bulbaire :
  - Action généralisée
  - $\uparrow$  résistances vasculaires globales  $\rightarrow$   $\uparrow$  PA
- (-)Centre vasoconstricteur :
  - $\downarrow$  résistances vasculaires globales  $\rightarrow$  vasodilatation généralisée passive  $\rightarrow$   $\downarrow$  PA
- «  $\alpha$ -bloquants » :
  - $\downarrow$  résistances vasculaires globales  $\rightarrow$  vasodilatation généralisée passive  $\rightarrow$   $\downarrow$  PA
  - Démasque l'action des récepteurs  $\beta$  : vasodilatation





## *Le tonus propre des fibres lisses vasculaires*

### **Expériences:**

- Suppression totale de l'innervation  $\Sigma \rightarrow$  vasodilatation
- + administration de drogues vasodilatatrices  $\rightarrow$  vasodilatation plus importante

### **Conclusion :**

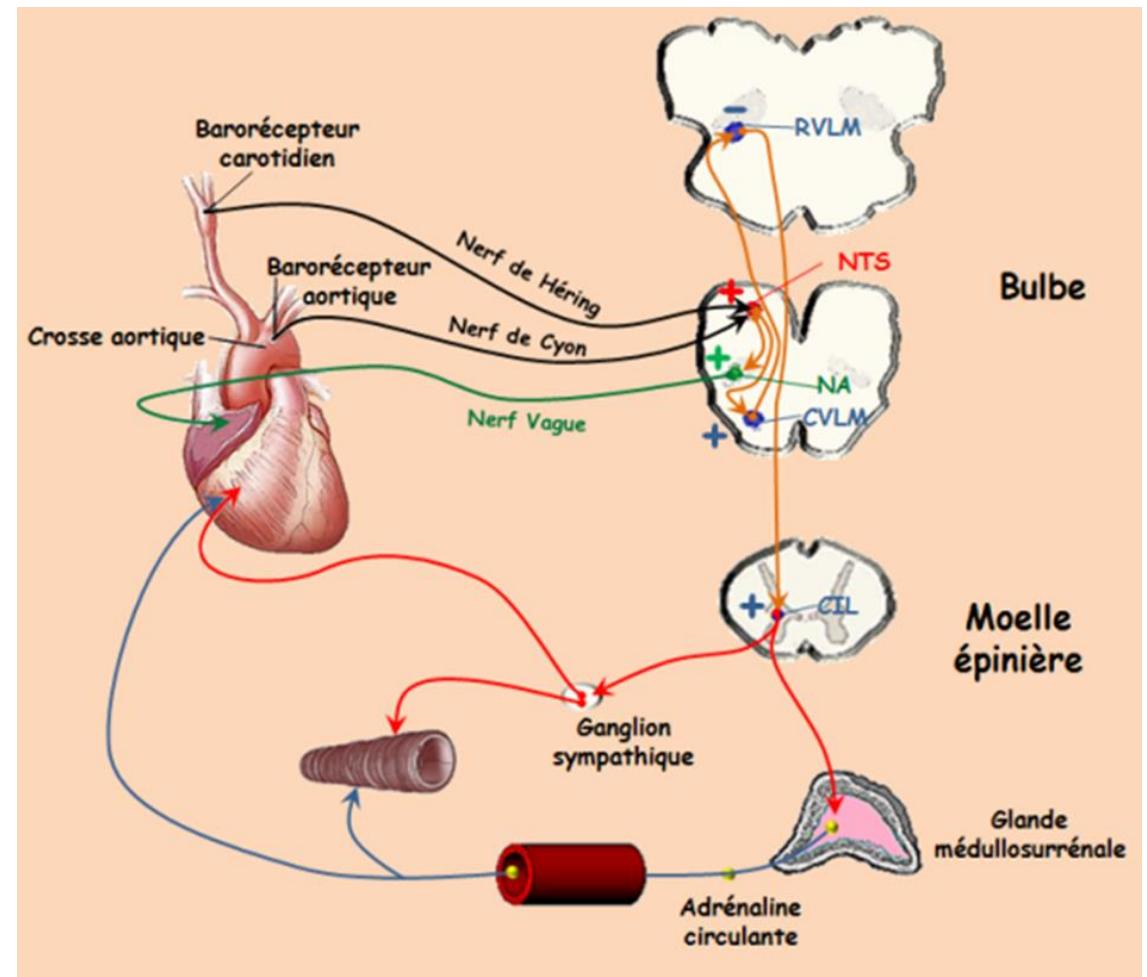
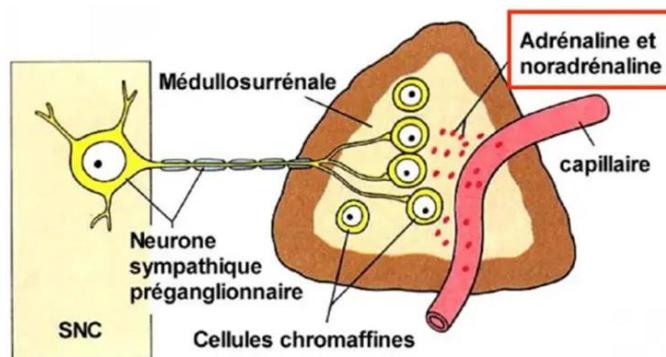
Les muscles lisses vasculaires possèdent un tonus propre : Tonus myogène

- **Tonus myogène:**

- Artères + veines
- Artéries :+++
- $\nearrow$  quand la paroi vasculaire est étirée

# L'intervention des glandes médullosurrénales

- (+) système vasoconstricteur
  - → (+) des glandes médullo-surrénales
  - → sécrétion d'adrénaline et noradrénaline
- Adrénaline →
  - action modérée sur les récepteurs  $\alpha$
- Noradrénaline →
  - action +++ sur les récepteurs  $\alpha$
  - Sur tous les vaisseaux



# Existe-t-il un contrôle parasympathique de la vasomotricité ?

- Il n'existe pas de système parasympathique vasodilatateur généralisé
- Expérience :
  - (+) du bout périphérique de la corde du tympanique qui innerve les glandes sub-linguales et sous-maxillaires →
    - Sécrétion salivaire
    - Intense vasodilatation localisée à ces territoires
- Conclusion : Hypothèses:
  - Existence de système parasympathique vasodilatateur localisé
  - (+) des glandes salivaires → libération dans le sang de substances vasodilatatriques : kinines

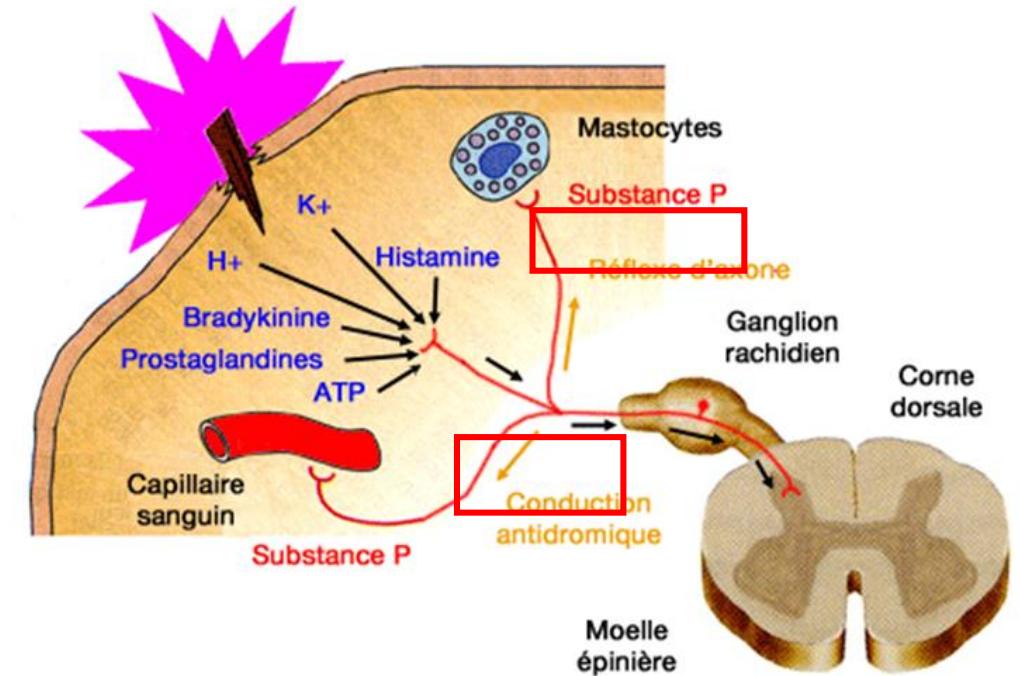
## Actions nerveuses vasodilatatrices

35

- *Les fibres vasodilatatrices postérieures*
- *Les nerfs vasodilatateurs musculaires*

## Les fibres vasodilatatriques postérieures

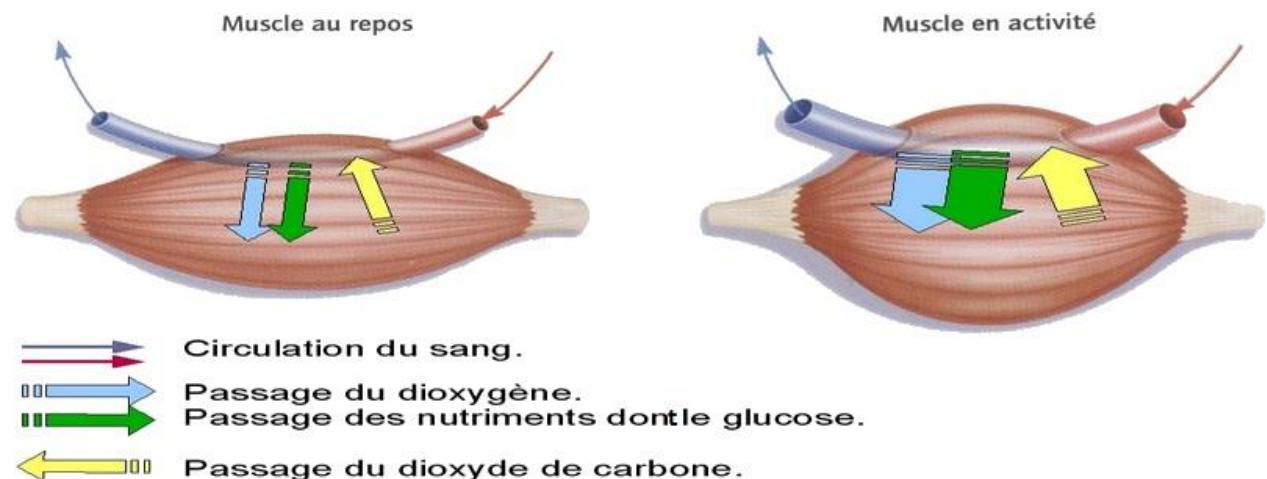
- Dans les racines post de la ME
- Conduction rétrograde : antidromique
- Réflexe d'axone
- Vasodilatation localisée à un territoire donné
- Affecte la circulation cutanée
- Rôle peu ++ dans la régulation de base de l'activité cardio-vasculaire



Reflexe d'axone

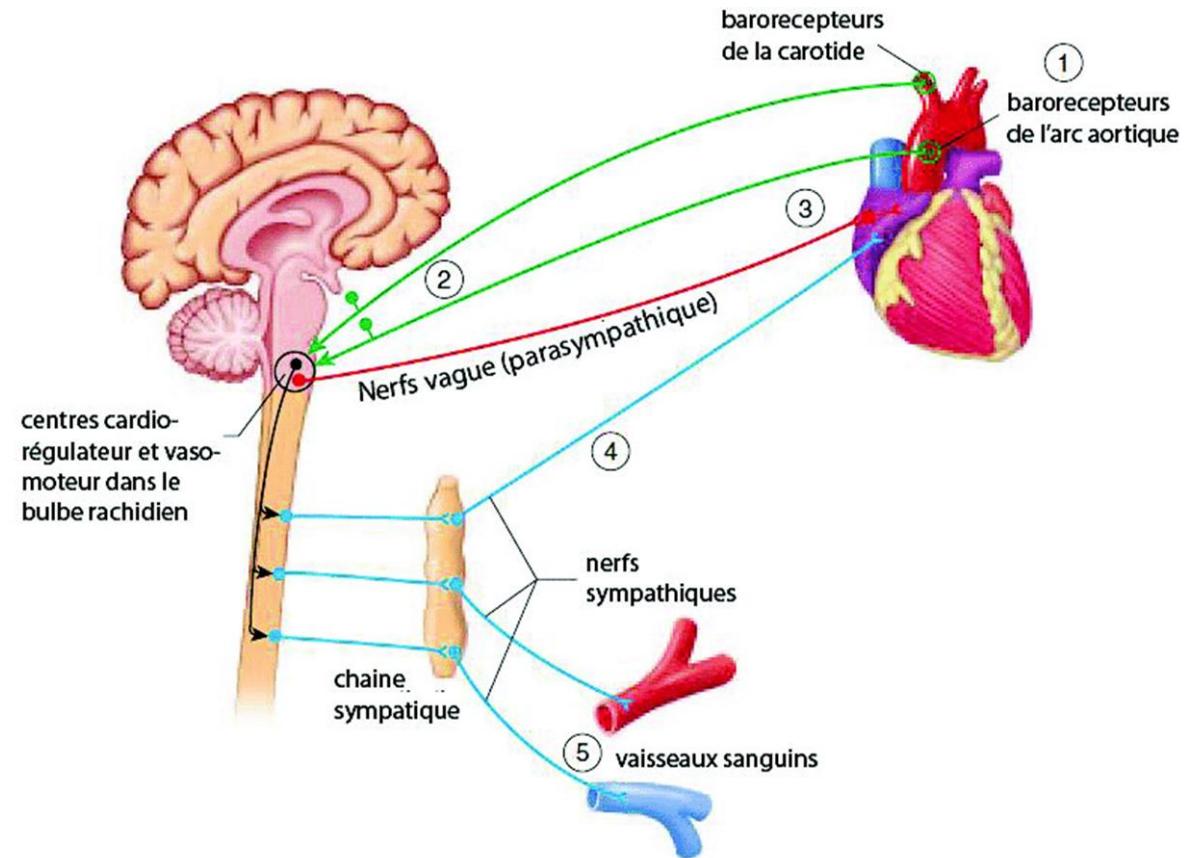
## *Les nerfs vasodilatateurs musculaires*

- Fibres  $\Sigma$  vaso-dilatatrices
- Contrôle:
  - Non pas par les centres  $\Sigma$  bulbares
  - Mais, par le cortex moteur (  $\rightarrow$  hypothalamus)
- Médiateur : acétylcholine
- Rôle : adaptation à l'effort



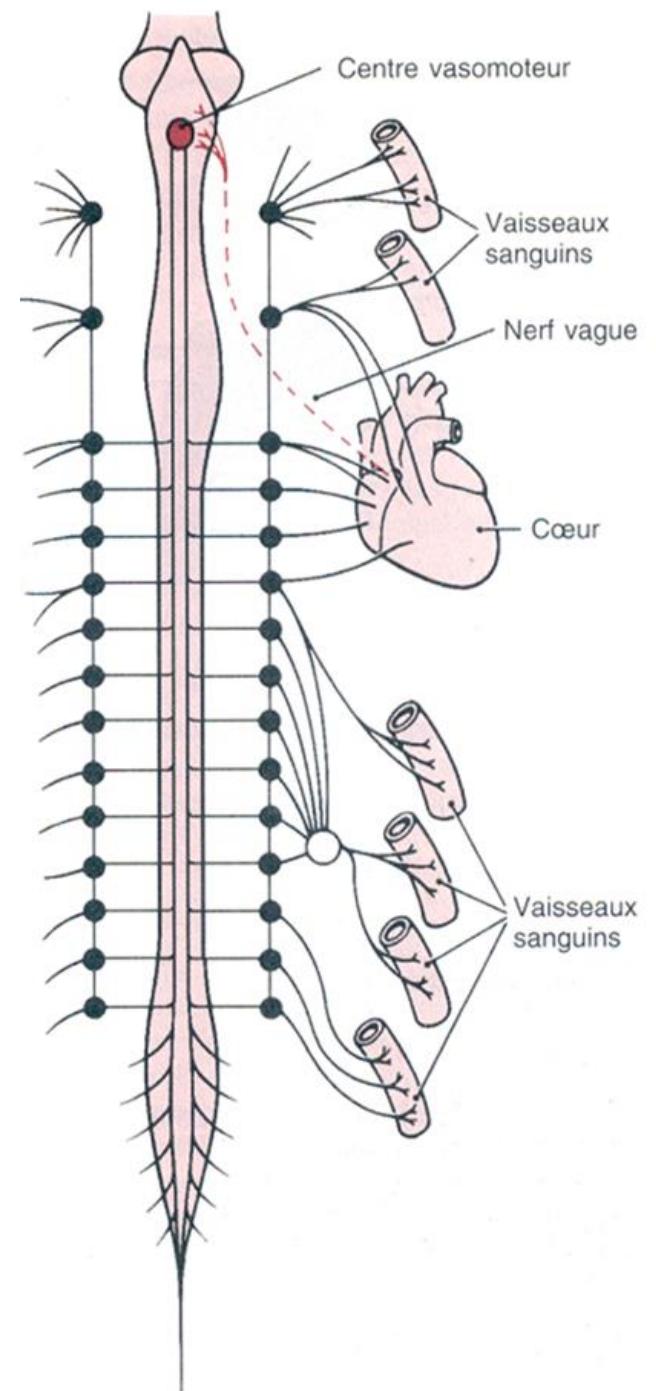
# LES CENTRES NERVEUX DE CONTRÔLE

- Les centres médullaires
- Les centres bulbaires
- Les centres supra-bulbaires
- Les barorécepteurs



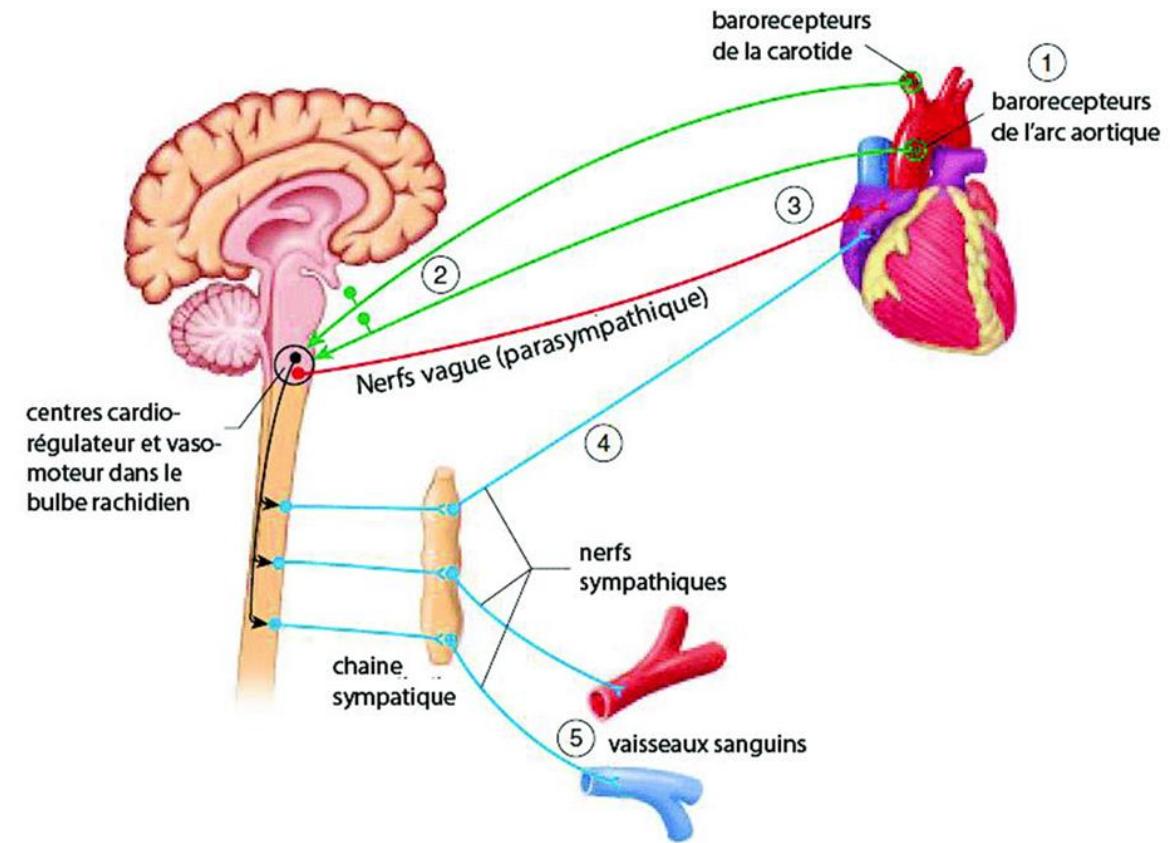
# Les centres médullaires

- (+) tractus intérmedio-latéralis de ME →
  - ↑ FC (D1-D4)
  - Vasoconstriction localisée
- (+) de nerfs sensitifs →
  - réponse médullaire localisée
- Section haute de ME →
  - Laisse persister un tonus vasoconstricteur notable
- Rôle de relais



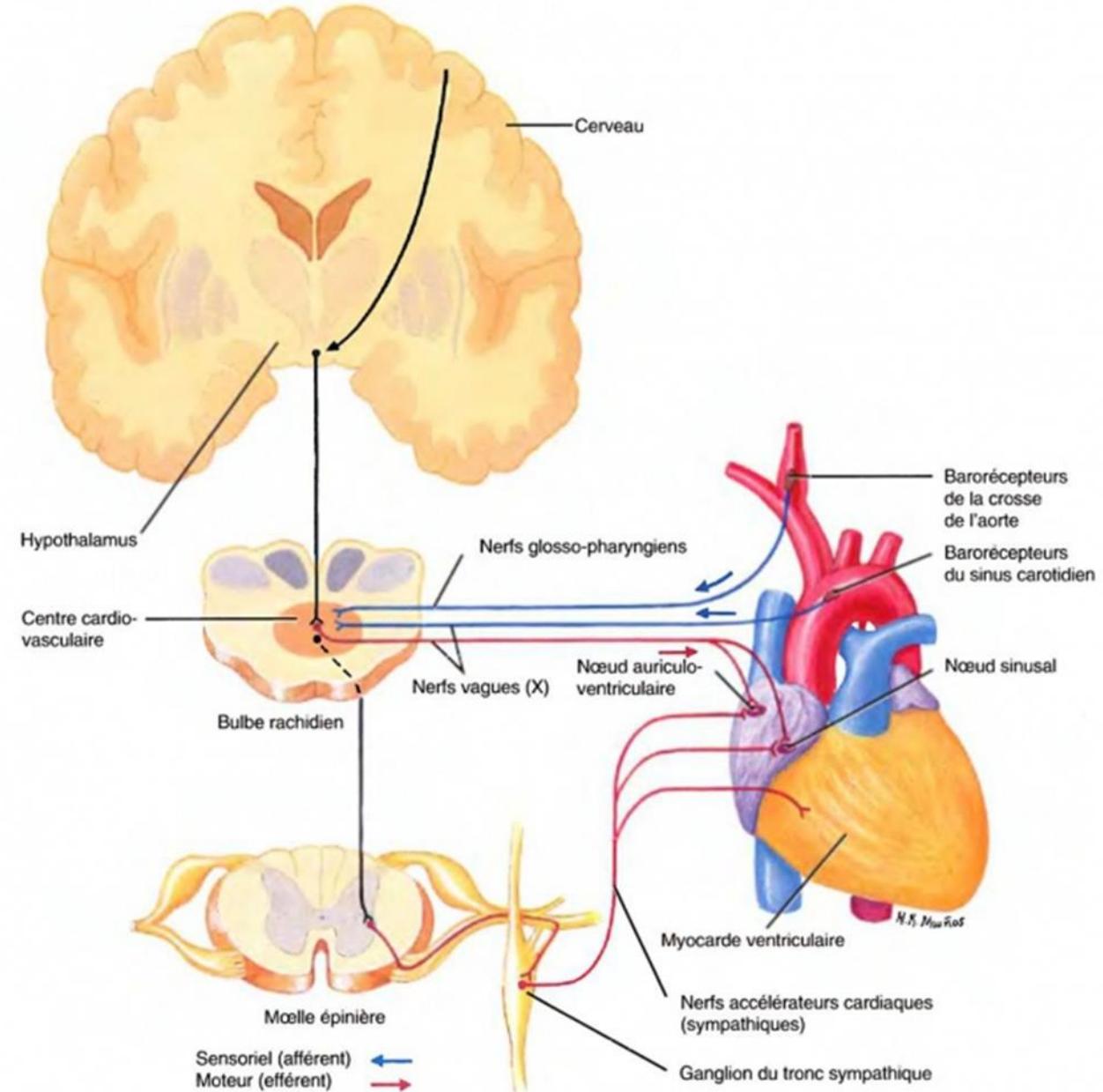
# Les centres bulbaires

- Les centres cardio-modérateurs
  - Noyaux d'origine des nerfs vagus
- Les centres cardio-accélérateurs
  - → actions  $\Sigma$  cardio-accélératrices
- Les centres vasoconstricteurs
  - → tractus intermédiario-latéralis médullaire
  - (+) →
    - vasoconstriction quasi-généralisée
    - (+) des glandes médullo-surrénales
  - (-) → vasodilatation quasi-généralisée



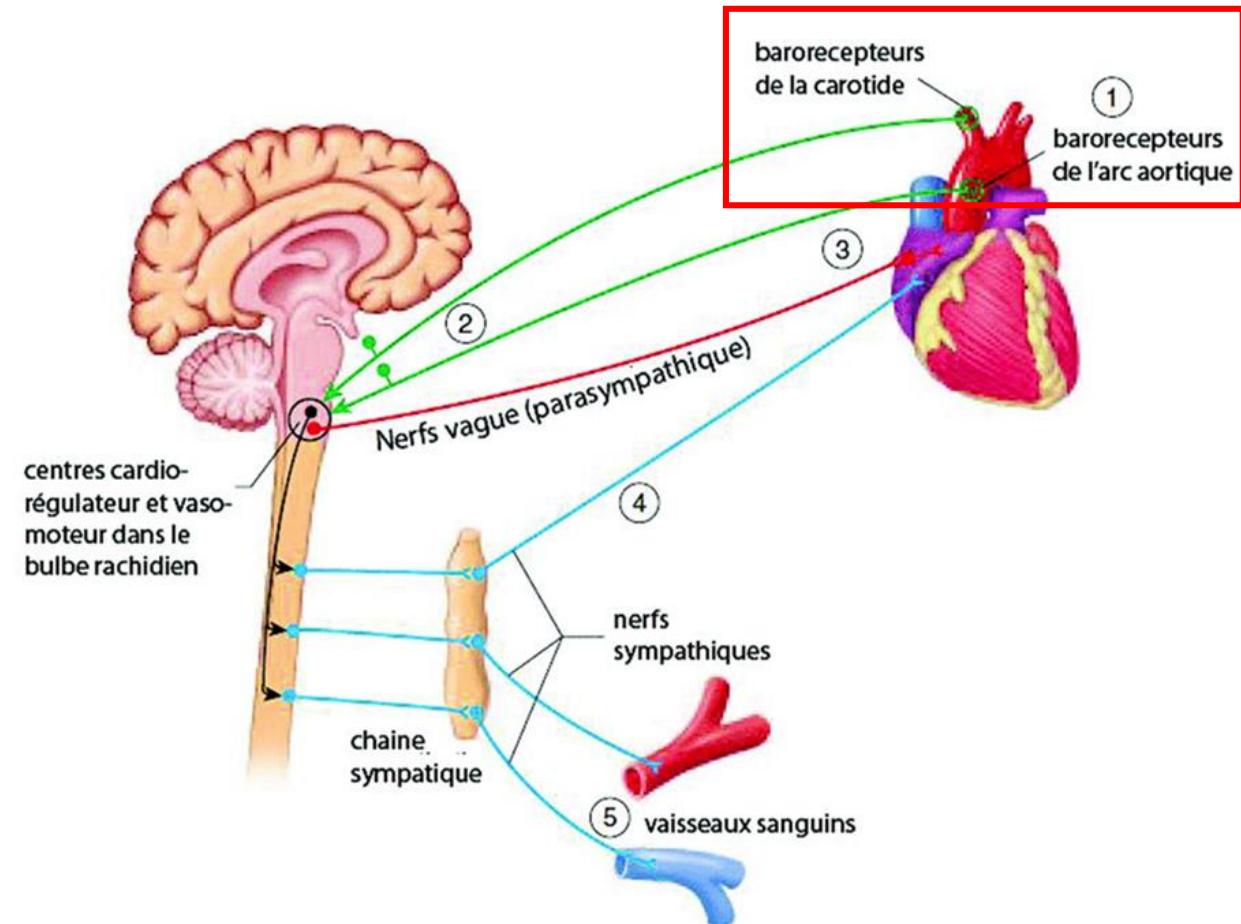
# Les centres supra-bulbaires

- Actions sur l'ensemble de la fonction cardio-vasculaire
- Modifier l'action des centres bulbo-protubérantiels
- Action directe sur les fibres vasodilatatriques musculaires
- Localisation :
  - Cortex cérébral
  - Rhinencéphale
  - hypothalamus



# Les barorécepteurs

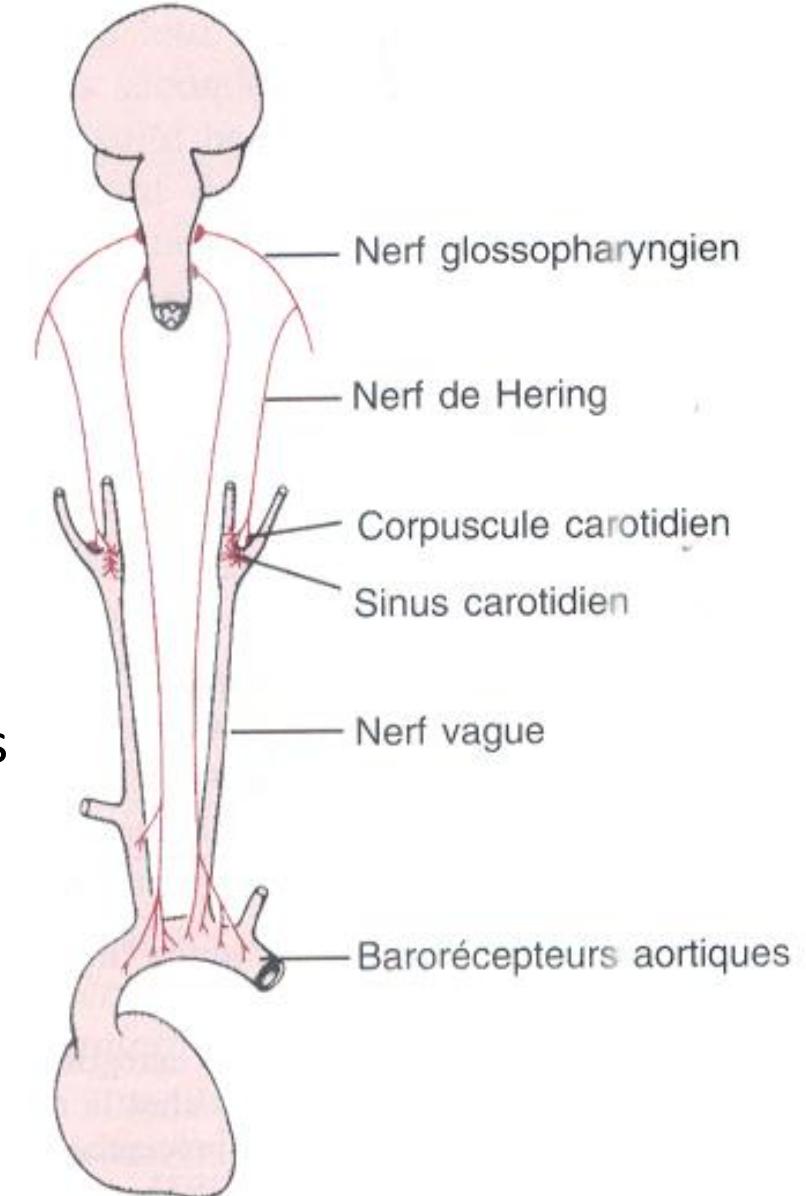
- Localisation anatomique
- Mode d'action des barorécepteurs
- Rôles respectifs des diverses régions barosensibles
- Mise en jeu de la barosensibilité



# Localisation anatomique

Dans les artères systémiques :

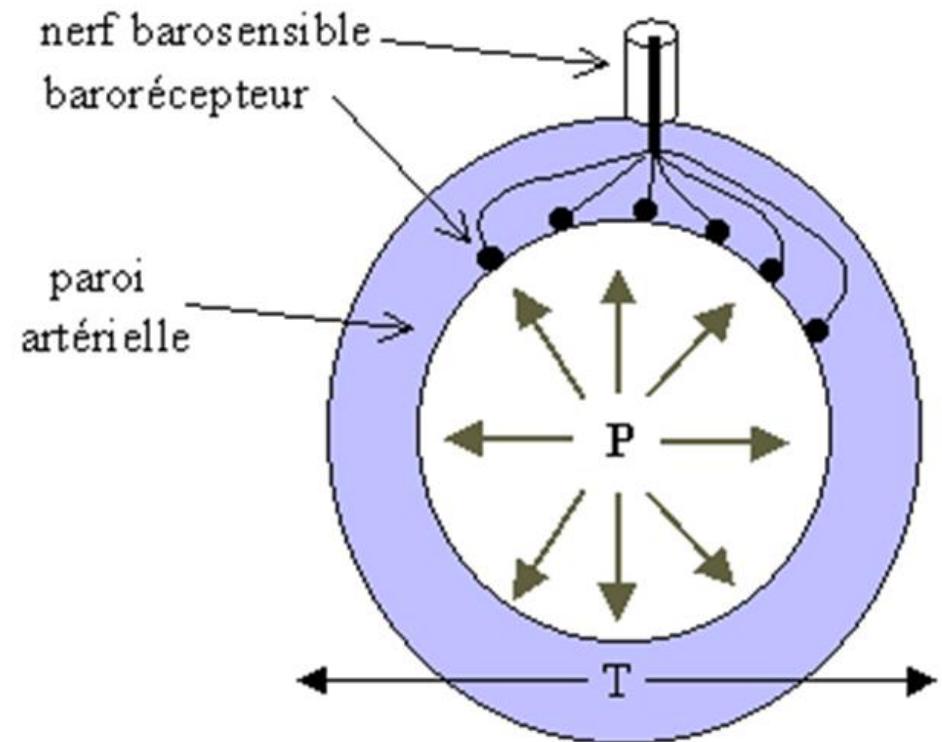
- Crosse de l'aorte → N de Cyon → N Vagues
- Les 2 sinus carotidiens → N de Héring → N glosso-pharyngiens



Le système barorécepteur.

# Mode d'action des barorécepteurs

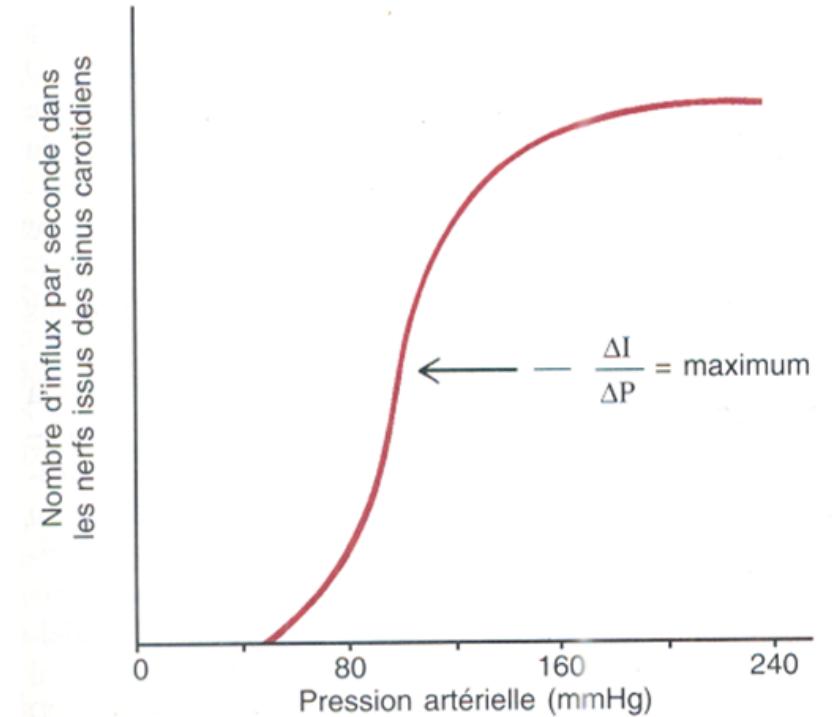
- Baro-récepteurs :
- Sensibles à leur étirement : tension :
- Relation linéaire entre tension et pression
- Loi de Laplace :  $T = P \times r/e$



# Mode d'action des barorécepteurs

Barorécepteurs :

- PA m ≈ 100 mmHg →
  - émission stable de PA : qlq décharges/s
- PA m ↓ → ↓ fréquence de PA
- PA m ↑ → ↑ fréquence de PA
- Relation pression –fréquence de PA :
  - Non linéaire
  - Limite supérieure de fréquence de PA
  - Pente maximale quand PA légèrement < Pam habituelle : sensibilité plus grande de barorécepteurs

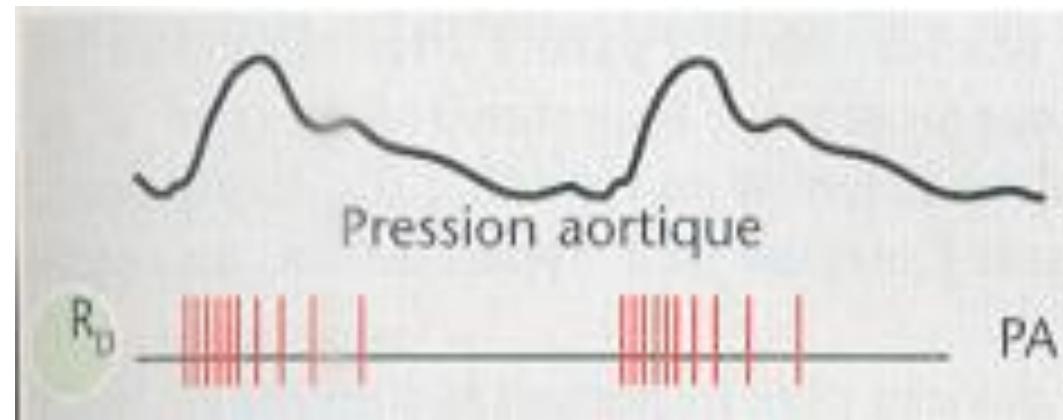


Réponse des barorécepteurs à différents niveaux de pression artérielle.

→ La régulation est précise si les variations de PA ne sont pas élevées

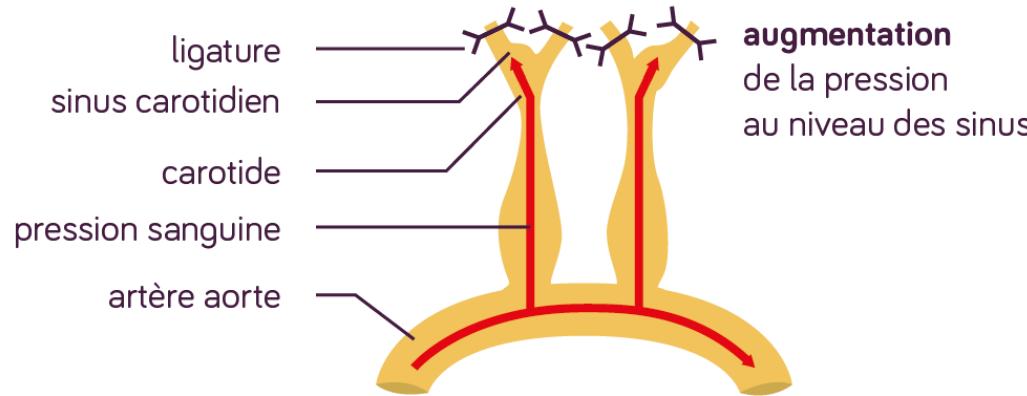
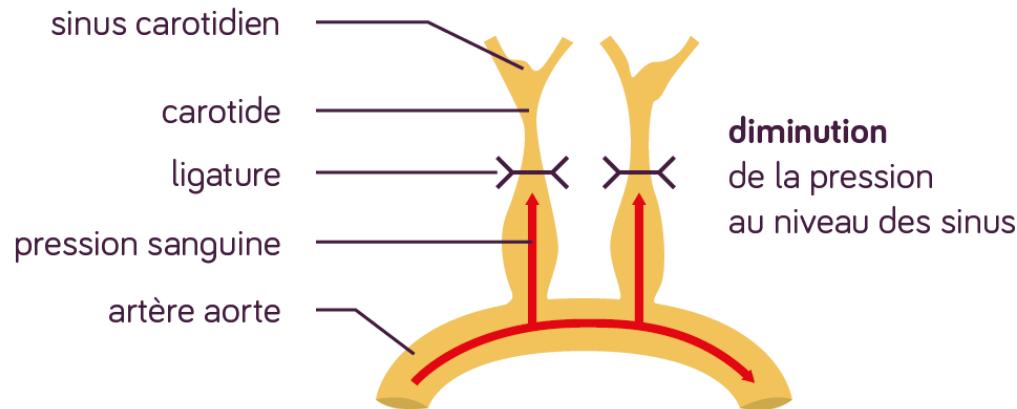
# Mode d'action des barorécepteurs

- La PA : varie en fonction du cycle cardiaque entre 70 et 120mmHg
- → fréquence des décharges au niveau des nerfs barosensibles : varie aussi :
  - Fluctuation peu marquée
  - Adaptation lente

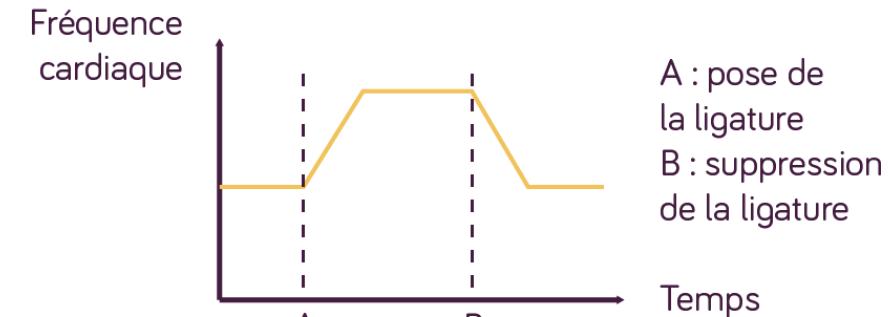


- Altération de la paroi carotidienne → modification des réponses des barorécepteurs

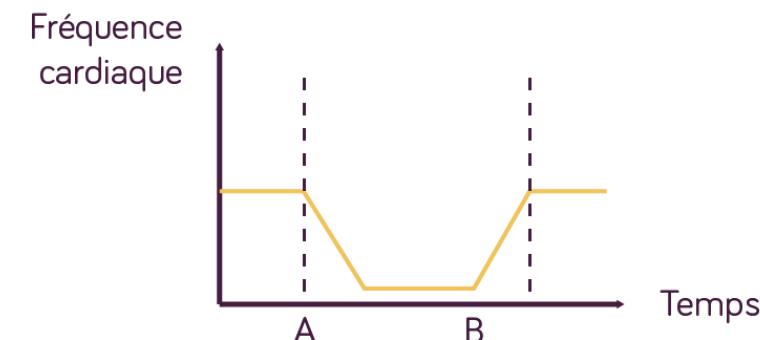
## EXPÉRIENCE DU DOCTEUR HÉRING SUR LES CAROTIDES D'UN ANIMAL (1)



## EXPÉRIENCE DU DOCTEUR HÉRING SUR LES CAROTIDES D'UN ANIMAL (2)



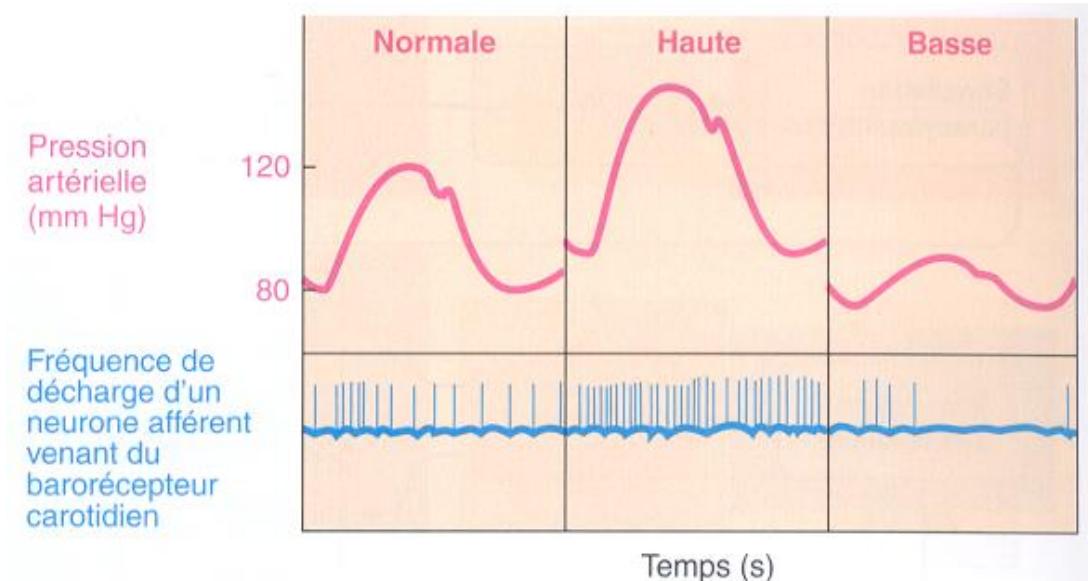
DANS LE CAS DE LA LIGATURE BASSE



DANS LE CAS DE LA LIGATURE HAUTE

# Rôles respectifs des diverses régions barosensibles

Barorécepteurs	sinus carotidiens	aortiques
Sensibilité maximale	60 mmHg	95 mmHg
Fréquence maximale de décharge	120-150 mmHg	150-180 mmHg



Fréquence de décharge d'un neurone afférent venant du barorécepteur carotidien en fonction de la pression artérielle moyenne

# Mise en jeu de la barosensibilité

↙ de la pression artérielle moyenne



↙ de l'étirement des barorécepteurs des sinus carotidiens



↙ de la décharge dans les nerfs du sinus carotidien



↙ des influx parasympathiques cardiaques



↗ FC



↗ des influx sympathiques cardiaques et vasculaires



↗ FC

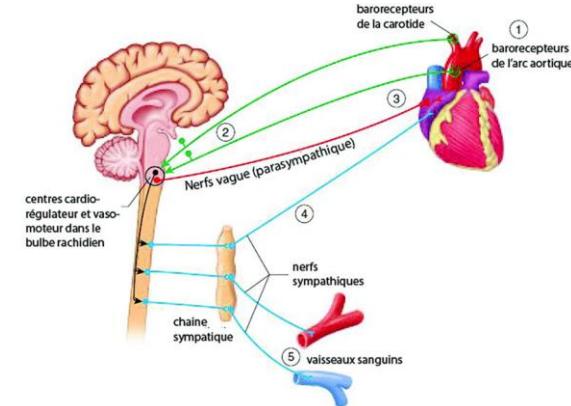
↗ de la contractilité

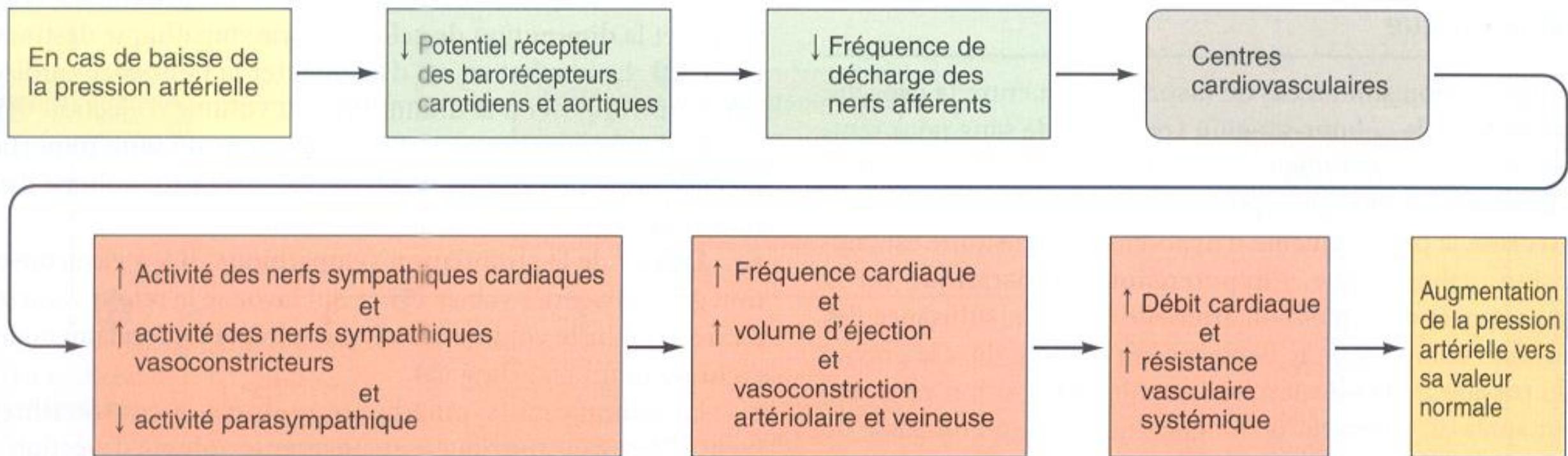
↗ de la constriction artériolaire

↗ de la constriction veineuse

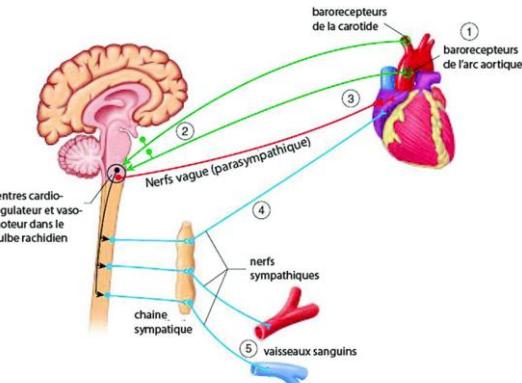


↗ de la pression artérielle moyenne





# Mise en jeu de la barosensibilité



↗ de la pression artérielle moyenne



↗ de l'étirement des barorécepteurs des sinus carotidiens



↗ de la décharge dans les nerfs du sinus carotidien



↗ des influx parasympathiques cardiaques



↘ FC



↘ des influx sympathiques cardiaques et vasculaires



↘ FC

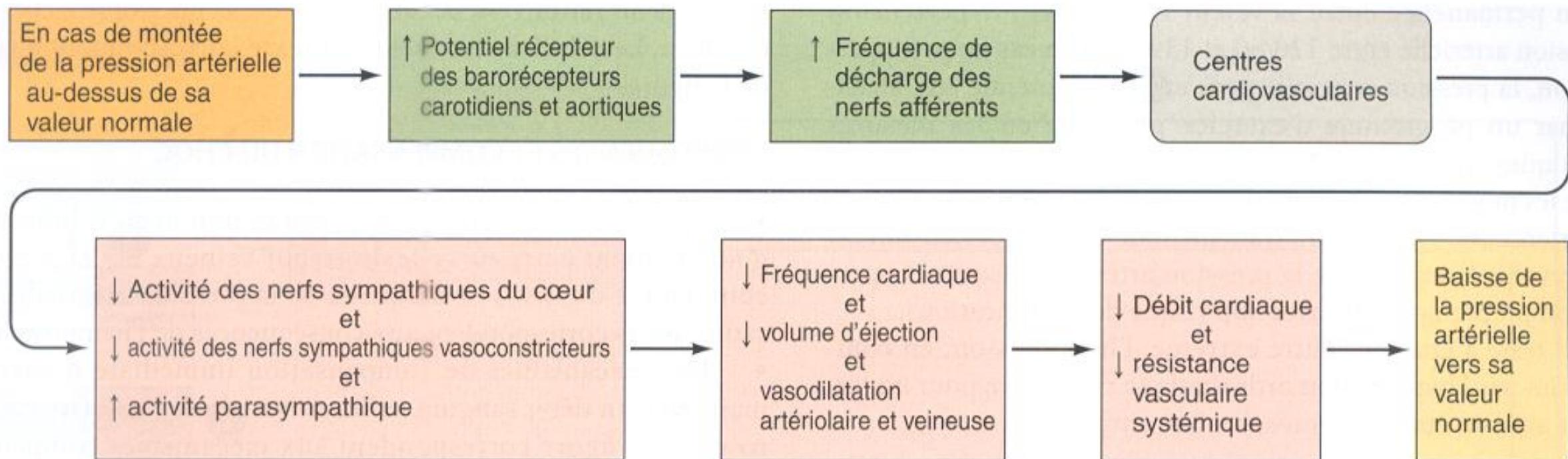
↘ de la contractilité

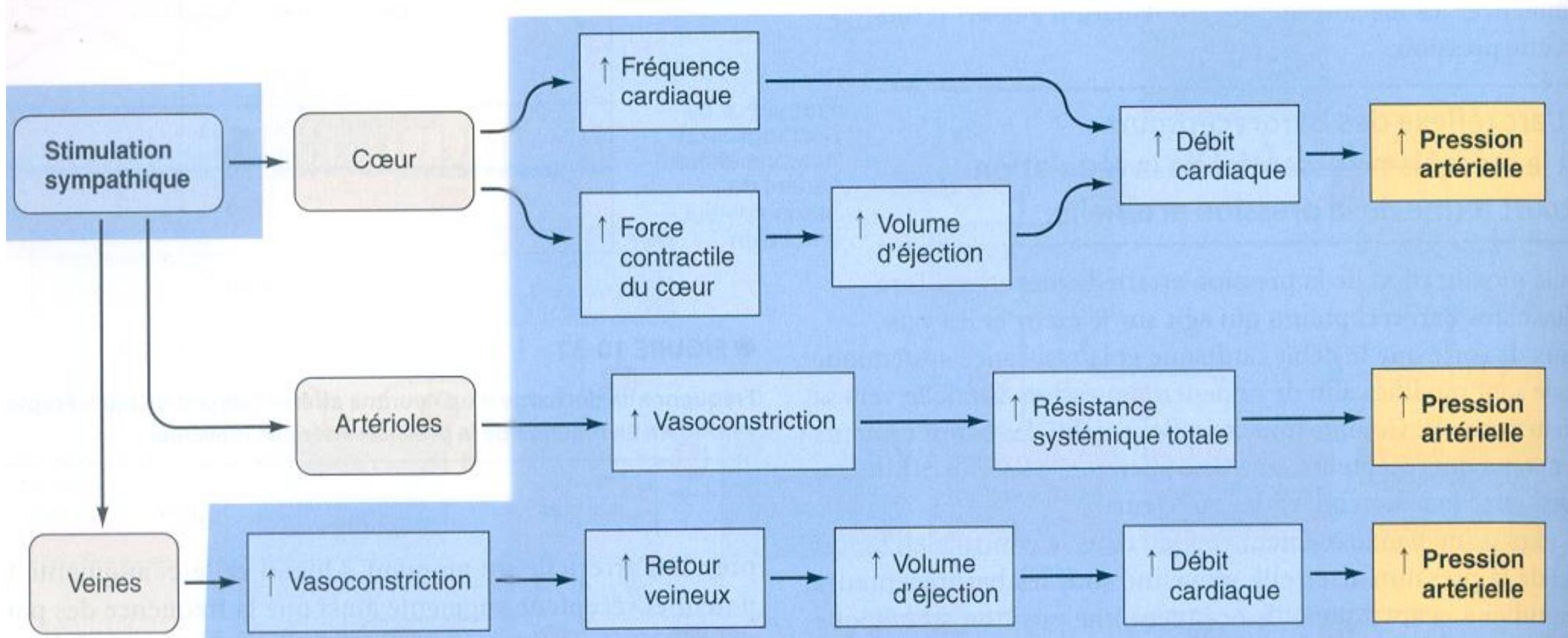
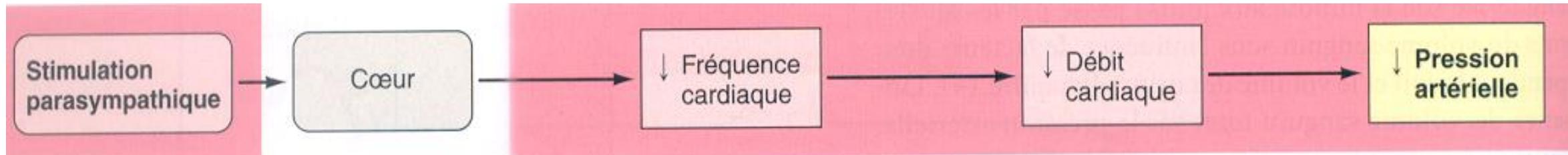
↘ de la constriction artériolaire

↘ de la constriction veineuse



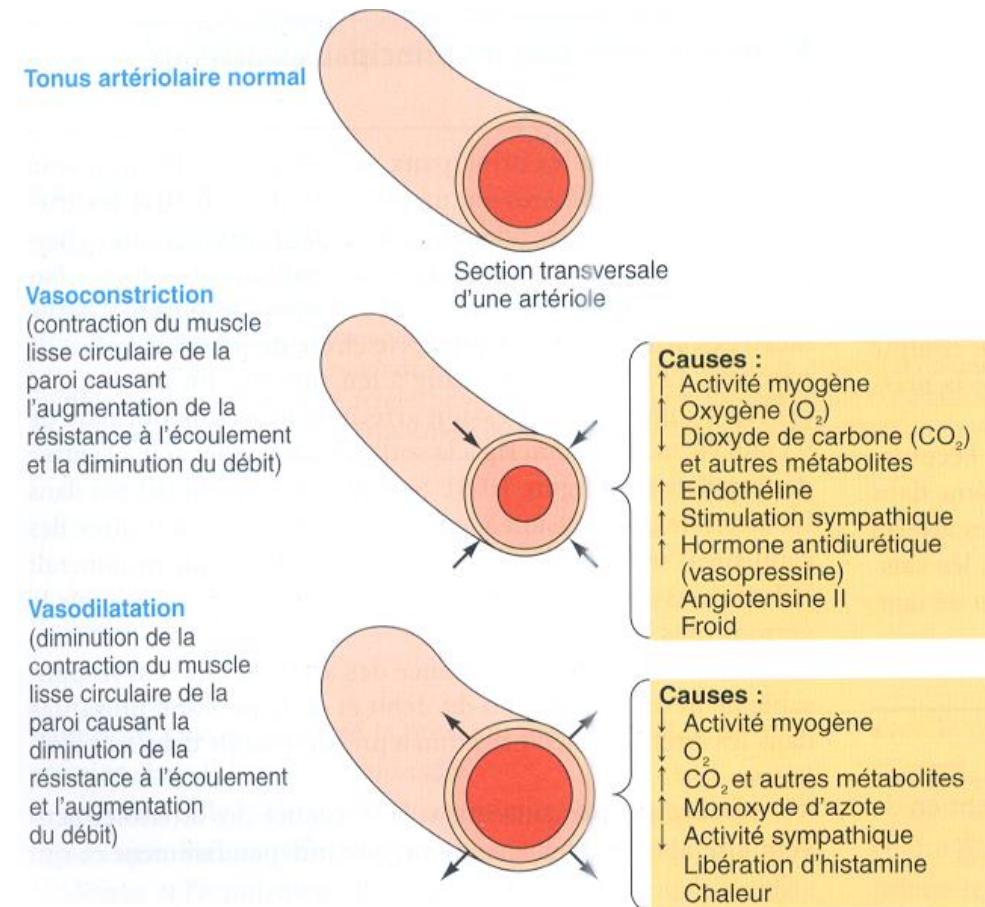
↘ de la pression artérielle moyenne

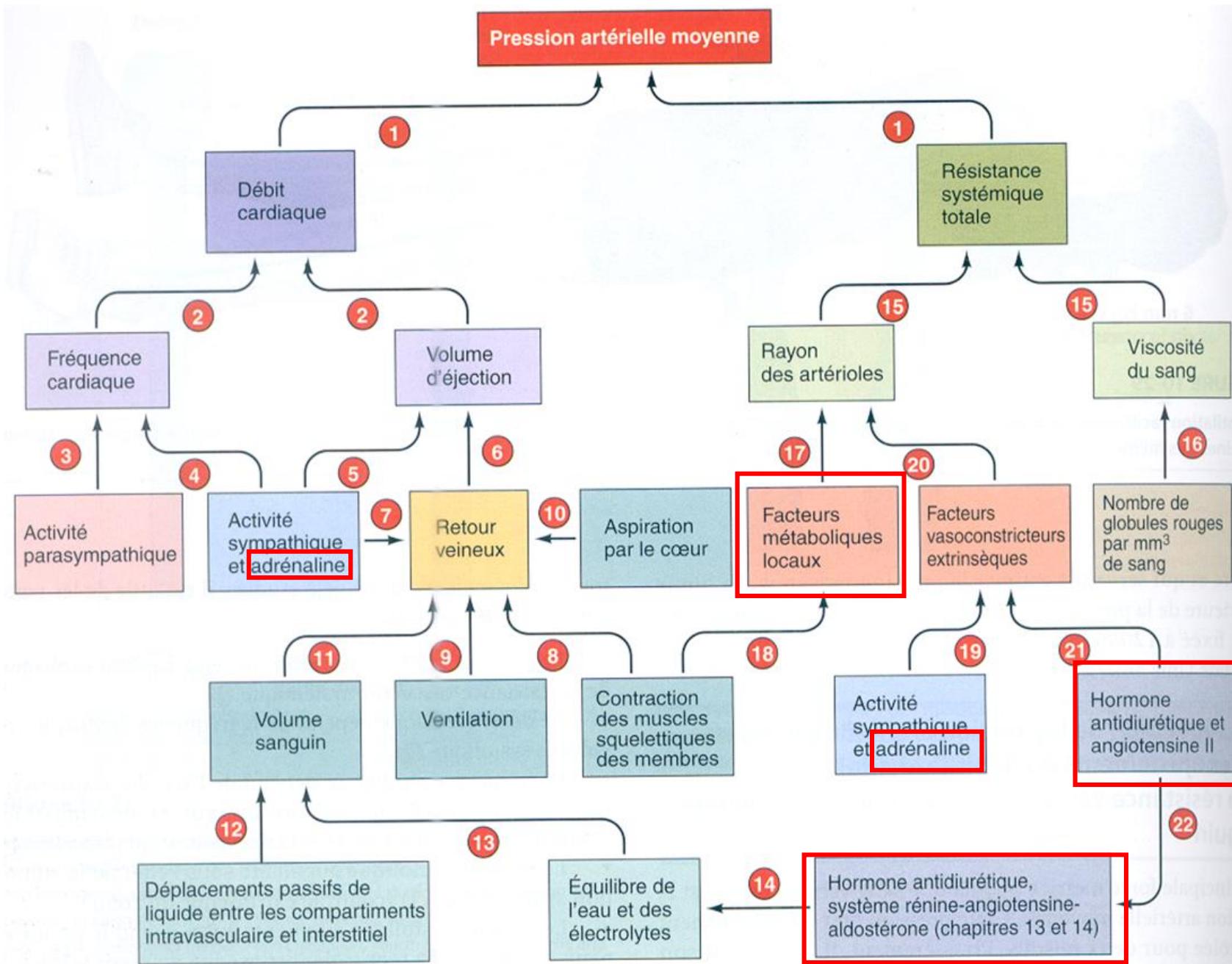




# LES FACTEURS HUMORAUX DE CONTROLE DE LA PA

- Substances vasoactives
- Substances vasorelaxantes





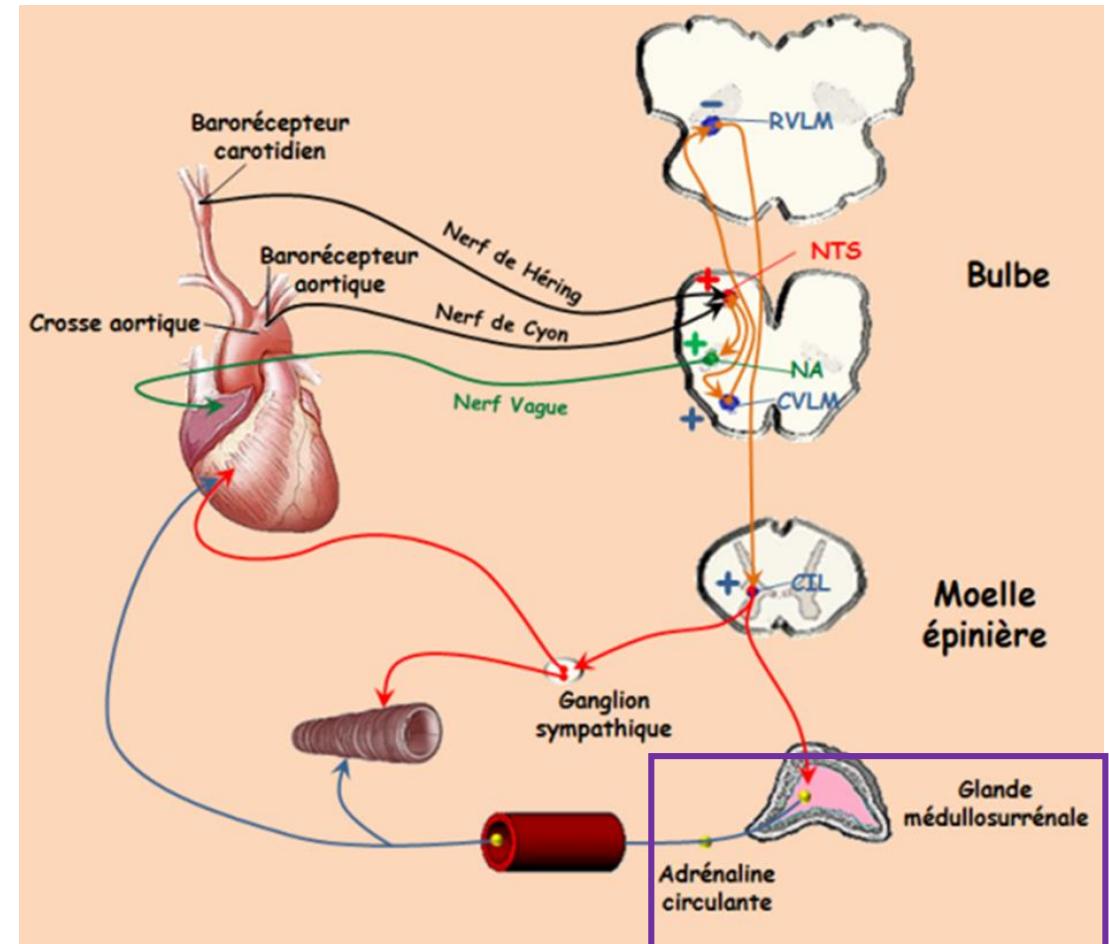
Facteurs déterminant la pression artérielle moyenne

# LES SUBSTANCES VASO-ACTIVES

- Les catécholamines
- Le système rénine-angiotensine
- La vasopressine

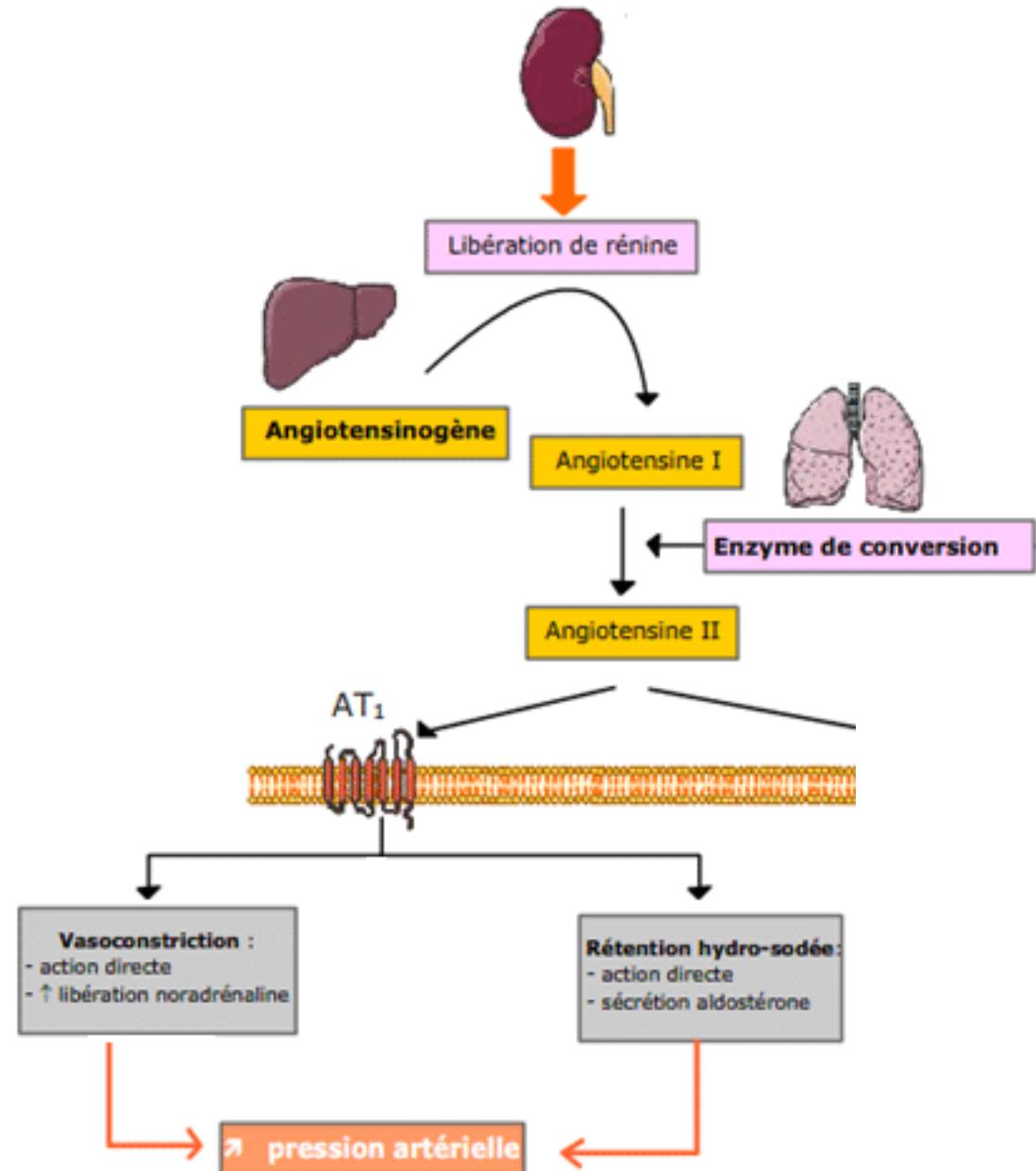
# Les catécholamines

- Médullosurrénale
  - → adrénaline, noradrénaline
- Noradrénaline :
  - puissant agent vasoconstricteur
- L'action des catécholamines :
  - Double et prolonge celle du système nerveux



# Le système rénine-angiotensine

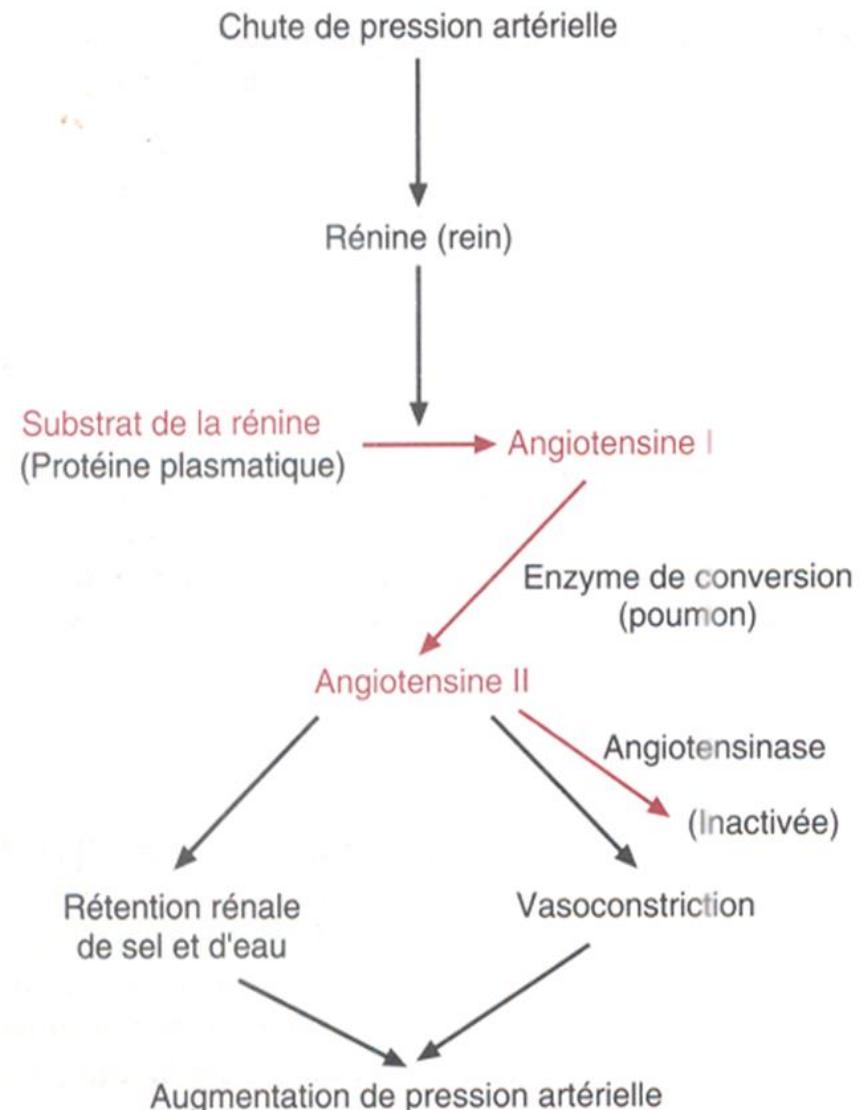
- Rénine :
  - enzyme sécrétée par l'appareil juxtaglomérulaire du rein
  - Agit sur l'angiotensinogène
  - → Angiotensine I
  - → Angiotensine II
  - → Vasoconstriction



# Le système rénine-angiotensine

- **Rénine :**

- enzyme sécrétée par l'appareil juxta-glomérulaire du rein
- Agit sur l'angiotensinogène
- → Angitensine I
- → Angiotensine II
- → Vasoconstriction



Place de la vasoconstriction due au système rénine-angiotensine dans le contrôle de la pression artérielle.

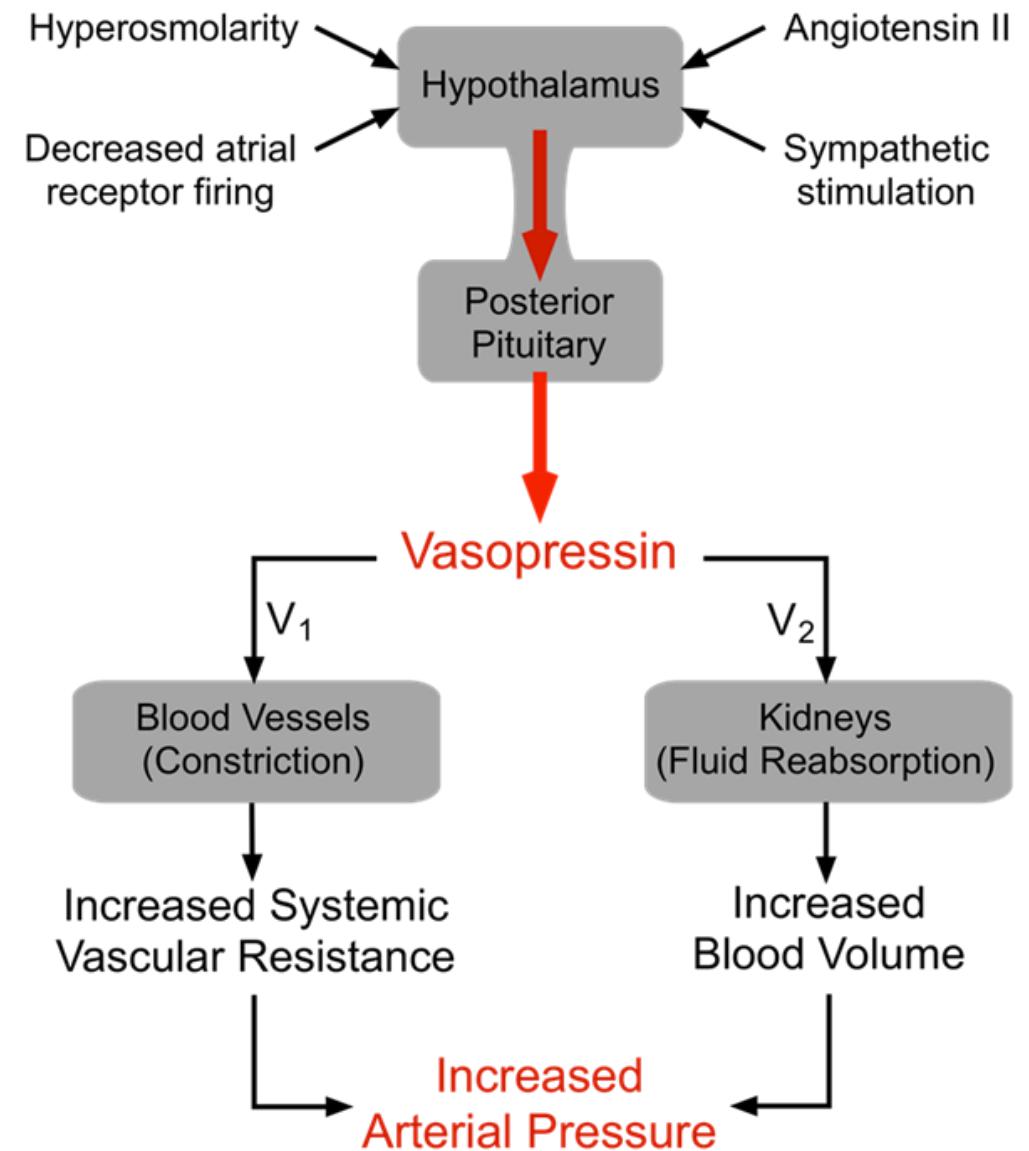
# La vasopressine : ADH

- Vasopressine :

Hormone anti-diurétique : ADH

- Récepteurs dans l'OD :

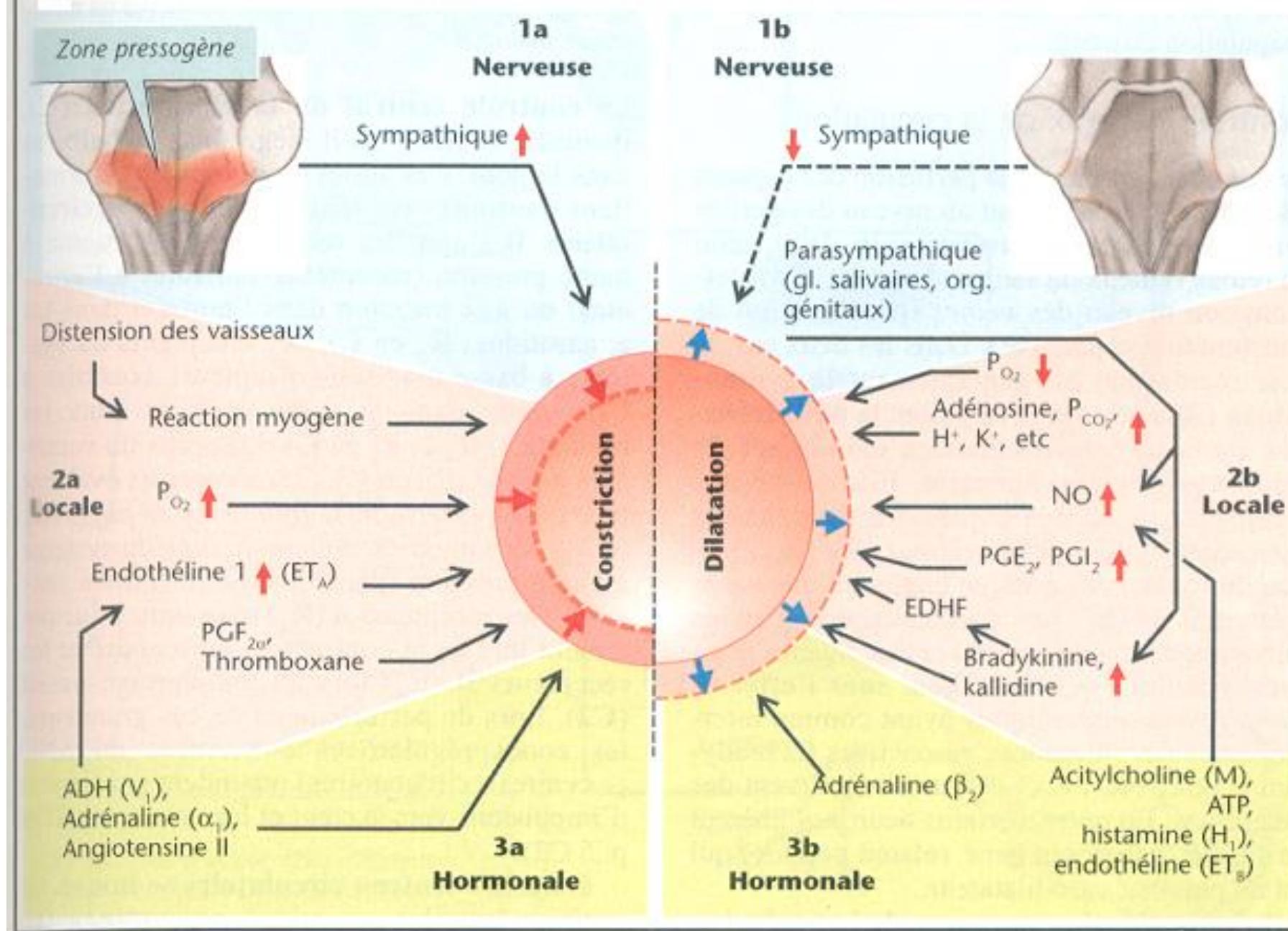
- (+) par une  $\downarrow$  de volume ou de la pression
- $\rightarrow$  libération d'ADH par la post-hypophyse



# LES SUBSTANCES VASO-RELAXANTES

- Le système des kinines : Bradykinine
- Les prostaglandines
- Le rôle de l'endothélium vasculaire dans le contrôle humoral
- L'histamine
- Les métabolites : CO<sub>2</sub>, H<sup>+</sup>, hypoxie tissulaire

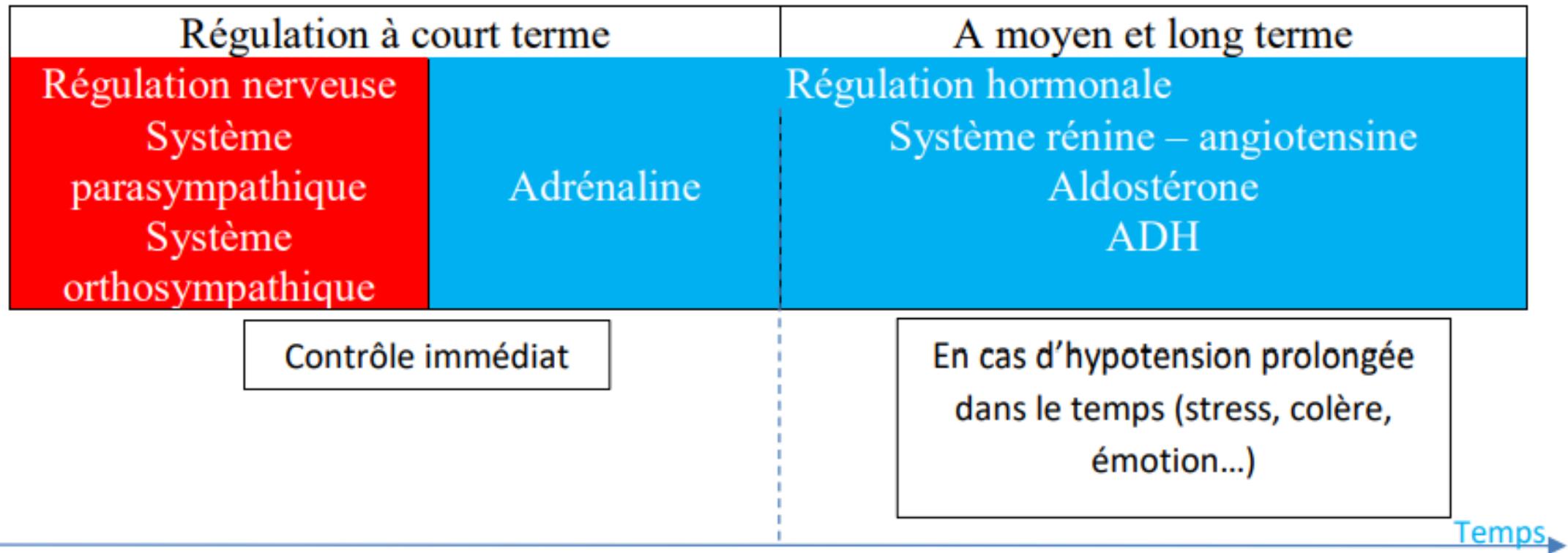
## Vasoconstriction et vasodilatation



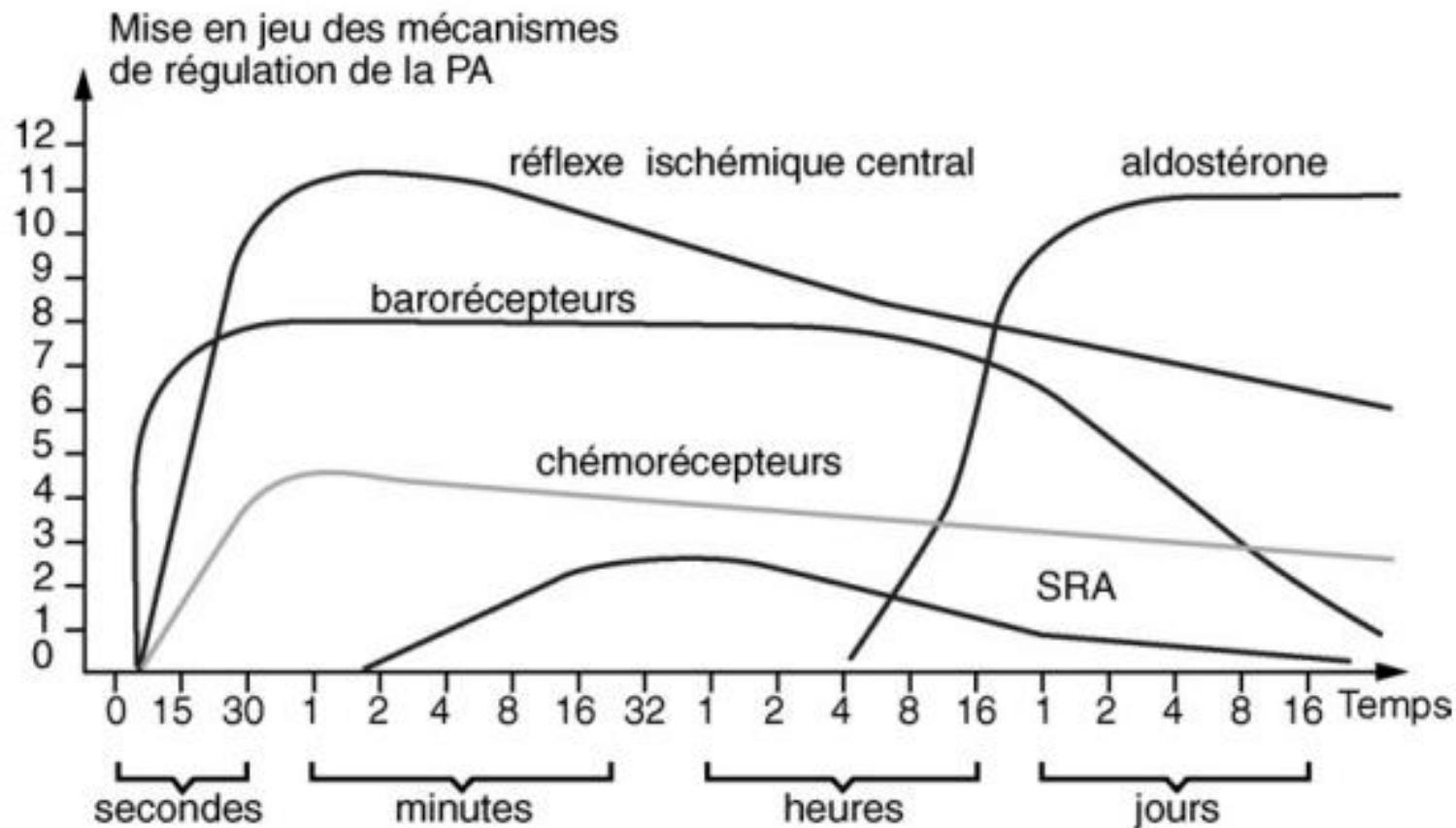
# Remarques

- Action centrale du CO<sub>2</sub> :
  - (+) les centres vasoconstricteurs bulbaires
- Chémo-réflexe :
  - Chémo-récepteurs carptidiens et aortiques sensibles à l'hypoxie, hypercapnie
  - → ↗ FC

# Régulation de la PA

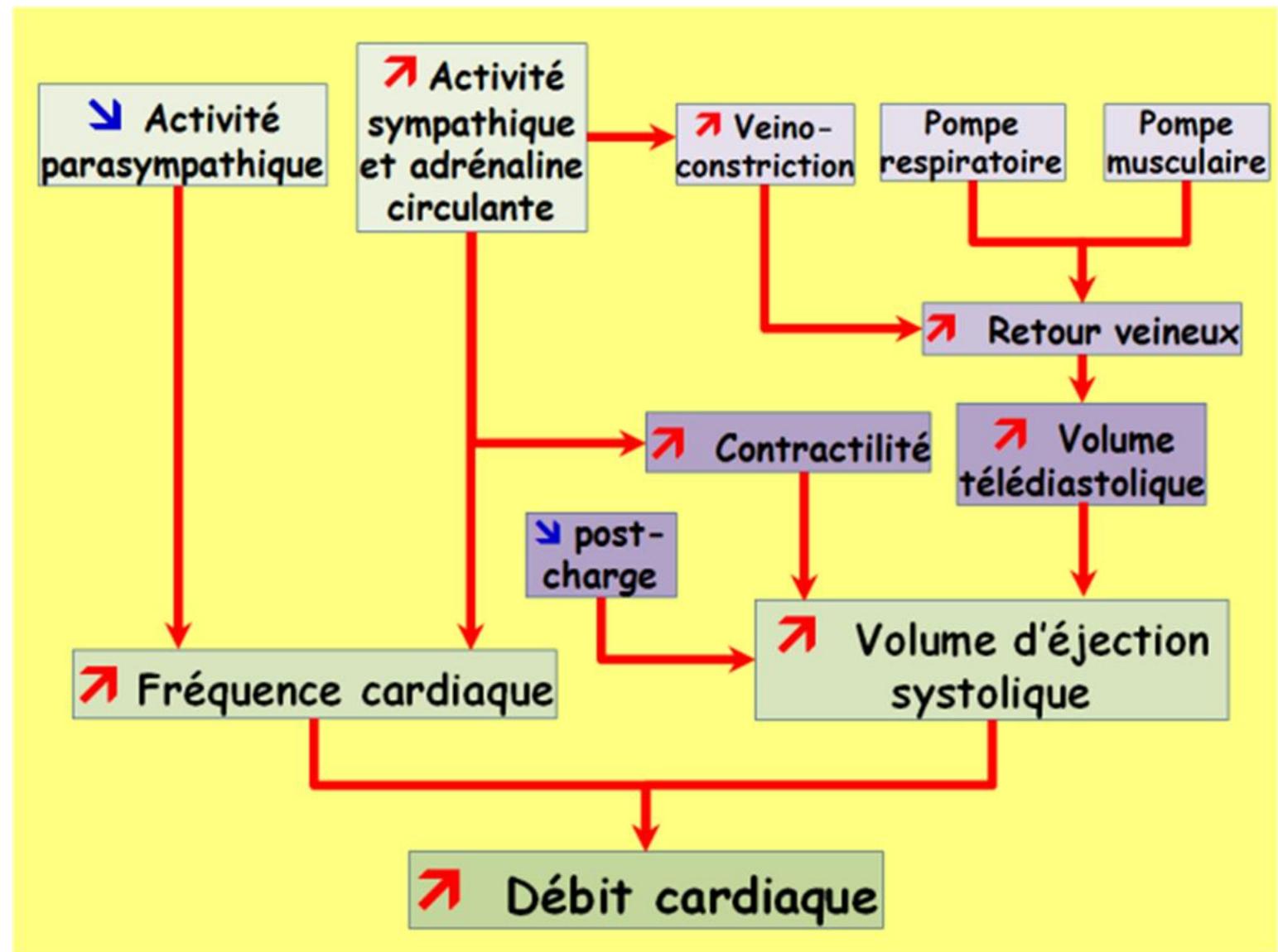


# Régulation de la PA

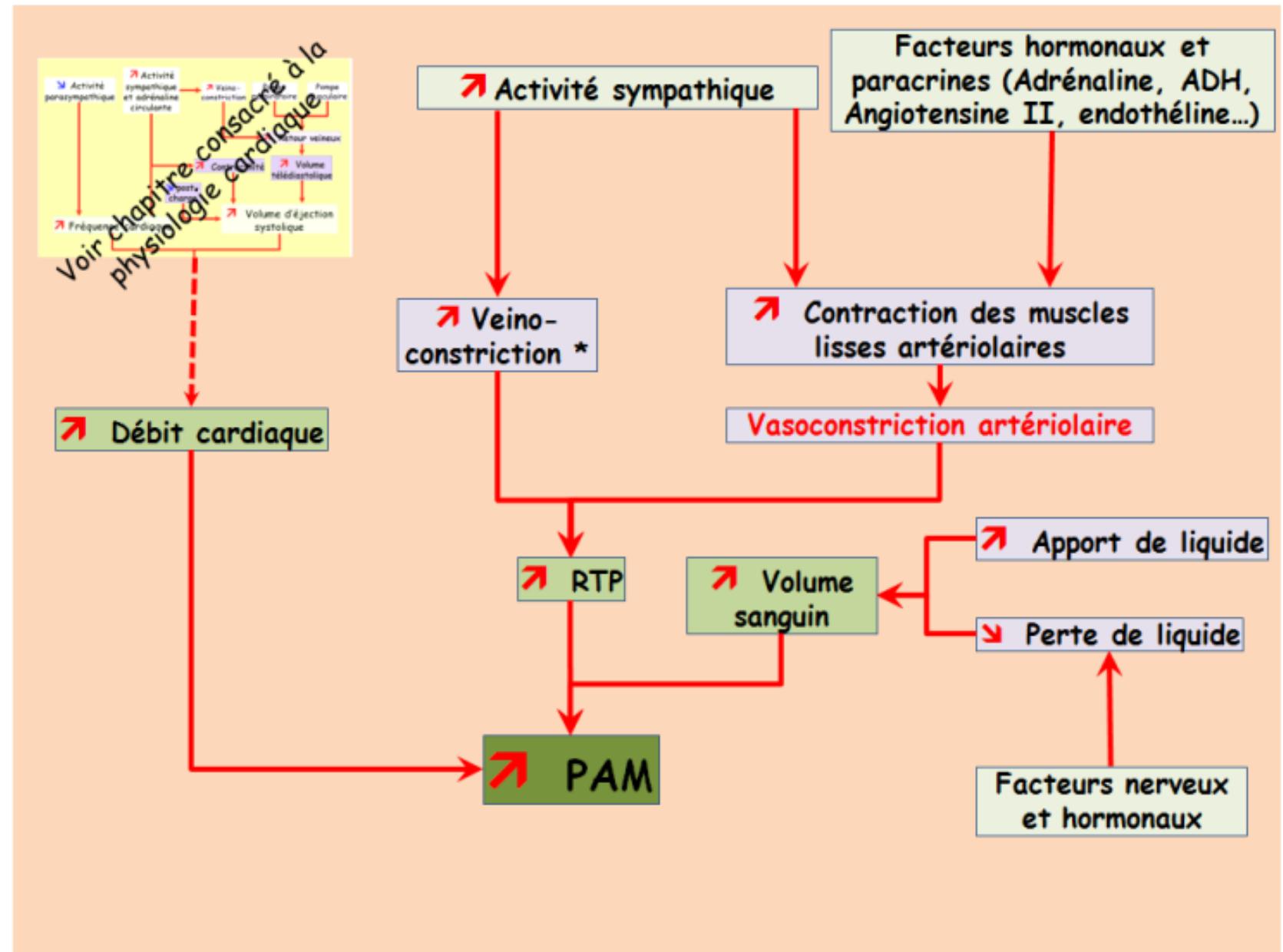


Mécanismes de régulation de la pression artérielle (PA). SRA : système rénine-angiotensine.

$$PA = Q \times R = VES \times FC \times R$$

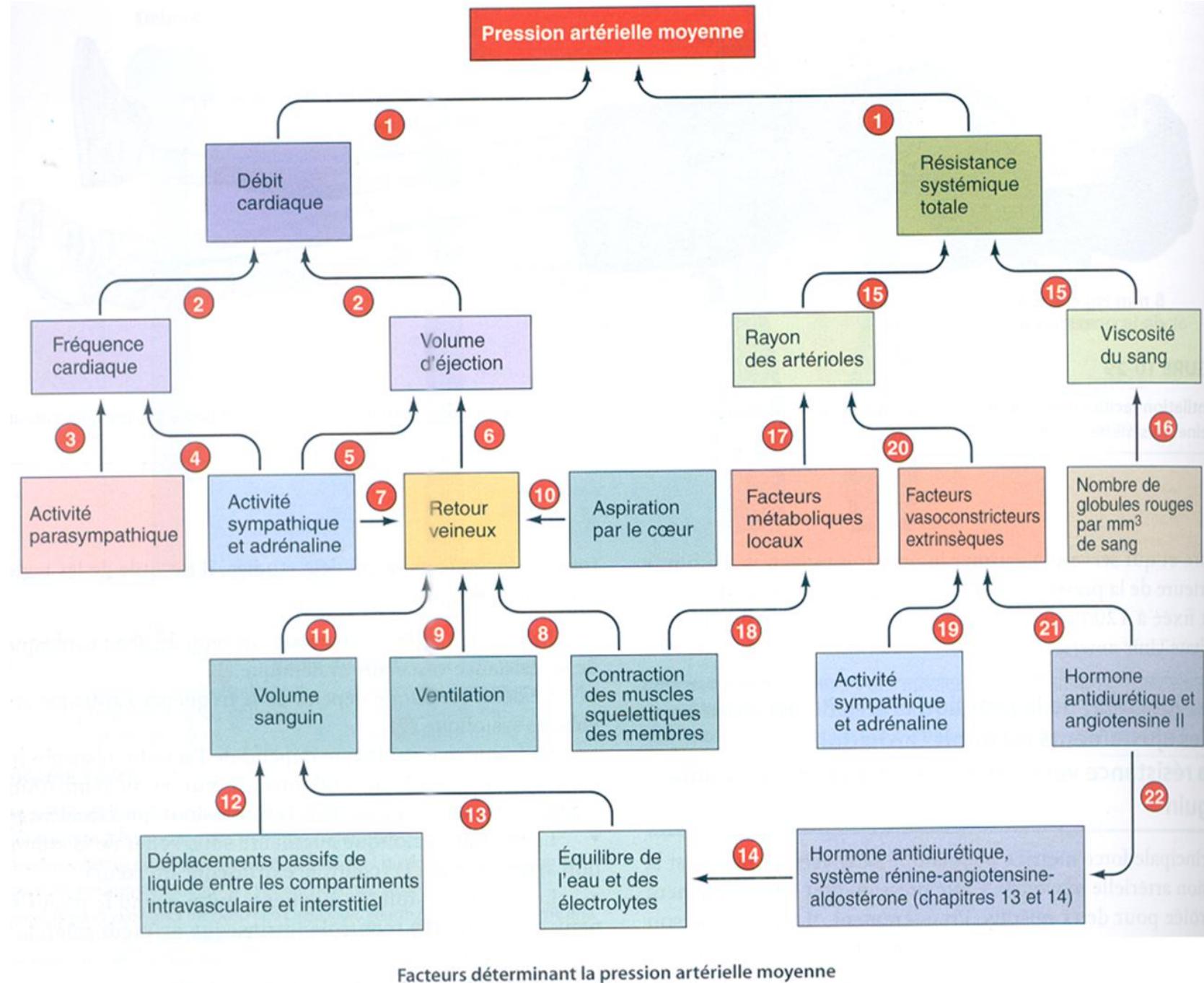


$$PA = Q \times R = VES \times FC \times R$$

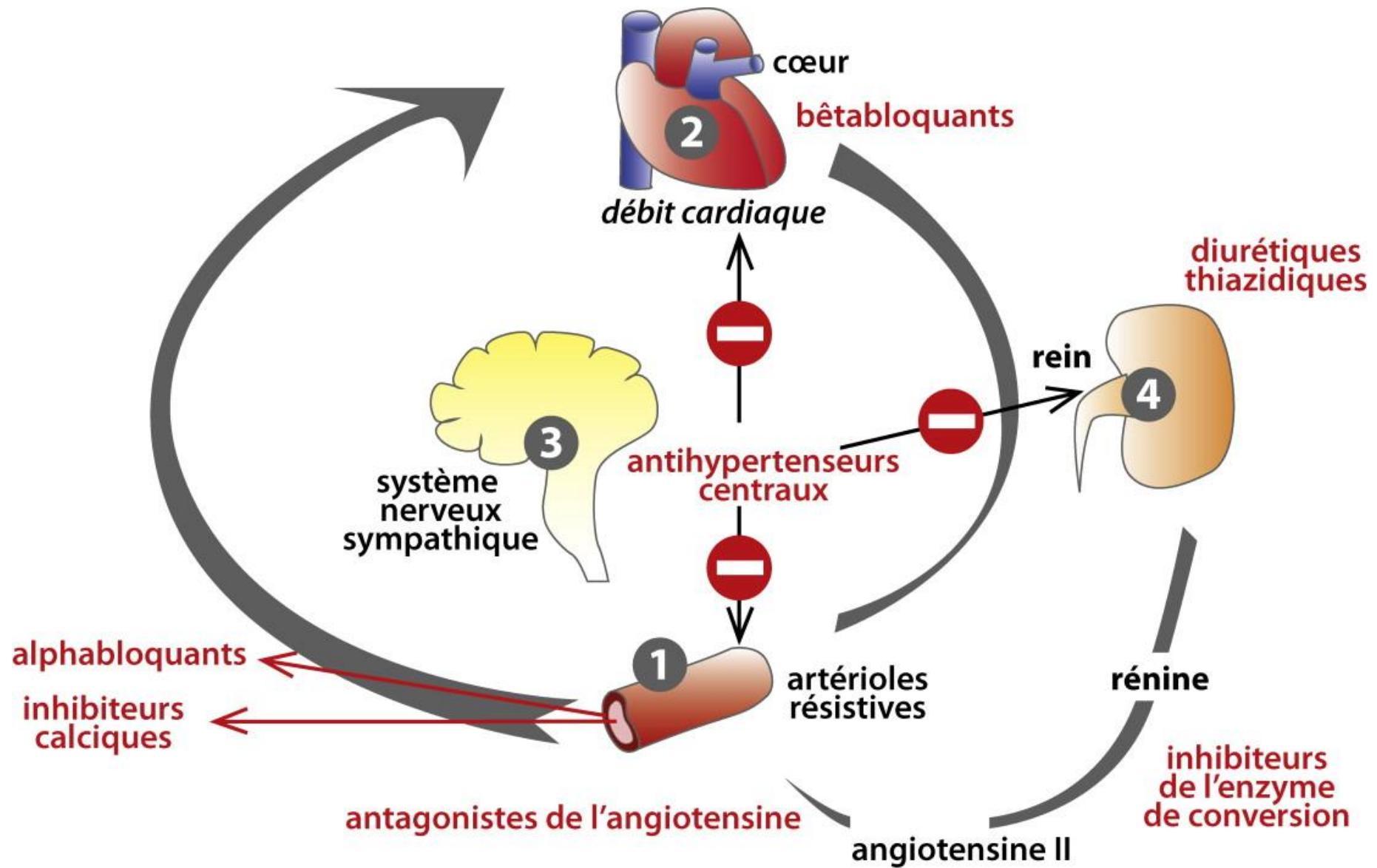


# Comment traiter une HTA?

$$PA = Q \times R = VES \times FC \times R$$



# Prise en charge de l'HTA: Sites d'actions des médicaments



# Merci

