Physiologie Animale
BI 201 L1

Christophe Porcher
Christophe.porcher@univ-amu.fr
Institut de Neurobiologie de la Méditerranée - INSERM U901
http://www.inmed.univ-mrs.fr/

Plan du cours

- Généralités (cours 1)
- Système nerveux périphérique (cours 1-2)
- Système endocrinien (cours 2)
- Physiologie des cellules excitables 1 (cours 3)
- Physiologie des cellules excitables 2 (cours4)
- ECG – EEG (cours 5)

Histoire de la physiologie

Platon & Aristote

Physiologie :
"**la connaissance de nature**".

Aristote a utilisé ce mot pour décrire le fonctionnement de tous les organismes vivants.

Il a chercher des corrélations entre la **structure et la fonction** des organes et à une conviction que chaque organe a un fonction unique

Histoire de la physiologie

Hippocrate

Il est considéré le père de médecine, a utilisé le mot physiologie pour signifier "**le pouvoir guérissant de la nature**".

La médecine hippocratique est fondée, de manière générale, sur **l'observation et le raisonnement**.

L'enseignement hippocratique tente de se donner un cadre théorique.

Le plus connu est la **théorie des humeurs** dont le déséquilibre cause maladie physique mais aussi trouble psychique.

La théorie des humeurs

Flegmatique

Colérique (bile jaune)

Sanguin (jovial)

Mélancolique (bile noire)

Postulat : la **santé** résulte du mélange (crase) **équilibré** des fluides corporels que sont les humeurs, (eucrasie).

Toute **maladie** provient soit d'un **déséquilibre** des humeurs (surabondance ou manque excessif ; la dyscrasie), soit lorsque l'une des humeurs s'isole et se met à fluer, causant une double douleur, à l'endroit qu'elle quitte et à l'endroit où elle se fixe.

Ces humeurs sont le **sang**, de couleur rouge qui est produit par le **cœur**, la **bile jaune** qui provient du **foie**, le **phlegme**, de couleur blanche, ou pituite, qui est produit par le **cerveau**, et la **bile noire** provenant de la **rate**.

De nos jours : qu'est-ce que la physiologie ?

C' est l' étude des **fonctions** des tissus, organes et systèmes d'organes dans les **animaux multicellulaires**.

C' est aussi étudier comment un être vivant **s'adapte à son environnement** et enfin comprendre les mécanismes qui opèrent chez ces êtres vivants à tous les niveaux (du sub-cellulaire à l 'organisme entier).

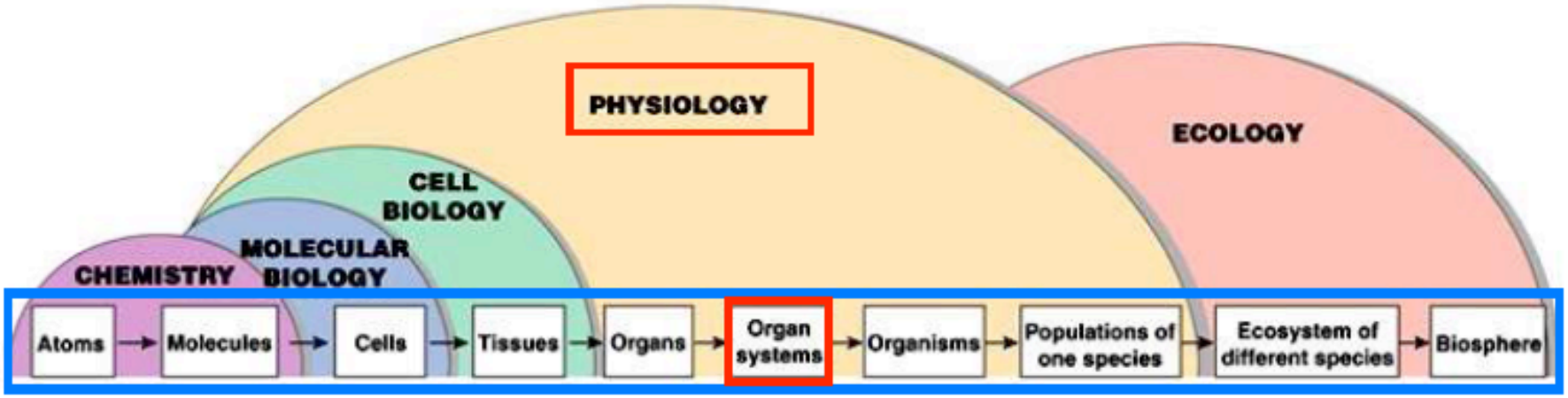
Tout système a par définition un but :

survivre assez longtemps pour reproduire…. toujours plus d'ADN !

Survivre : avoir accès à de l'énergie.. Et ne pas se faire manger

Reproduire : exprimer des programmes inscrits

Niveaux d'approches en physiologie



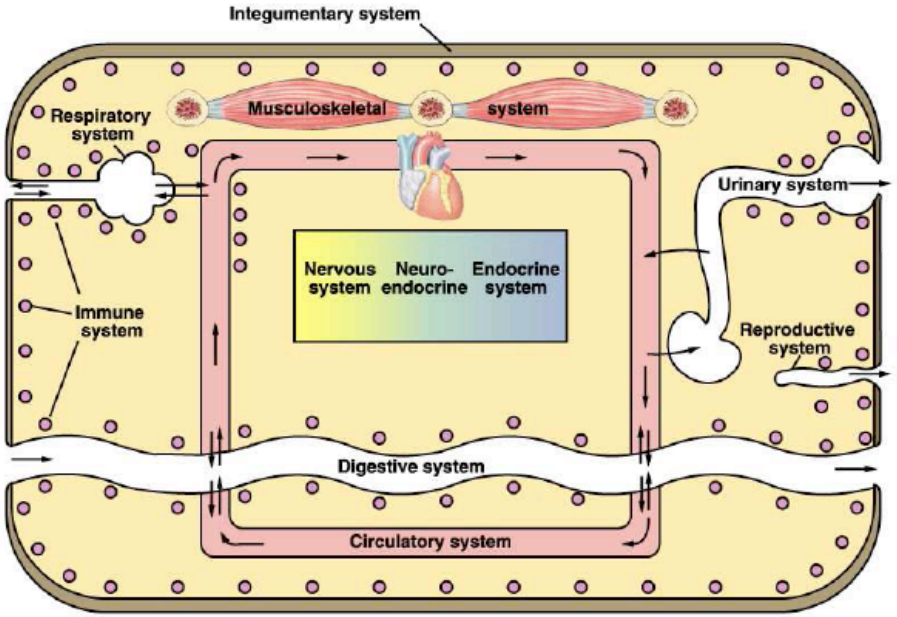
Copyright © 2007 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Fig. 1-1

La physiologie englobe de nombreux **niveaux d'organisation**, du moléculaire a une population d'une espèce.

Les groupes d'organes forment des systèmes physiologiques

Les systèmes physiologiques



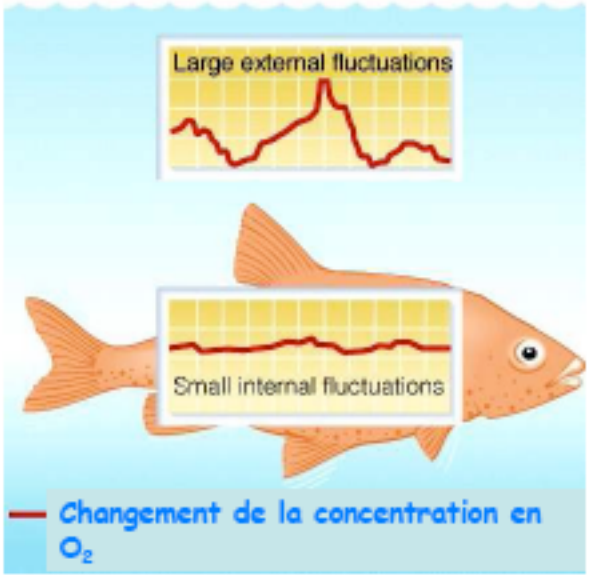
- Musculo-squelettique
- Nerveux et endocrinien
- Circulatoire
- Respiratoire
- Urinaire
- Reproductif
- Digestif
- Intégumentaire

La physiologie est liée à deux notions principales :

1. **Le milieu intérieur :**
   baigne toutes les cellules de l'organisme. Il leur permet d'être potentiellement en relation les unes avec les autres. Le support physiologique du milieu intérieur est constitué par les trois compartiments :
   - **Plasmatique**
   - **Interstitiel**
   - **lymphatique**

2. **Le maintien de la constance du milieu intérieur :**
   celle d'**homéostasie** : Les paramètres du milieu intérieur sont maintenus constants dans l'organisme, malgré les modifications induites par l'environnement extérieur ou l'activité de l'organisme. Cette stabilité est permise par des mécanismes régulateurs. Ainsi, les paramètres du milieu intérieur ne varient que dans d'étroites limites.

De grandes fluctuations dans l'environnement sont traduites par de petites fluctuations du milieu intérieur



La notion de milieu intérieur

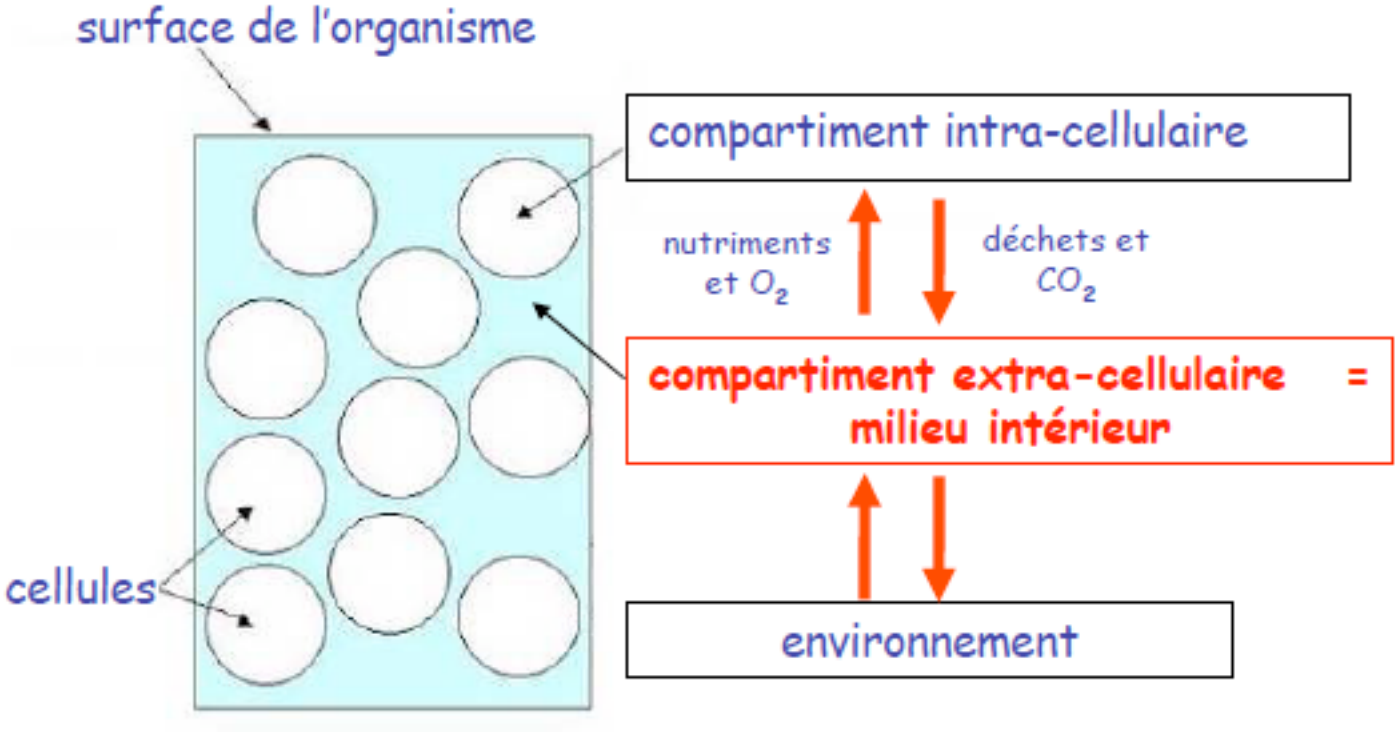
Claude Bernard
(1813-1879)

"Le corps vivant, bien qu'il ait besoin de l'environnement, est quand même relativement indépendant de celui ci.

Cette indépendance que l'organisme a de son environnement, provient du fait que dans l'organisme, les tissus sont en fait protégés des influences externes directes par un environnement intérieur véritable qui est constitué par les liquides circulant dans le corps. »

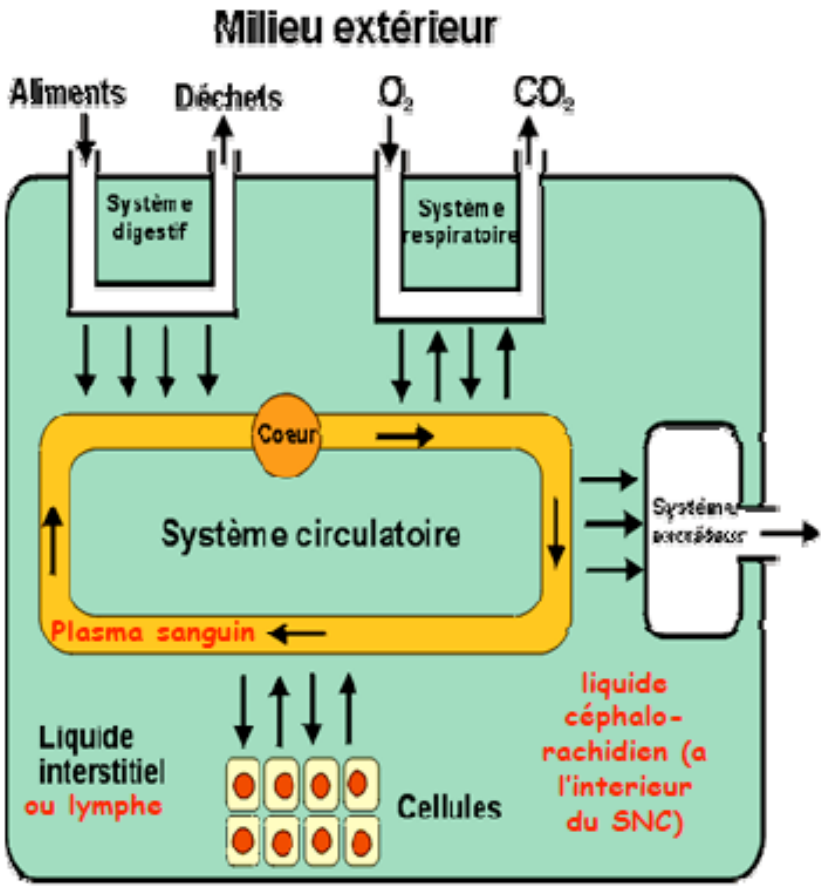
« C'est la stabilité de l'environnement intérieur qui est la condition de la vie libre et indépendante »

La notion de milieu intérieur



Chez les métazoaires, l'organisme est constitué de milliards de cellules. La plupart de ces cellules sont trop profondes pour échanger directement avec l'environnement.
Les échanges se font grâce à un liquide intermédiaire : le milieu intérieur.

Milieu intérieur = plasma + lymphe



Le milieu intérieur comprend le liquide interstitiel ou **lymphe** et un liquide circulant, le **plasma sanguin** (sang moins les globules).

Le **liquide céphalo-rachidien** (LCR), proche de la lymphe, fait également partie du MI. Les liquides digestifs non.

Le plasma et l'environnement échangent des substances au niveau des systèmes **digestif, respiratoire et excréteur**.

La lymphe sert d'intermédiaire entre le plasma et les cellules.

Homéostasie : état constant

Walter B. Cannon
(1871-1945)

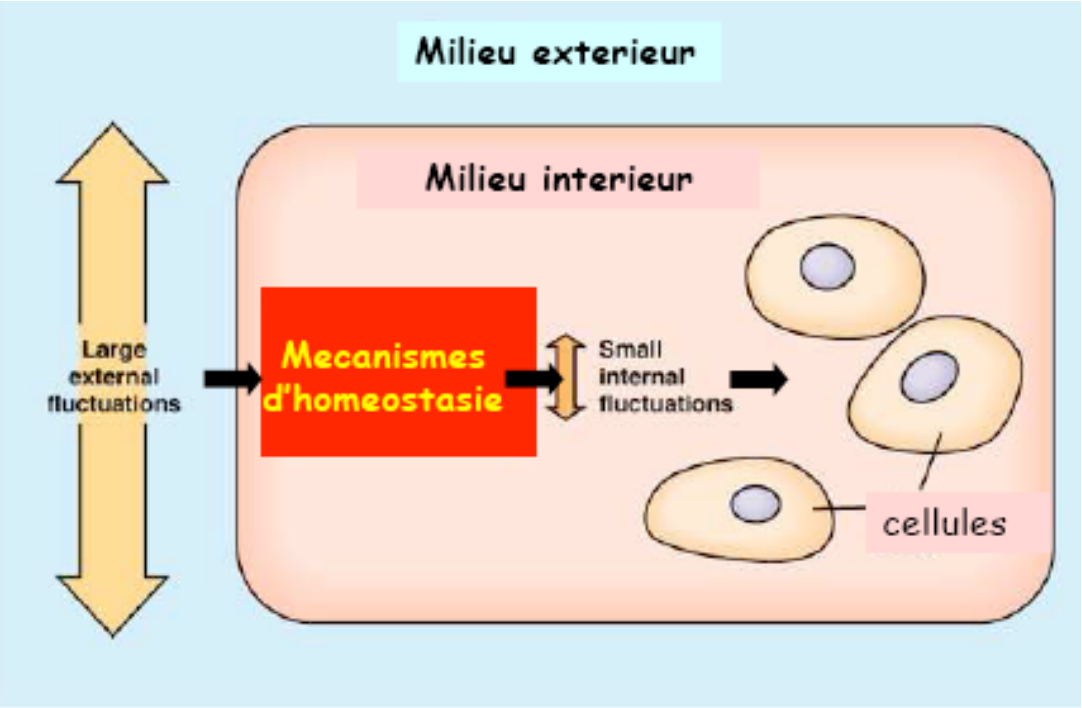
Le terme "homeostasie" a été d'abord utilisé par Walter Bradford Cannon au cours des années 1920 :

« Les processus physiologiques coordonnés qui maintiennent l'équilibre dans l'organisme sont si complexes et si particuliers aux créatures qu'ils vont impliquer le cerveau, le coeur, les poumons, les reins et la rate, tous travaillant coopérativement que j'ai suggéré une définition pour ces états, c'est l'homéostasie.

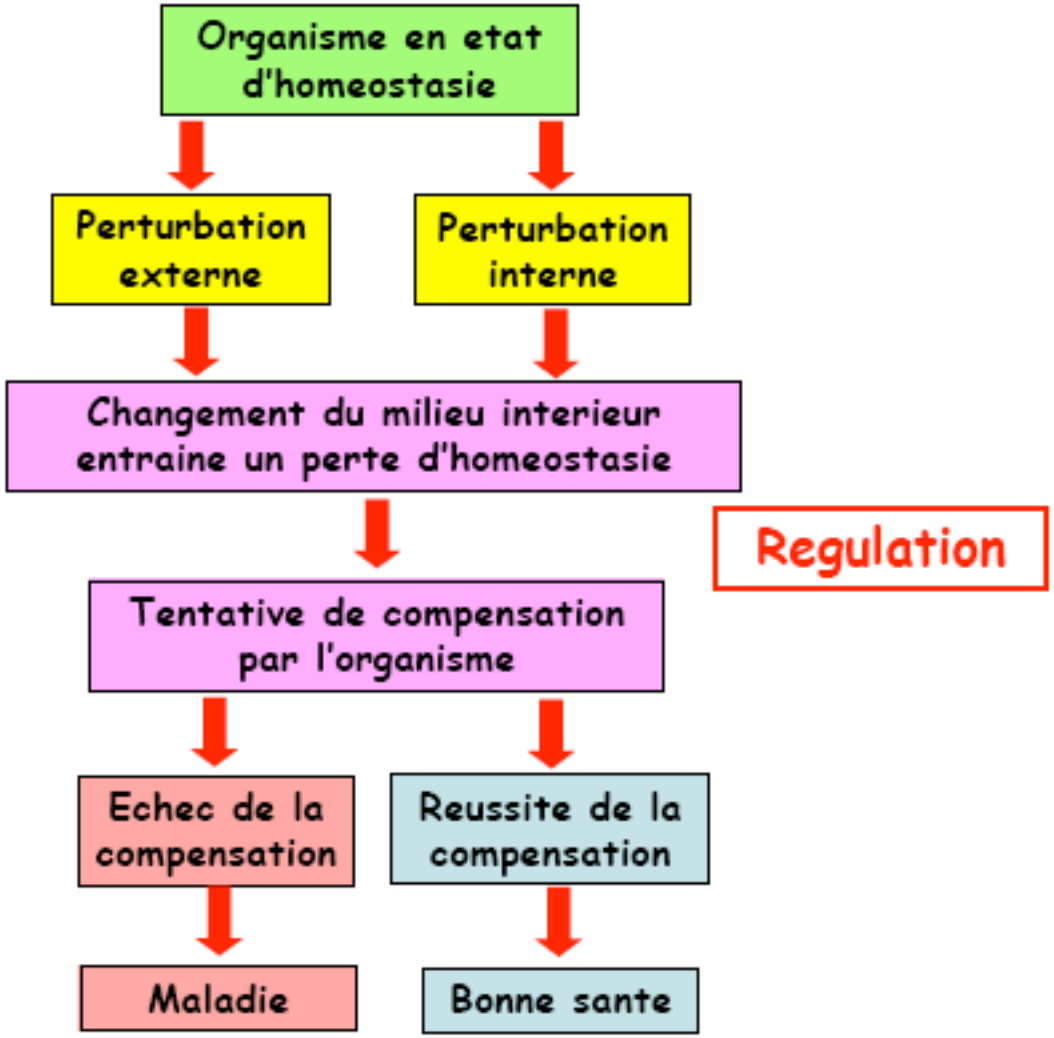
Le mot n'implique pas que quelque chose est au repos ou immobile.

Cela signifie une condition - une condition qui peut varier, mais qui est relativement constante »

Homéostasie



Homéostasie : L'environnement intérieur est maintenu constant en face d'un environnement changeant.


Organisme en etat d'homeostasie
Perturbation externe
Perturbation interne
Changement du milieu interieur entraine un perte d'homeostasie
Regulation
Tentative de compensation par l'organisme
Echec de la compensation
Reussite de la compensation
Maladie
Bonne sante

Chaîne d'événements qui se produit au cours d'un réflexe pour rétablir l'homéostasie

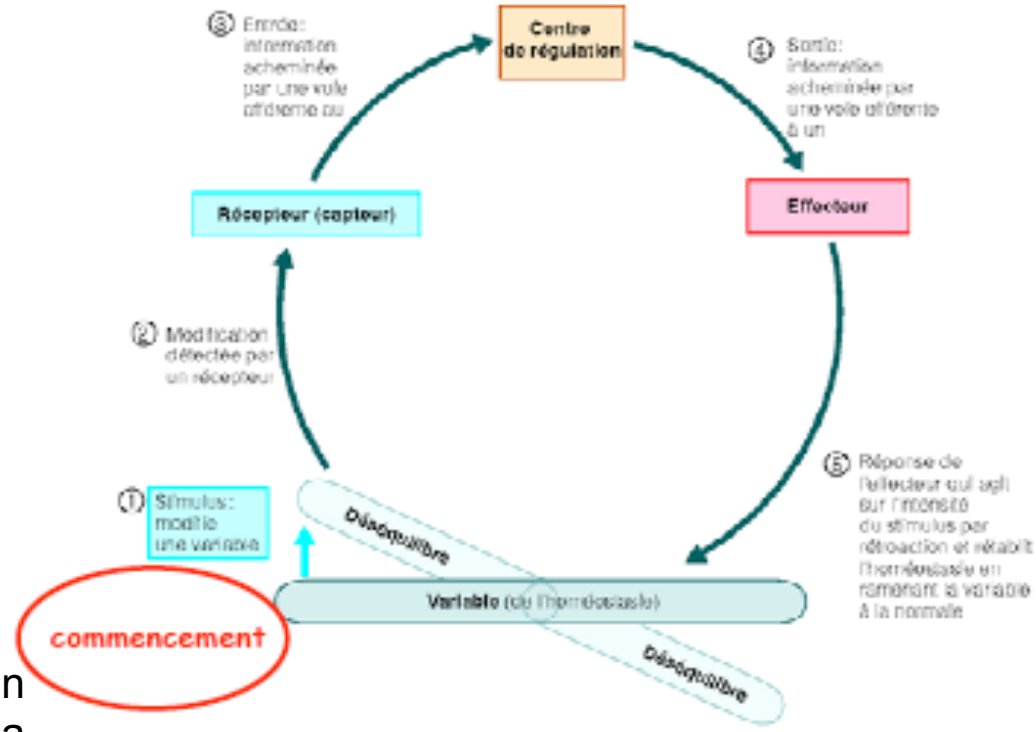
1. **Stimulus** : modifie une variable

2. Modification détectée par un **récepteur**

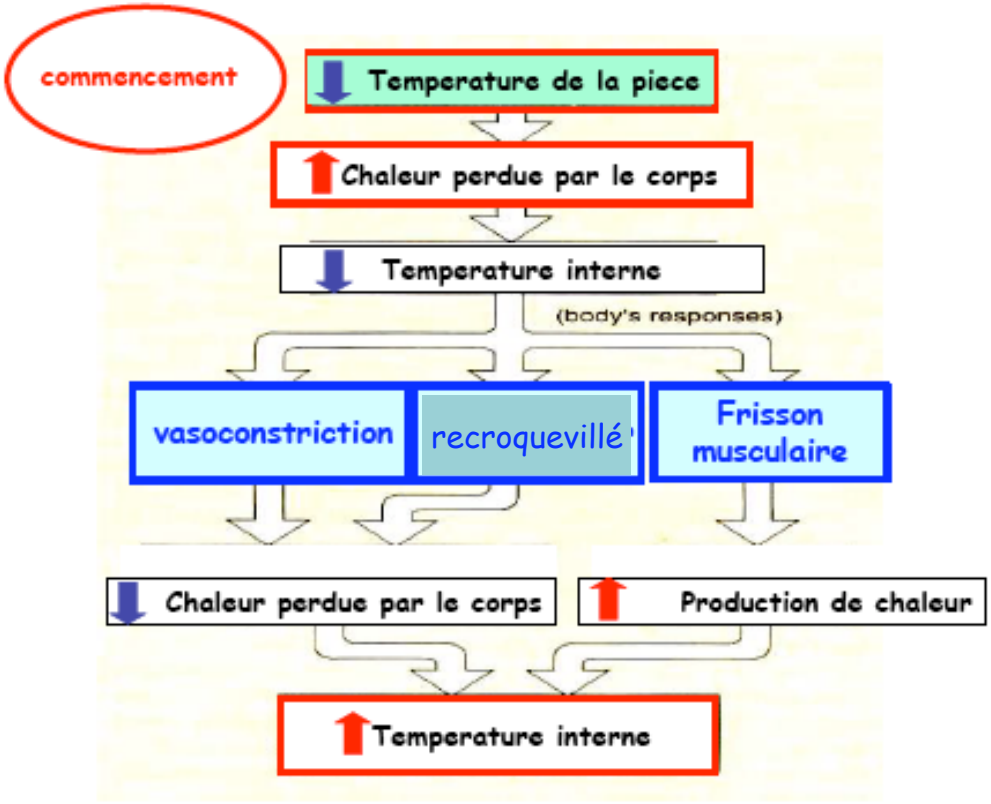
3. Entrée : information acheminée par une voie afférente au **centre de régulation**

4. Sortie : information acheminée par une voie efférente à un **effecteur**

4. Réponse de l'effecteur qui agit sur l'intensité du stimulus par rétroaction et rétablit l'**homéostasie** en ramenant la variable à la normale.



Exemple : la régulation de la température centrale



Organisation du système nerveux et endocrinien

Le système nerveux central (SNC) et périphérique (SNP) vont ensemble et avec le système endocrinien (SE) **coordonner les réponses** appropriées pour **maintenir l'homéostasie**

DEFINITION

Le système nerveux est un système complexe qui tient sous sa dépendance toutes les fonctions de l'organisme.

Il se compose :

- de **centres nerveux**, qui sont chargés de **recevoir, d'intégrer et d'émettre des informations**

- de **voies nerveuses** qui sont chargées de **conduire ces informations**.

DIVISIONS DU SYSTEME NERVEUX

On divise le système nerveux en 3 parties :

Première partie :

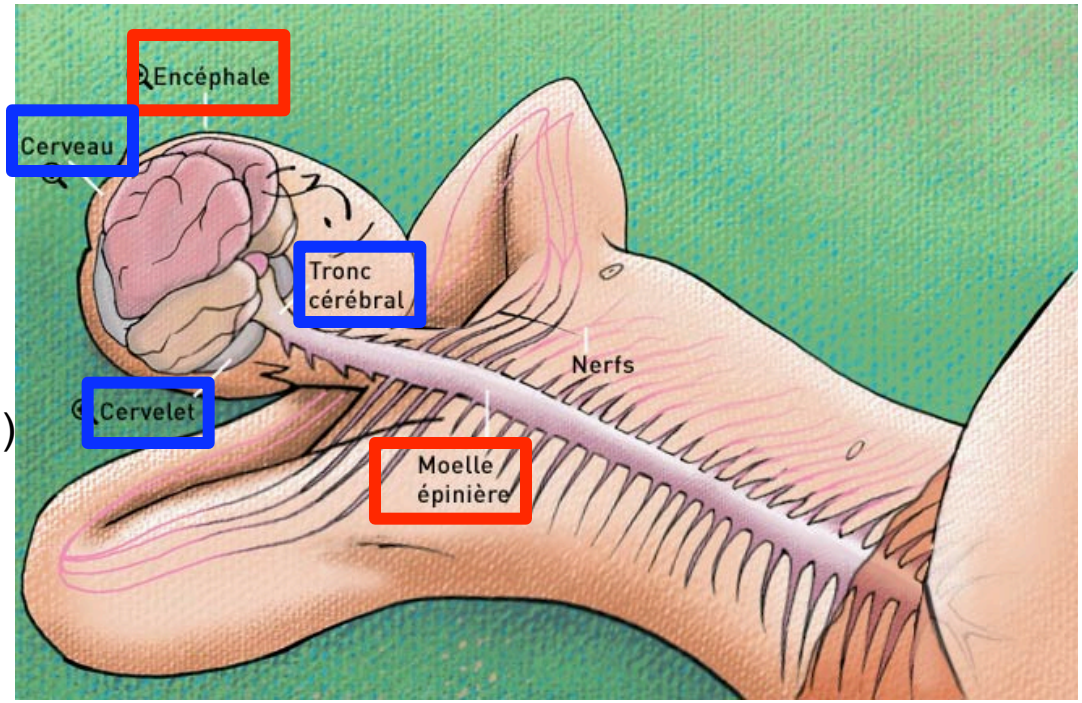
Le **système nerveux central** (névraxe) qui comprend deux segments:

1. l'**encéphale** (intracrânien)
2. la **moelle épinière** (intra-rachidienne)

L'encéphale comprend lui même 3 parties :

A. le cerveau
B. le tronc cérébral
C. le cervelet

système nerveux central



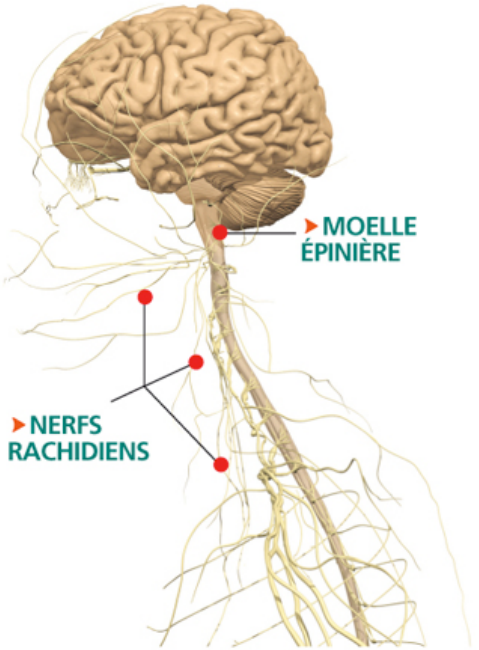
DIVISIONS DU SYSTEME NERVEUX

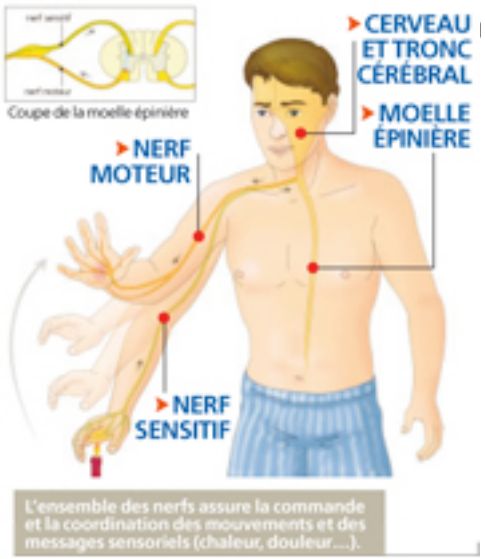
Seconde partie :

Le **système nerveux périphérique**, représenté par les nerfs qui se détachent du névraxe.

Ces nerfs sont groupés en nerfs crâniens et nerfs rachidiens.

Il se subdivise en une **composante motrice** (qui comprend le système nerveux autonome et le système somatique) et **sensorielle**.





DIVISIONS DU SYSTEME NERVEUX

Troisième partie :

Le **système nerveux autonome** ou neuro-végétatif.

Il se subdivise lui-même en **sympathique** et en **parasympathique**.

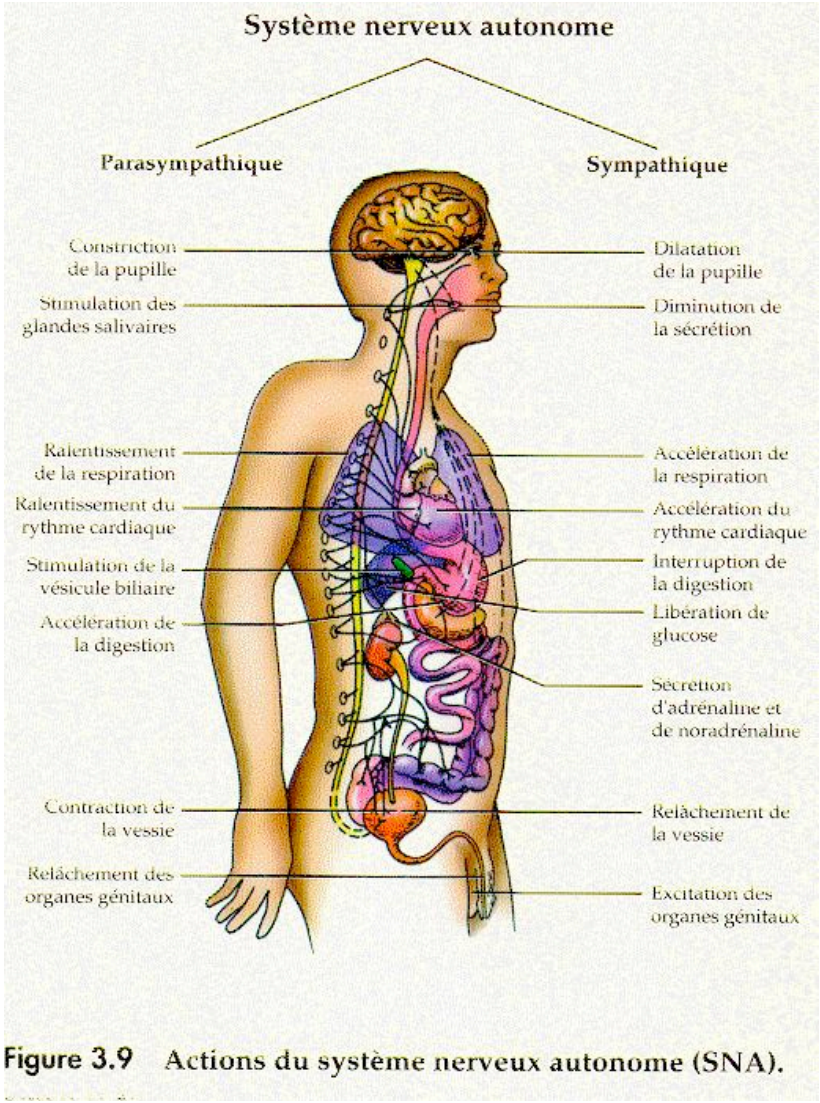
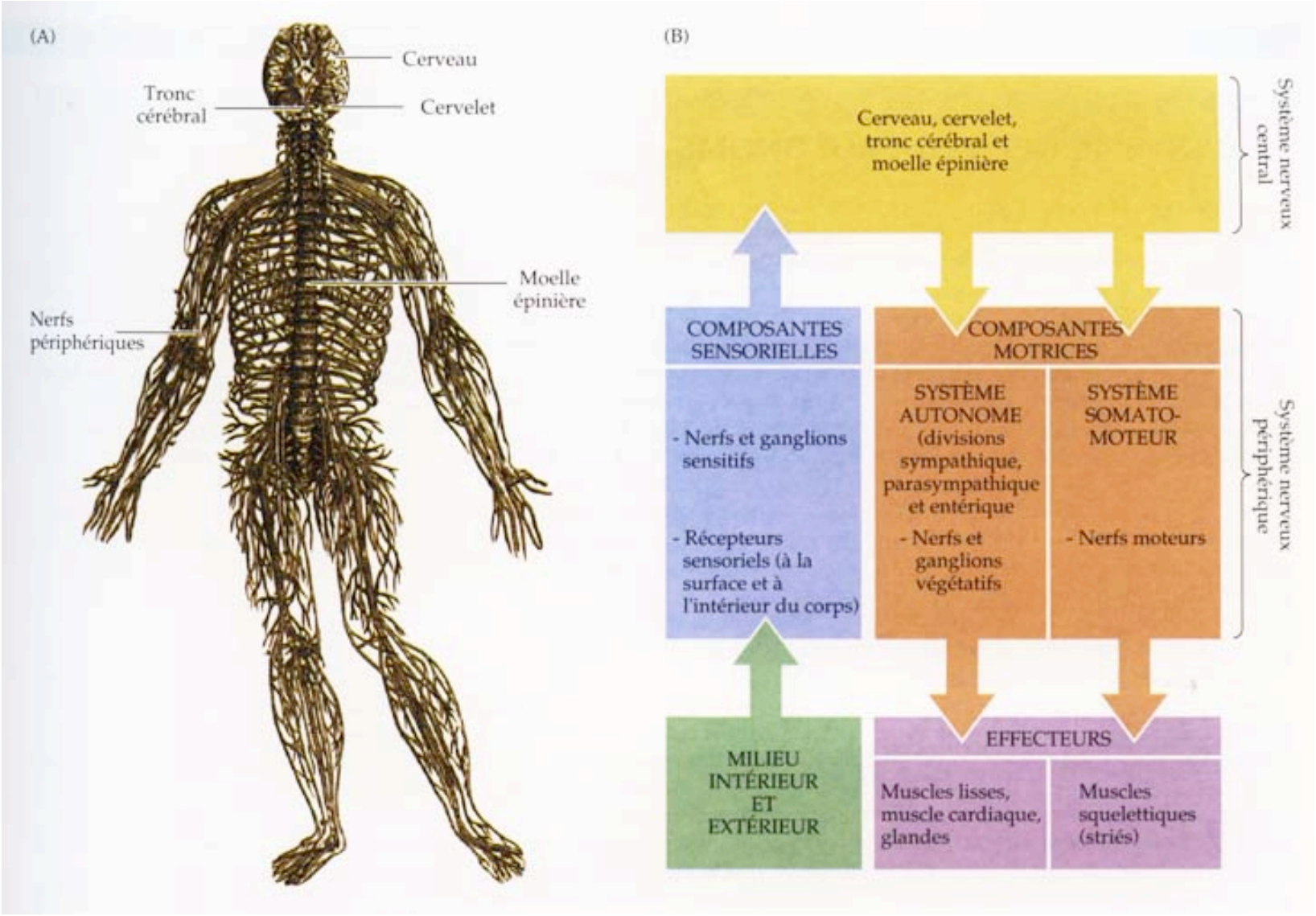
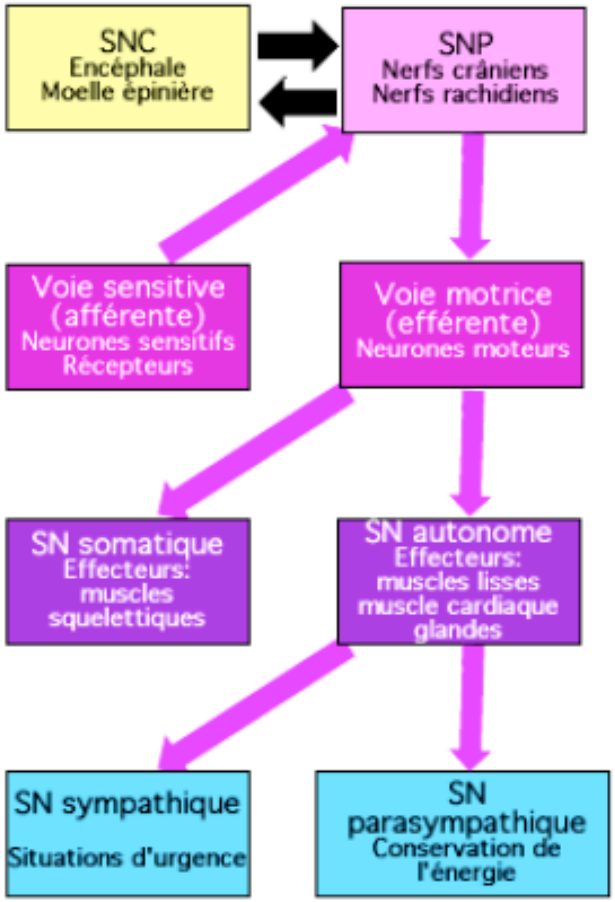
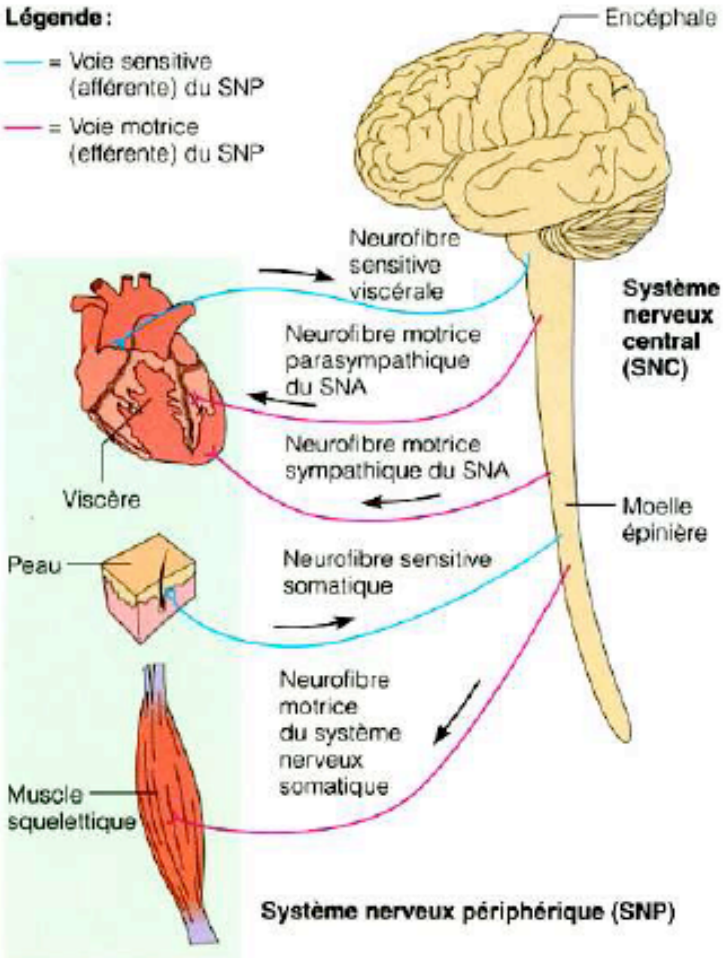


Figure 3.9 Actions du système nerveux autonome (SNA).

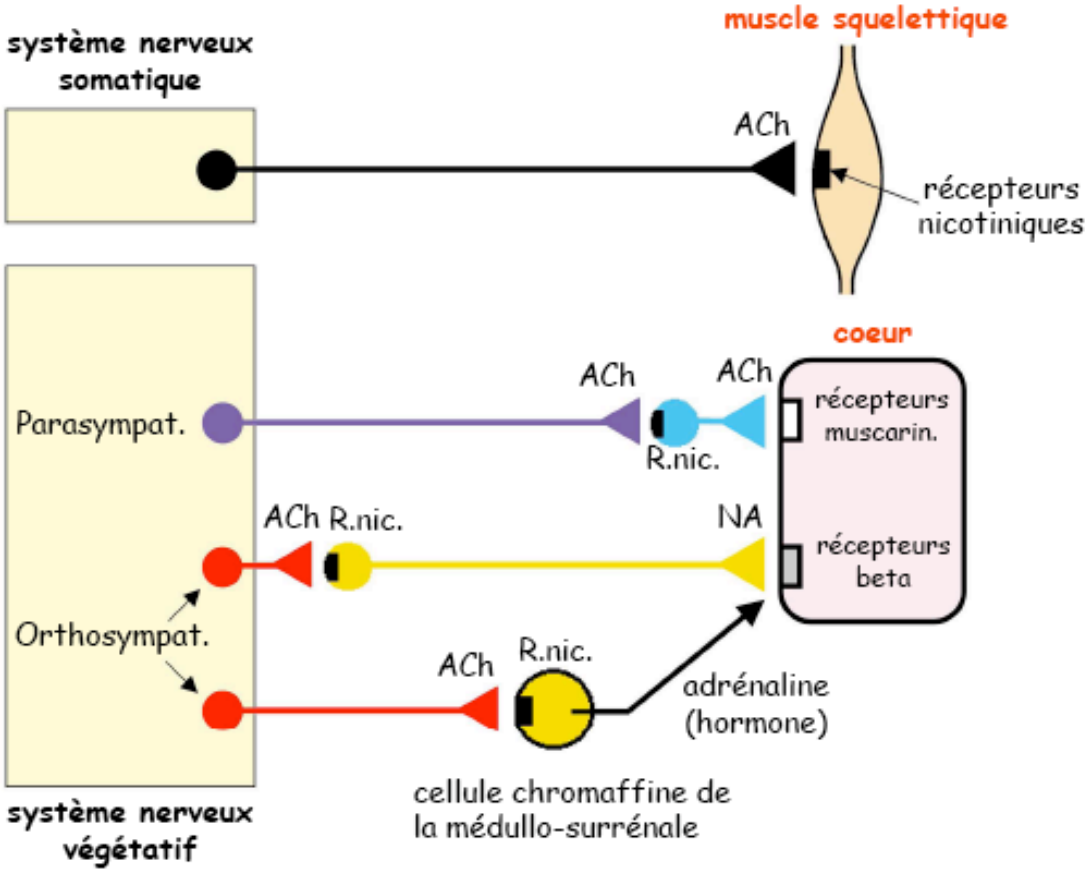

(A)
Cerveau
Tronc cérébral
Cervelet
Moelle épinière
Nerfs périphériques
(B)
Cerveau, cervelet, tronc cérébral et moelle épinière
Système nerveux central
COMPOSANTES SENSORIELLES
COMPOSANTES MOTRICES
- Nerfs et ganglions sensitifs
- Récepteurs sensoriels (à la surface et à l'intérieur du corps)
SYSTÈME AUTONOME (divisions sympathique, parasympathique et entérique
- Nerfs et ganglions végétatifs
SYSTÈME SOMATO-MOTEUR
- Nerfs moteurs
Système nerveux périphérique
MILIEU INTÉRIEUR ET EXTÉRIEUR
EFFECTEURS
Muscles lisses, muscle cardiaque, glandes
Muscles squelettiques (striés)

Organisations et fonctions des systèmes nerveux
Somatique et végétatif





Différences entre systèmes nerveux somatique et végétatif



LE SYSTEME NERVEUX VEGETATIF

Il est indépendant de la volonté.

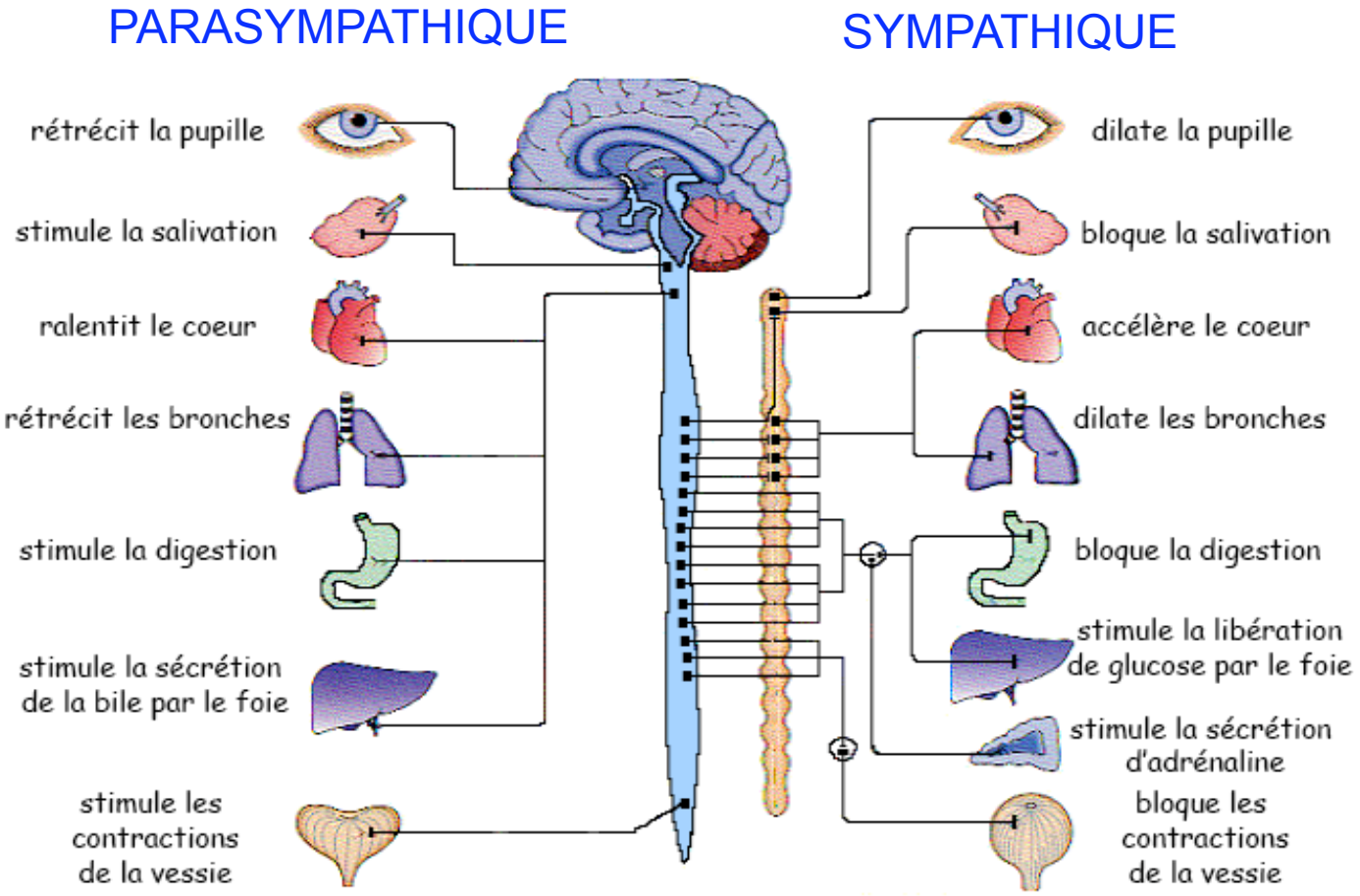
Il règle et coordonne le fonctionnement des organes, bien qu'il ne soit pas à l'origine de ce fonctionnement.

Il ne fait que l'adapter aux besoins de l'organisme.

La plupart des organes possèdent un **système nerveux intrinsèque ou intrapariétal**, qui commande leur activité motrice ou sécrétoire et un système nerveux extrinsèque, qui peut moduler cette activité propre de l'organe par stimulation ou inhibition.

Anatomiquement et fonctionnellement, le système nerveux végétatif est constitué de deux parties à action opposée : le **système nerveux (ortho)sympathique** et le **système nerveux parasympathique**

Système nerveux végétatif (actions antagonistes)

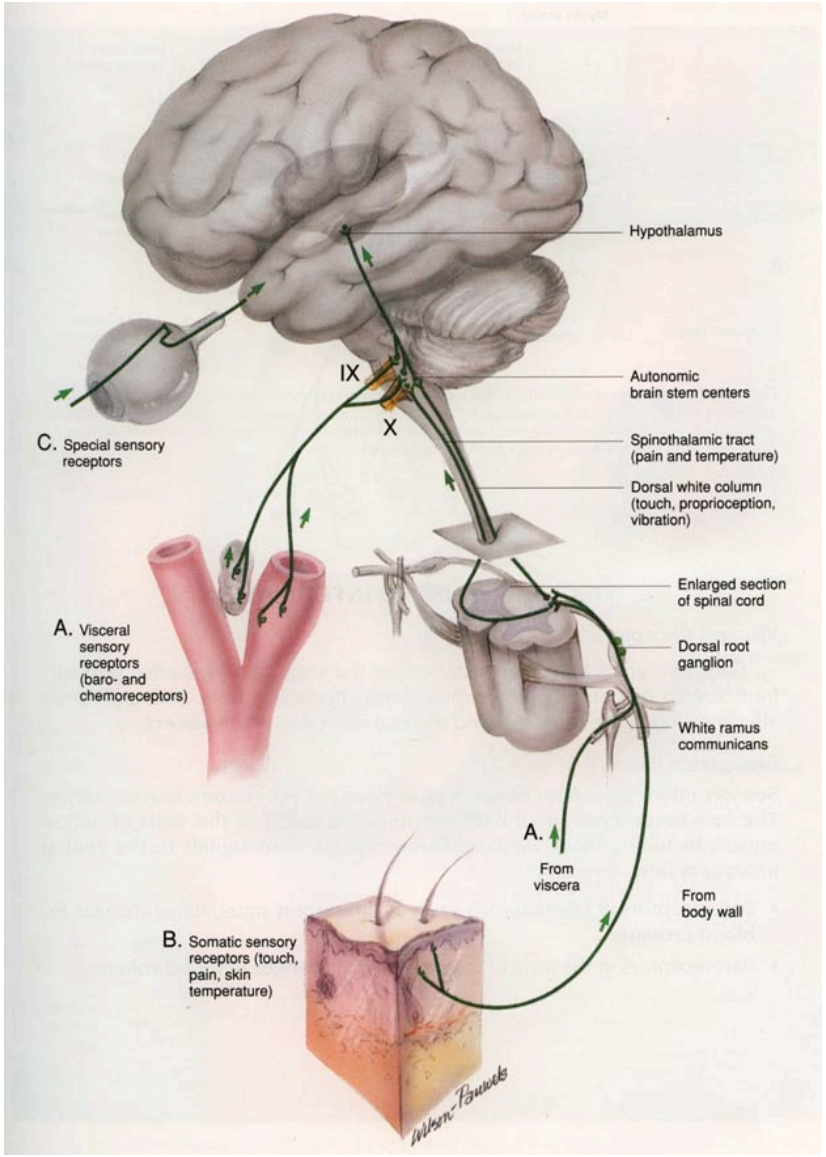


LE SYSTEME NERVEUX VEGETATIF

VOIES AFFERENTES SENSITIVES

- Les récepteurs sont situés dans la paroi des organes. Ils enregistrent l'état fonctionnel de ces organes ou la composition du milieu intérieur.

- Le neurone sensitif est situé dans un ganglion sensitif. Il est relié au récepteur périphérique par des dendrites et au tronc cérébral ou à la moelle épinière par un axone.



Caractéristiques des voies sensitives du SNV

Il existe 2 types de fibres sensitives :

- Les fibres afférentes primaires (centrales). Les corps cellulaires se situent dans les ganglions sensitifs rachidiens et dans les ganglions sensitifs des nerfs crâniens. Les axones afférents se projettent vers le SNC.

- Les fibres afférentes entériques (locales). Les corps cellulaires sont dans les ganglions entériques. Les axones des fibres afférentes envoient les informations vers les ganglions prévertébraux (sympathique) et régulent les réflexes splanchniques.

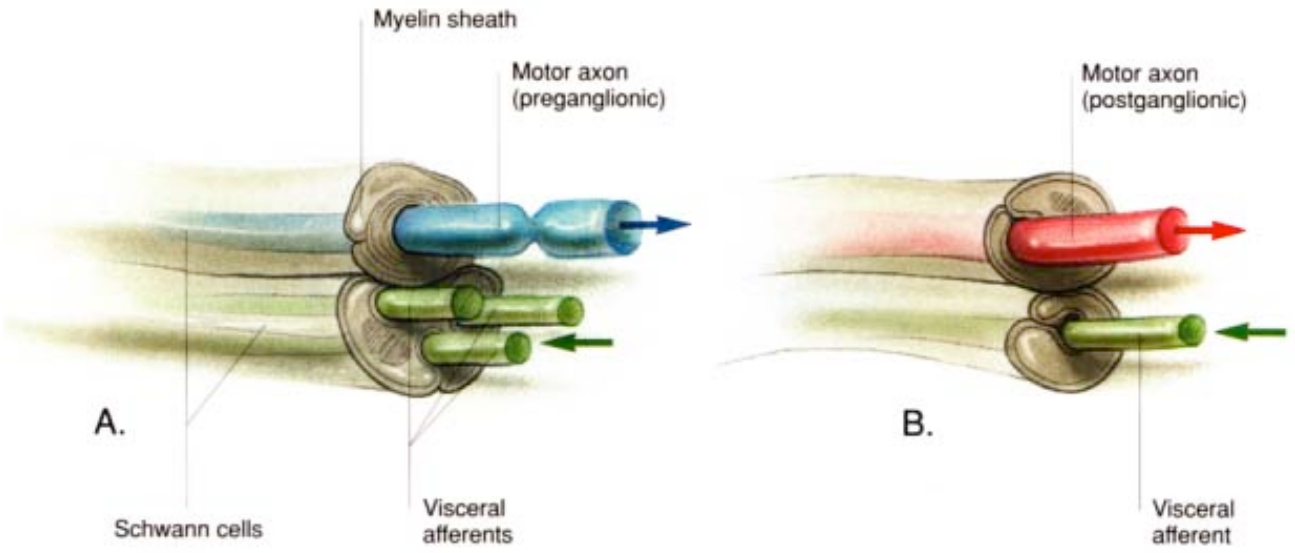
La plupart des signaux sensitifs ne sont pas perçus de façon consciente.

Les fibres afférentes sont majoritairement non myélinisées

Caractéristiques des voies sensitives du SNV

Axones sensitifs du SNV :

- Les nerfs sympathiques et parasympathiques sont des nerfs mixtes.



A. nerf parasympathique

B. nerf sympathique

LE SYSTEME NERVEUX VEGETATIF

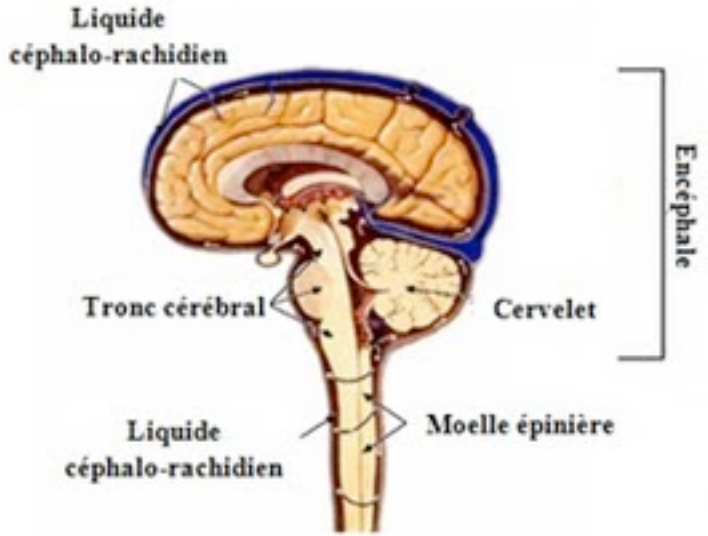
CENTRES VEGETATIFS

- C'est au niveau des centres que sont mis en rapport les neurones sensitifs et les neurones moteurs, par l'intermédiaire d'un ou de plusieurs **interneurones**.

1. Centres inférieurs

- Ces centres ont une activité propre. Ils sont situés dans le **tronc cérébral** et la **moelle épinière**. Ils constituent la voie finale commune vers les centres végétatifs supérieurs (hypothalamus).

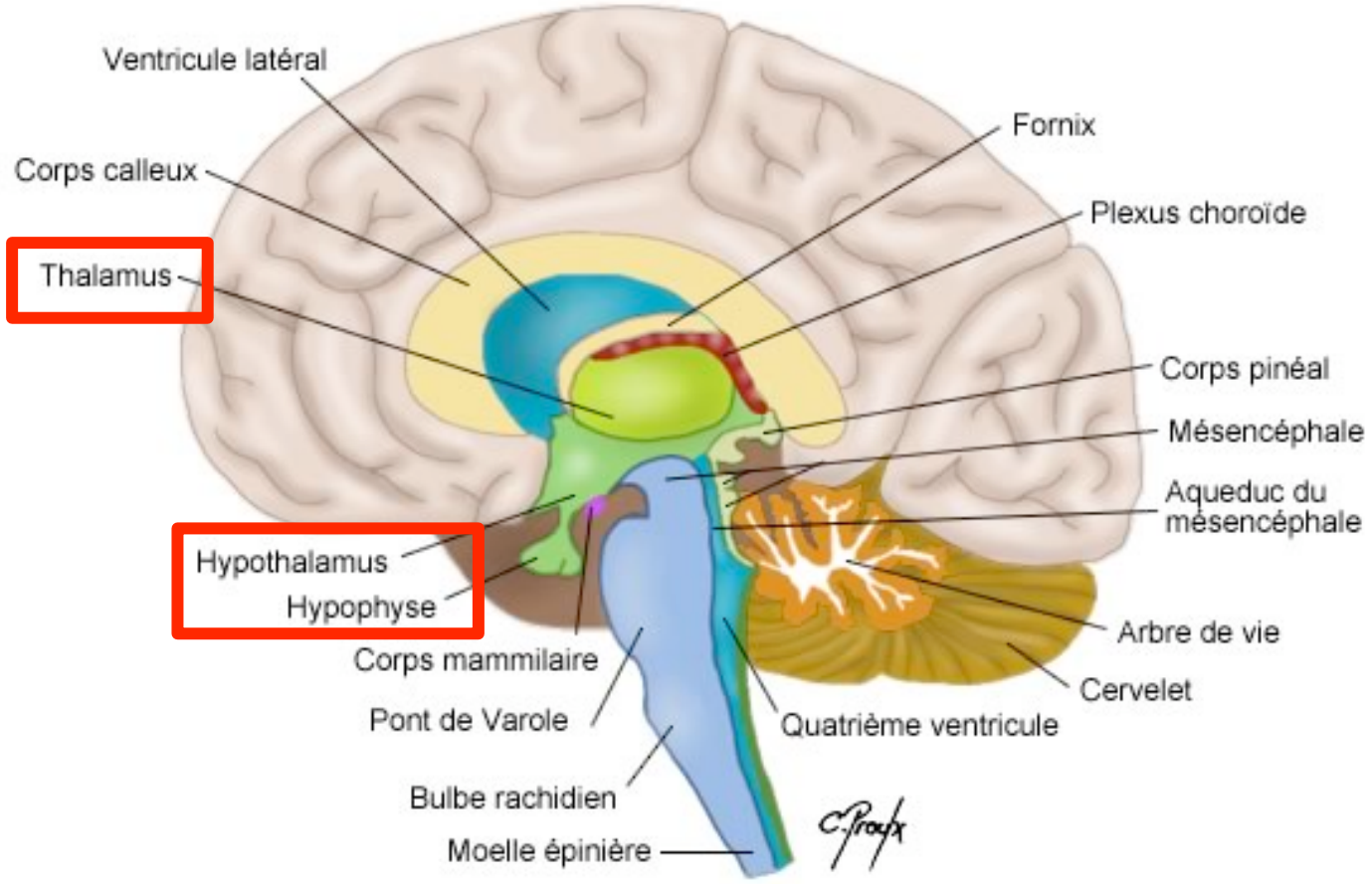
- Les centres inférieurs sont soumis à l'activité des centres supérieurs.



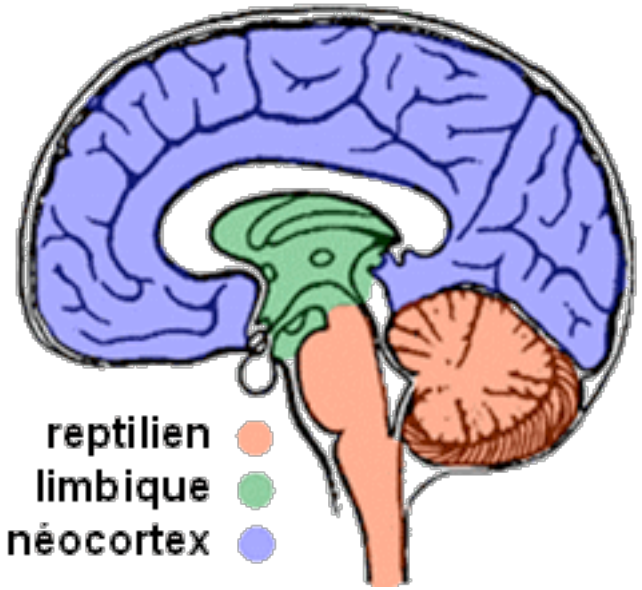
LE SYSTEME NERVEUX VEGETATIF

Centres supérieurs ou cerveau végétatif

- Ils sont situés à la base du cerveau, dans le **diencéphale**.



Les trois cerveaux (hypothèse de MacLean)



1. le cerveau reptilien (orange)
2. le cerveau des mammifères appelé système limbique (Vert)
3. le cerveau associatif ou cortex (Violet)

La théorie du cerveau tri- unique de Paul MacLean est la suivante : le cerveau humain est constitué de trois formations évolutives bien différentes anatomiquement et fonctionnellement.

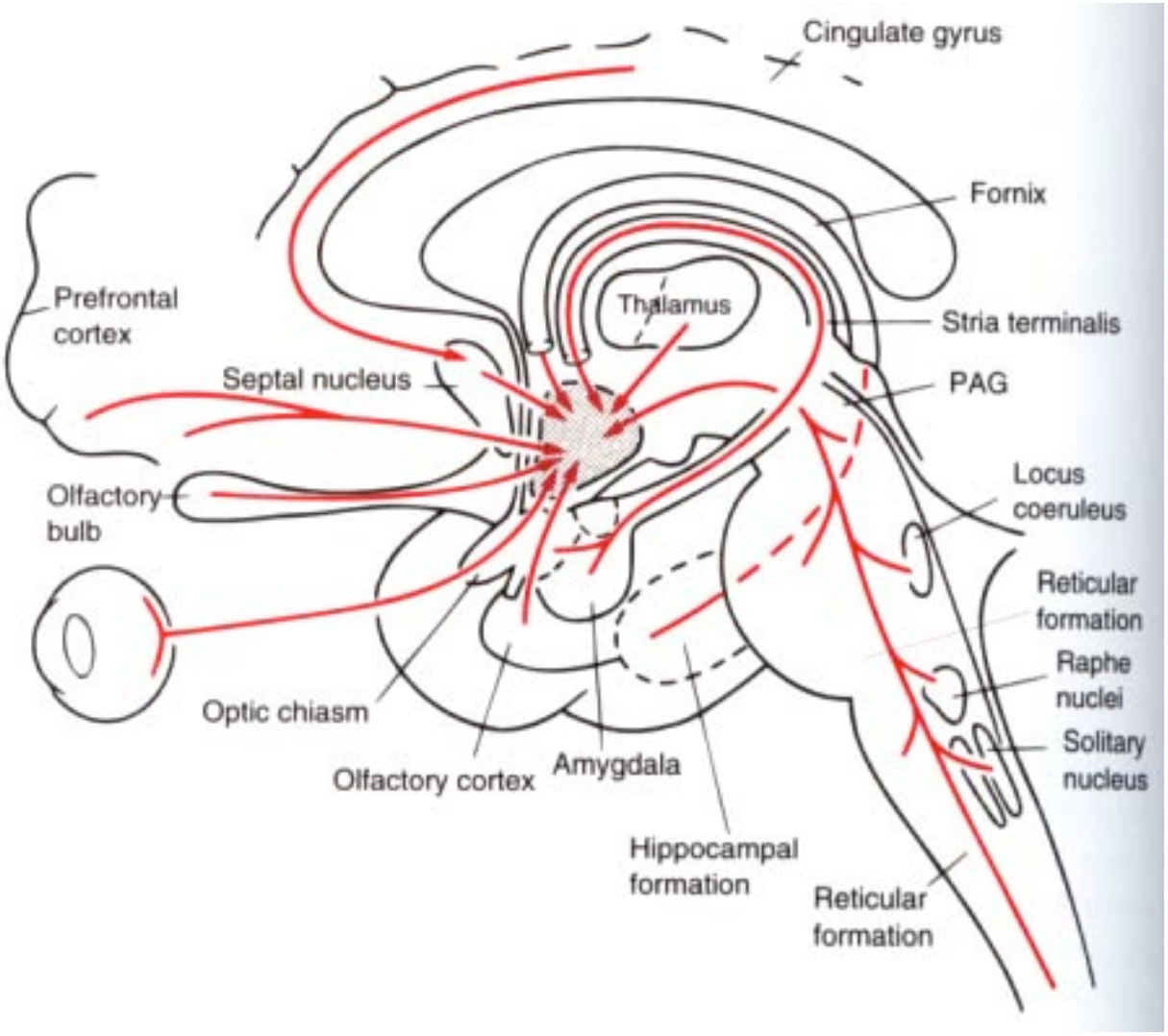
À la base, le cerveau reptilien hérité de nos plus lointains ancêtres (l'instinct).

Autour et au-dessus, un cerveau paléo-mammalien (limbique) apparu dès la naissance des précurseurs des mammifères actuels (l'émotion).

Autour encore et sur l'avant, un cerveau néo-mammalien (néo-cortex) humain (la raison).

Connexions de l'hypothalamus

1. aux centres supérieurs du cortex cérébral
2. aux voies de la sensibilité végétative
3. aux voies de la motricité végétative, par l'intermédiaire des centres inférieurs
4. aux glandes exocrines par l'intermédiaire de l'hypophyse



LE SYSTEME NERVEUX VEGETATIF

VOIES EFFERENTES

1. Le neurone effecteur

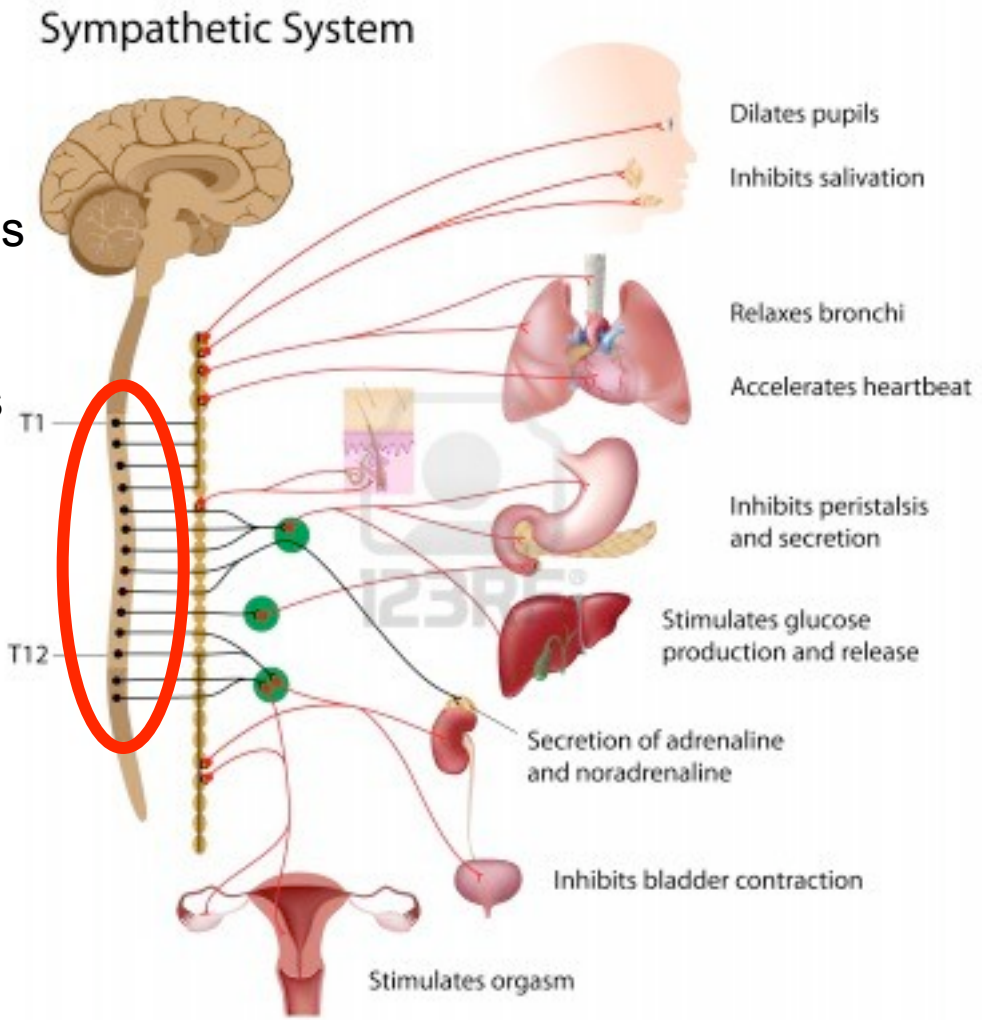
- Le neurone effecteur est situé dans un ganglion végétatif, en dehors de l'axe cérébrospinal. Il est relié à l'effecteur périphérique par son axone.

- Le ganglion végétatif est relié aux centres nerveux du tronc cérébral et de la moelle épinière par les axones myélinisés des neurones préganglionnaires.

Le système sympathique

Les fibres nerveuses préggl quittent les segments thoraco-lombaires se dirigent vers les ganglions sympathiques où elles forment des synapses avec les neurones postganglionnaires.

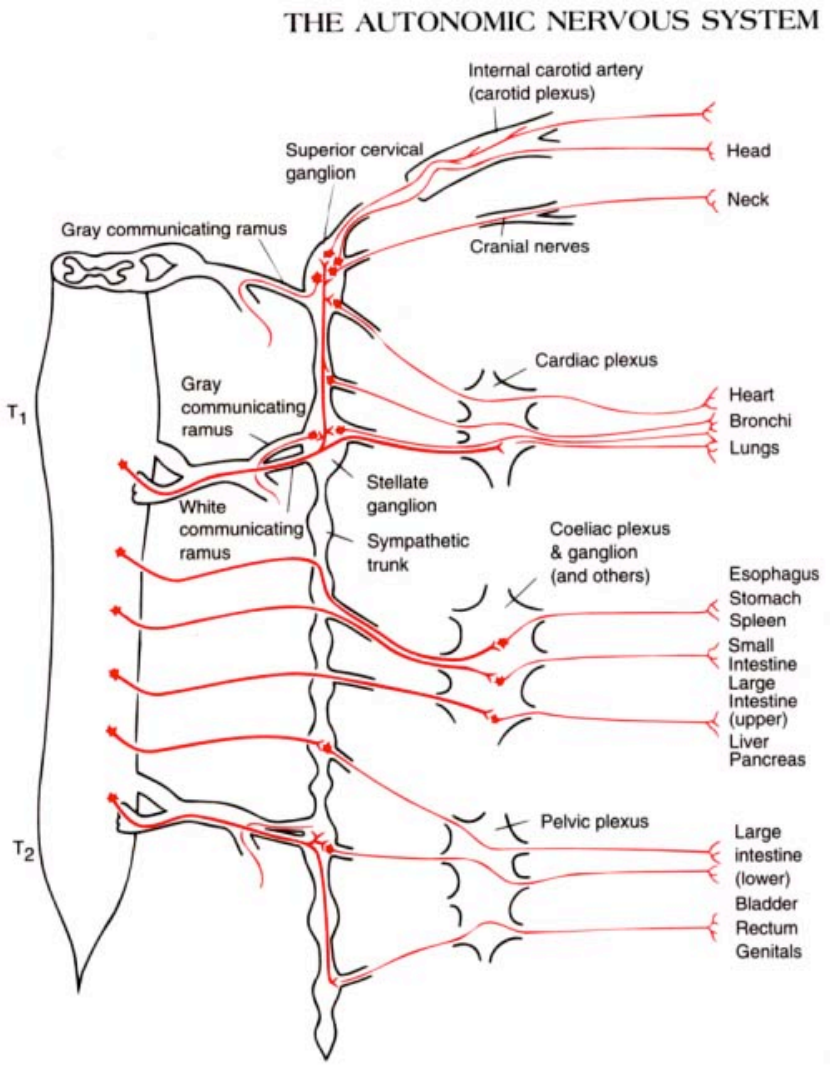
Les neurones postganglionnaires innervent les organes effecteurs.



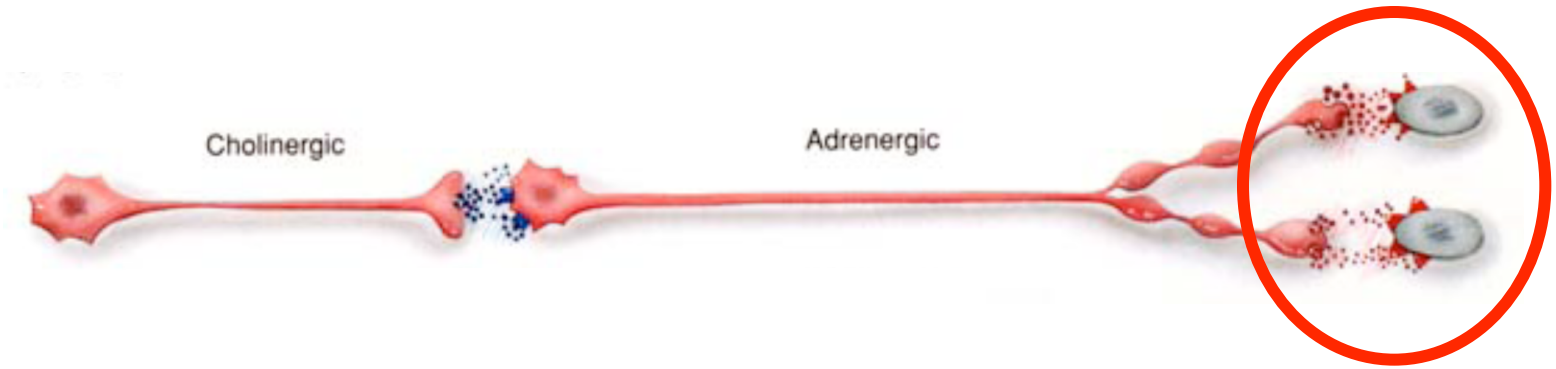
Le système sympathique

On peut distinguer 6 plexus végétatifs :

1. Céphalique : œil, glandes lacrymales et salivaires et la muqueuse nasale
2. Cardiaque : cœur
3. Bronchopulmonaire : bronchioles
4. Épigastrique : système digestif
5. Lombo-aortique ou mésentérique : système digestif
6. Hypogastrique : organes pelviens (rectum, vessie, organes génitaux).



Le système sympathique



Effecteurs

La connexion sur l'effecteur musculaire ou glandulaire est **adrénergique** : sécrétions de catécholamines (adrénaline et noradrénaline).

- Provoque contraction ou relâchement des muscles lisses suivant le type de récepteurs présent sur leur membrane :

  contraction ➔ récepteur alpha

  relâchement ➔récepteur bêta

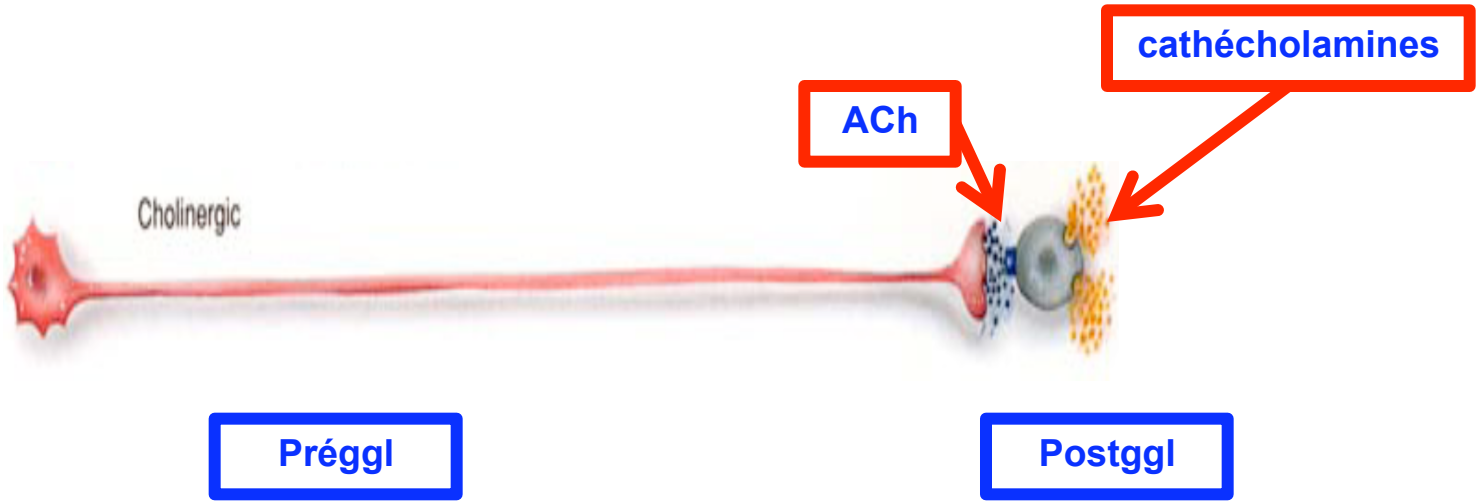
- Au niveau du coeur, ce sont des récepteurs bêta, mais sous l'action de l'adrénaline, ils provoquent une augmentation de fréquence et de force de contraction au myocarde.

Le système sympathique

Médullo-surrénale

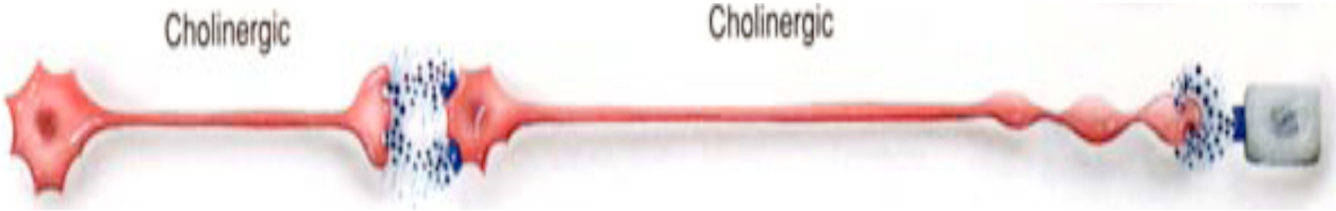
- les cellules chromaffines de la médullosurrénale libèrent une décharge de cathécholamines dans le sang. Cette glande endocrine **augmente et amplifie** l'action du système sympathique sur l'organisme.

- Cette glande peut être assimilée à un ganglion du système sympathique au sein duquel les neurones post-ganglionnaires se sont différenciés en cellules endocrines.



Le système sympathique

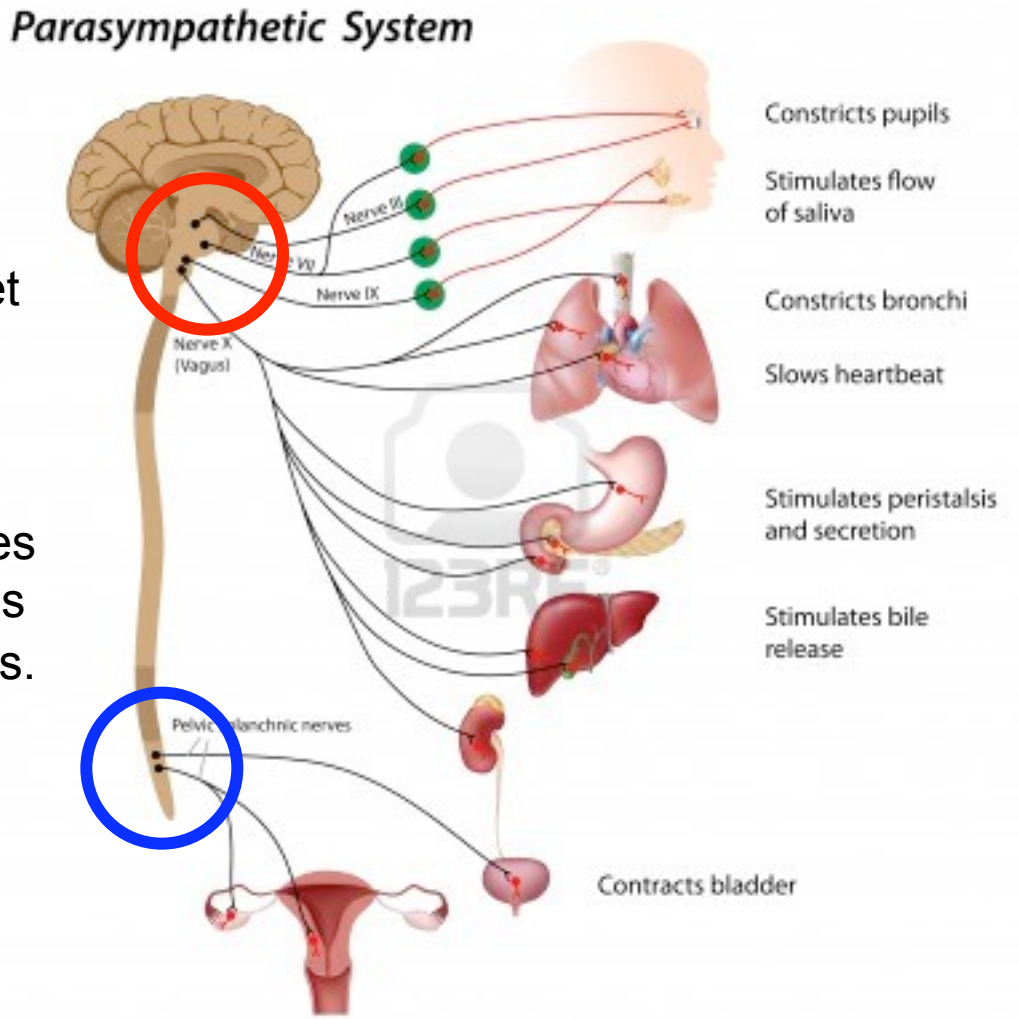
Les glandes sudoripares



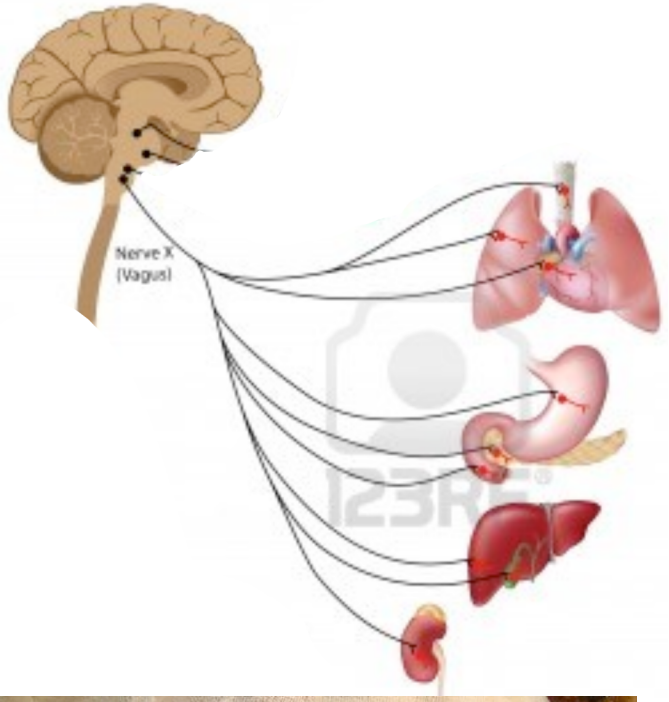
Le système parasympathique

Les fibres nerveuses préganglionnaires quittent le SNC par des nerfs **crâniens** et **sacrés**.

Ils forment des connexions synaptiques avec des neurones postganglionnaires courts dans ou prés des organes effecteurs.

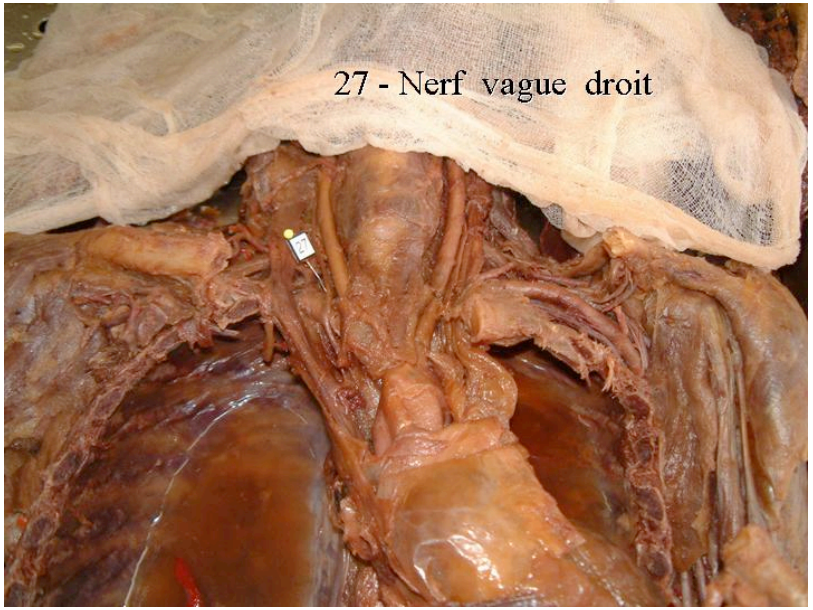


Le système parasympathique



Nerf vague ou pneumogastrique (X)

- Seul le nerf X assure l'innervation des organes thoraciques et abdominaux. Il forme l'équivalent pour le parasympathique de la chaîne des ganglions sympathiques pour le sympathique.



Les plexus végétatifs

- Les plexus végétatifs du système parasympathique sont identiques à ceux du système sympathique.

Le système parasympathique

Effecteurs

- La connexion entre la terminaison nerveuse parasympathique et l'effecteur musculaire ou glandulaire est cholinergique.

- l'acétylcholine provoque la contraction ou le relâchement des fibres musculaires lisses suivant le type de récepteur que porte leur membrane, les récepteurs parasympathiques n'ont pas encore été subdivisés comme les récepteurs sympathiques.

Voies efférentes du SNV

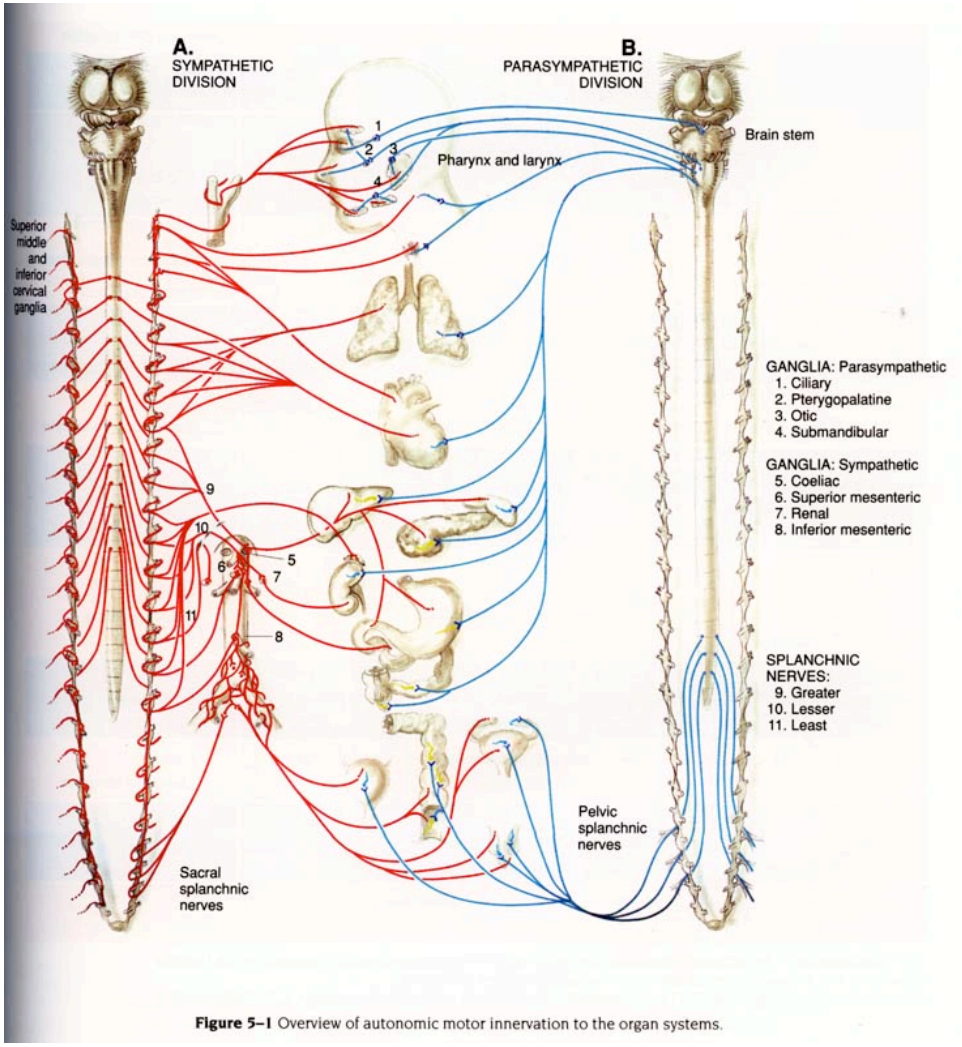
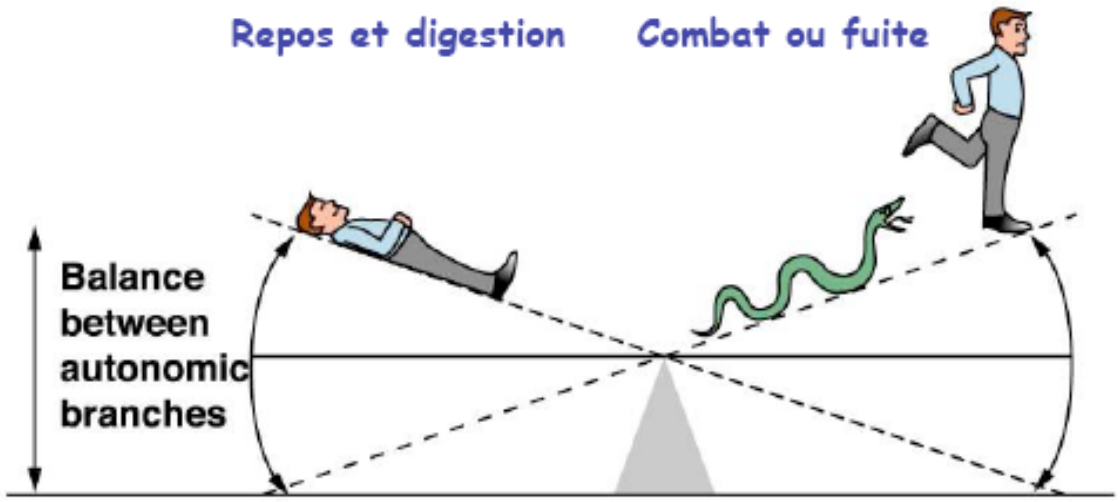


Figure 5–1 Overview of autonomic motor innervation to the organ systems.

Système nerveux végétatif (actions antagonistes)



PARASYMPATHIQUE DOMINE SYMPATHIQUE DOMINE

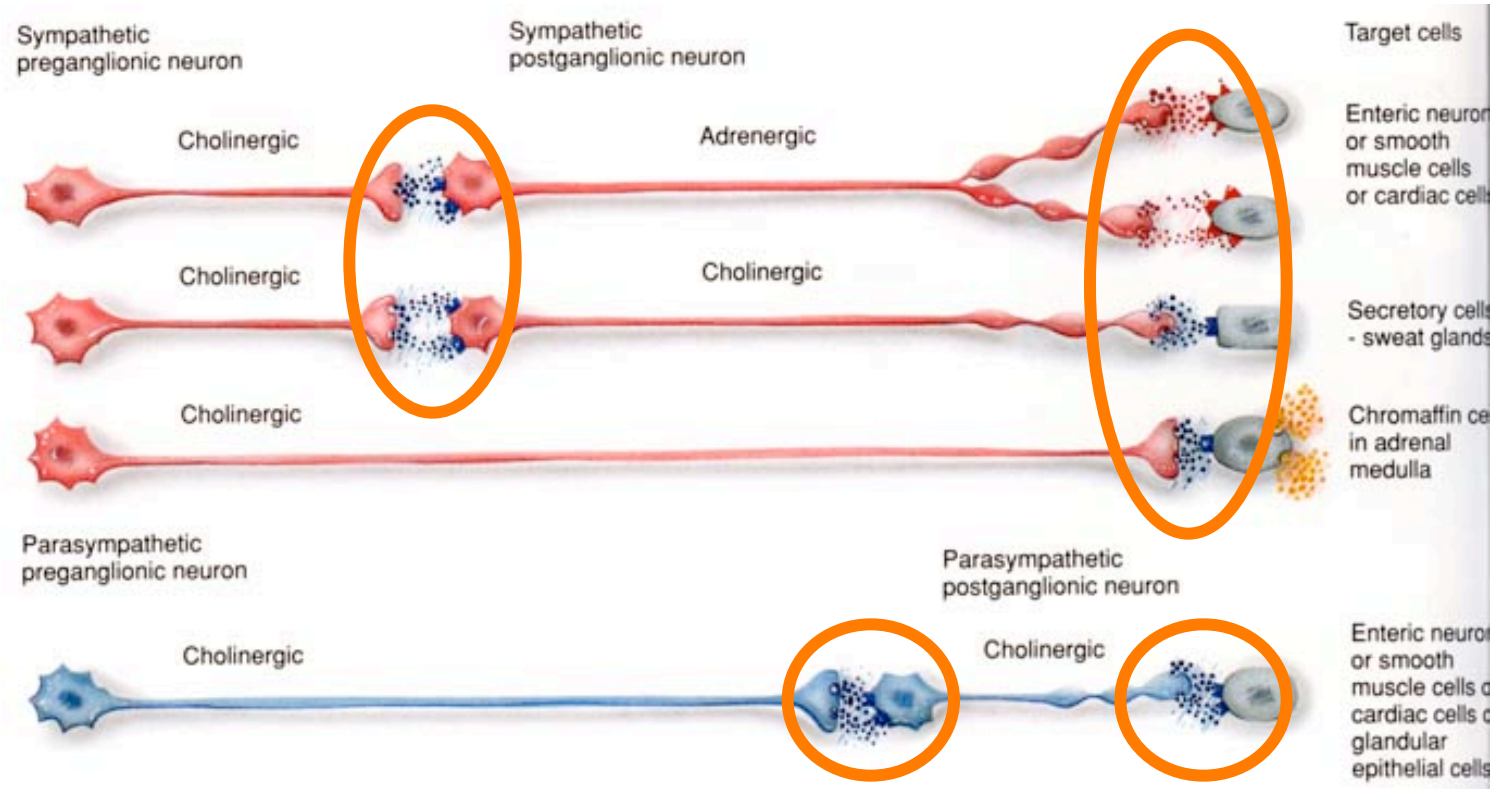
En général, les systèmes sympathique et parasympathique ont des effets opposés. Le système parasympathique permet le maintient des ressources corporelles (diminution du rythme cardiaque et de la pression artérielle). Il favorise la digestion. Il prépare le corps à la relaxation et au repos.

Le système sympathique intervient dans la réponse au stress par une accélération du rythme cardiaque, de la pression artérielle et par la mobilisation des réserves énergétiques : il prépare l'organisme à l'action.

Médiateurs et cibles du SNV

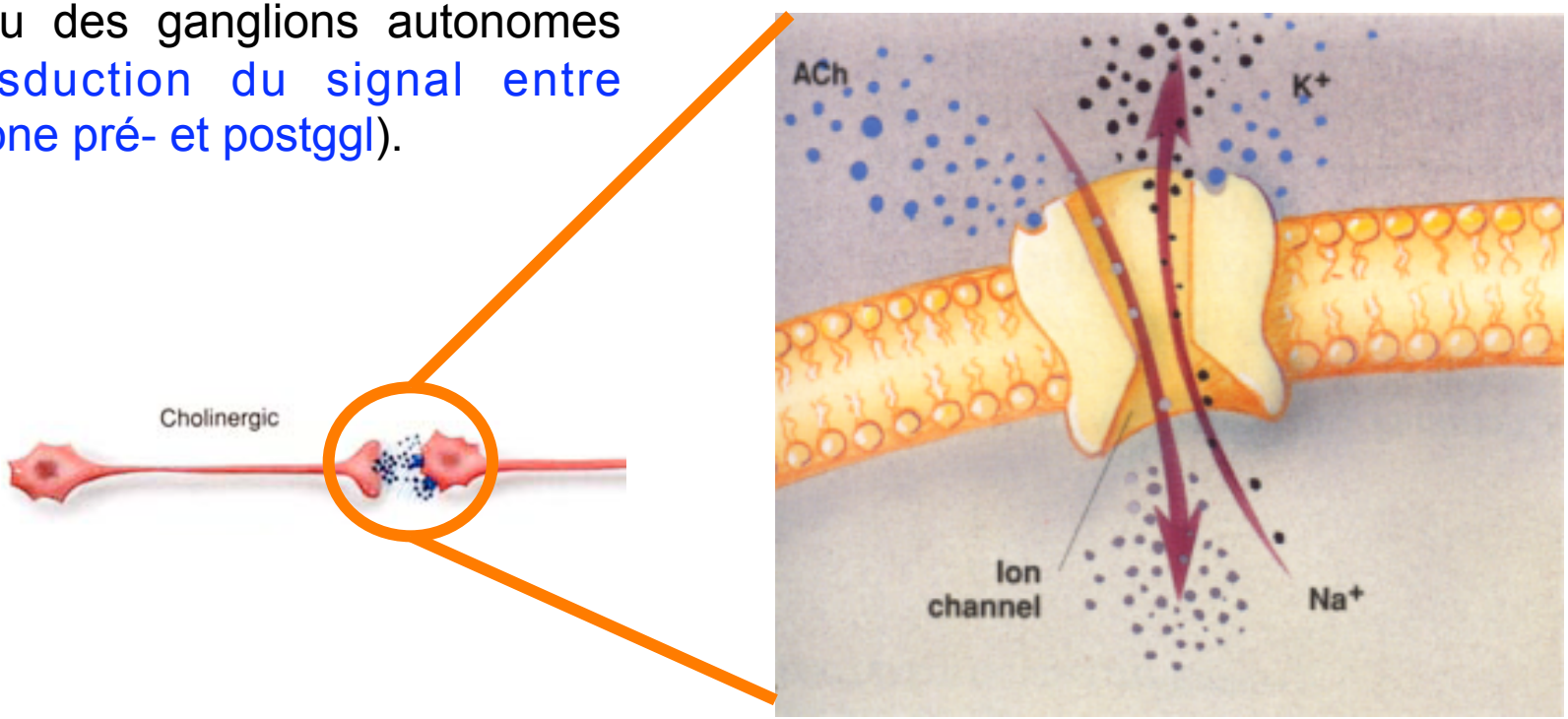
Principaux récepteurs exprimés par les neurones postggl et les cellules effectrices

- Récepteurs adrénergiques : **α et β**
- Récepteurs cholinergiques : **muscariniques ou nicotiniques**.



Médiateurs et cibles du SNV

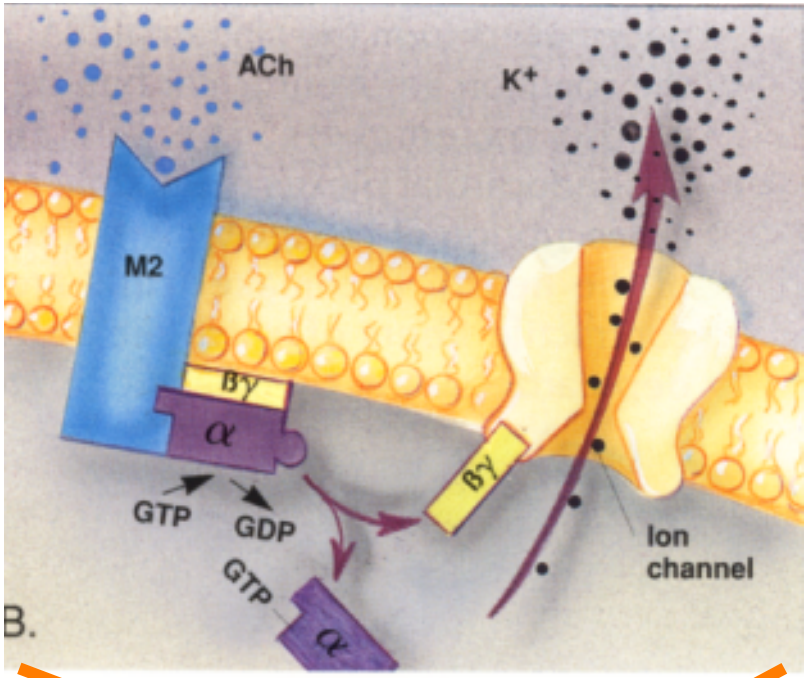
Les RAChN sont localisés au niveau des ganglions autonomes (transduction du signal entre neurone pré- et postggl).

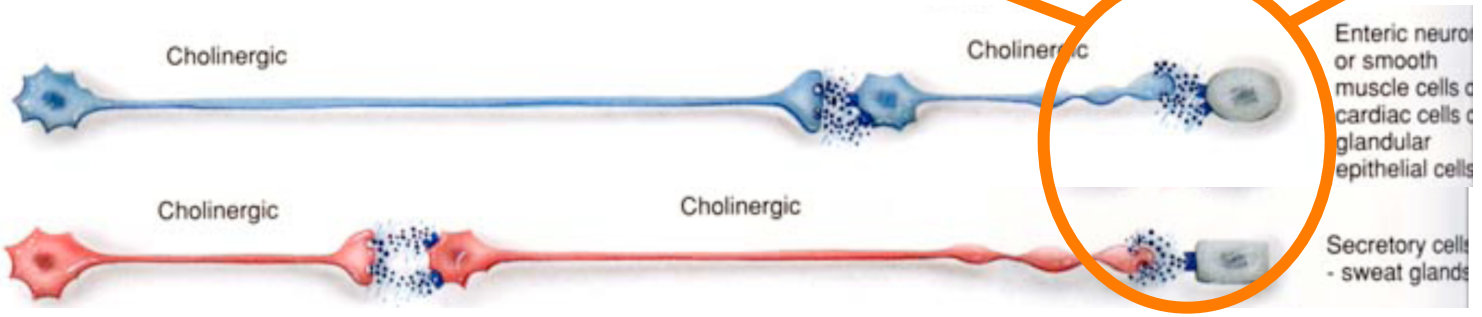


Médiateurs et cibles du SNV

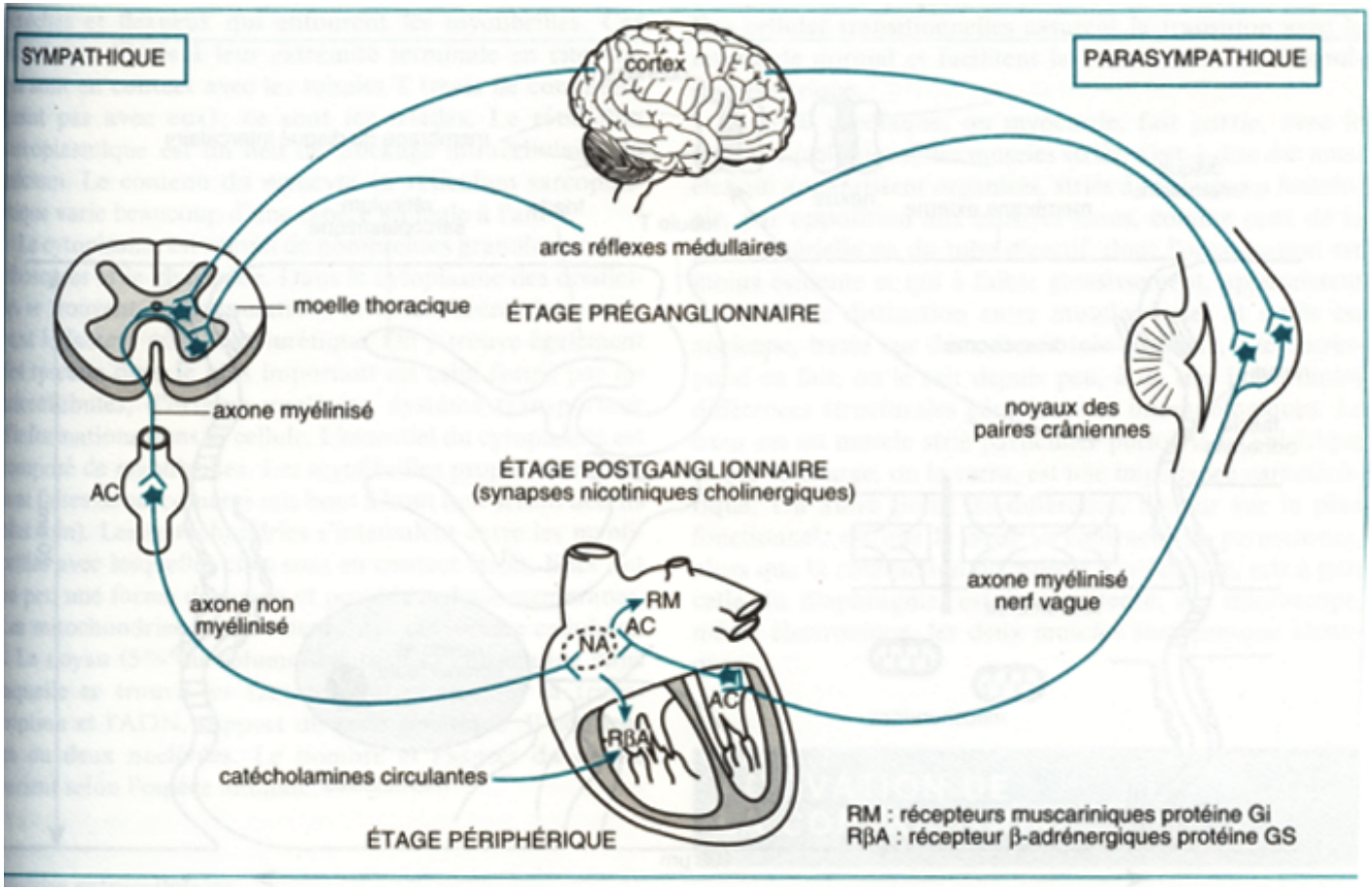
- Les RAChM interviennent dans la transduction des signaux émis par les cellules postggl (actions des nerfs parasympathique).

- Ces récepteurs sont aussi impliqués dans l'innervation sympathique des **glandes sudoripares**.

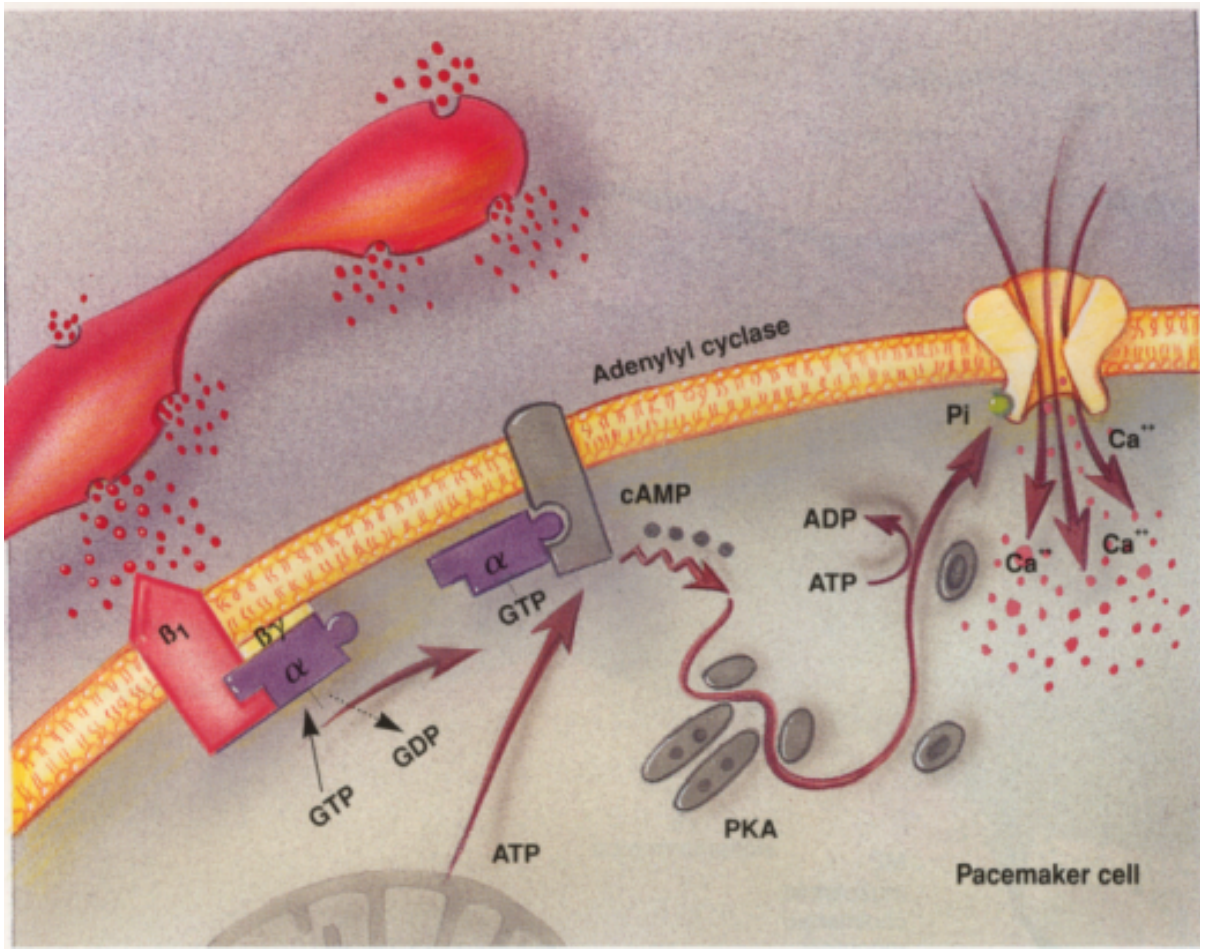




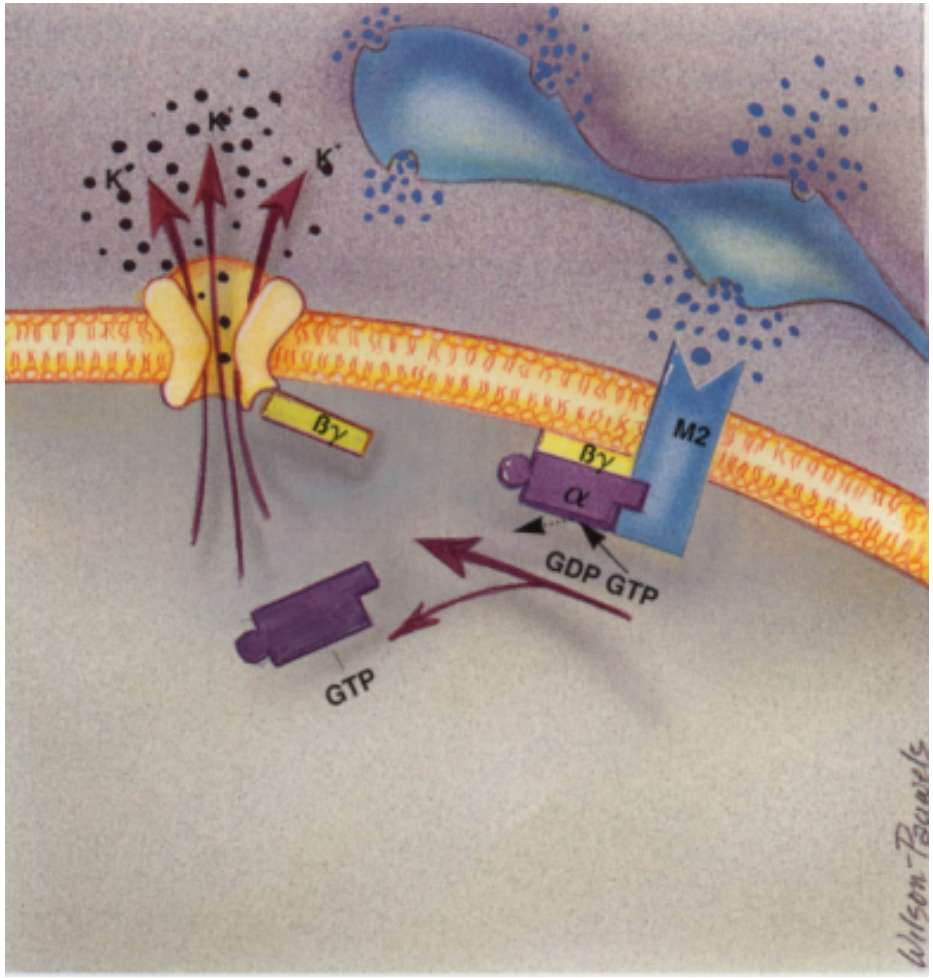
Innervation cardiaque et tissu de conduction



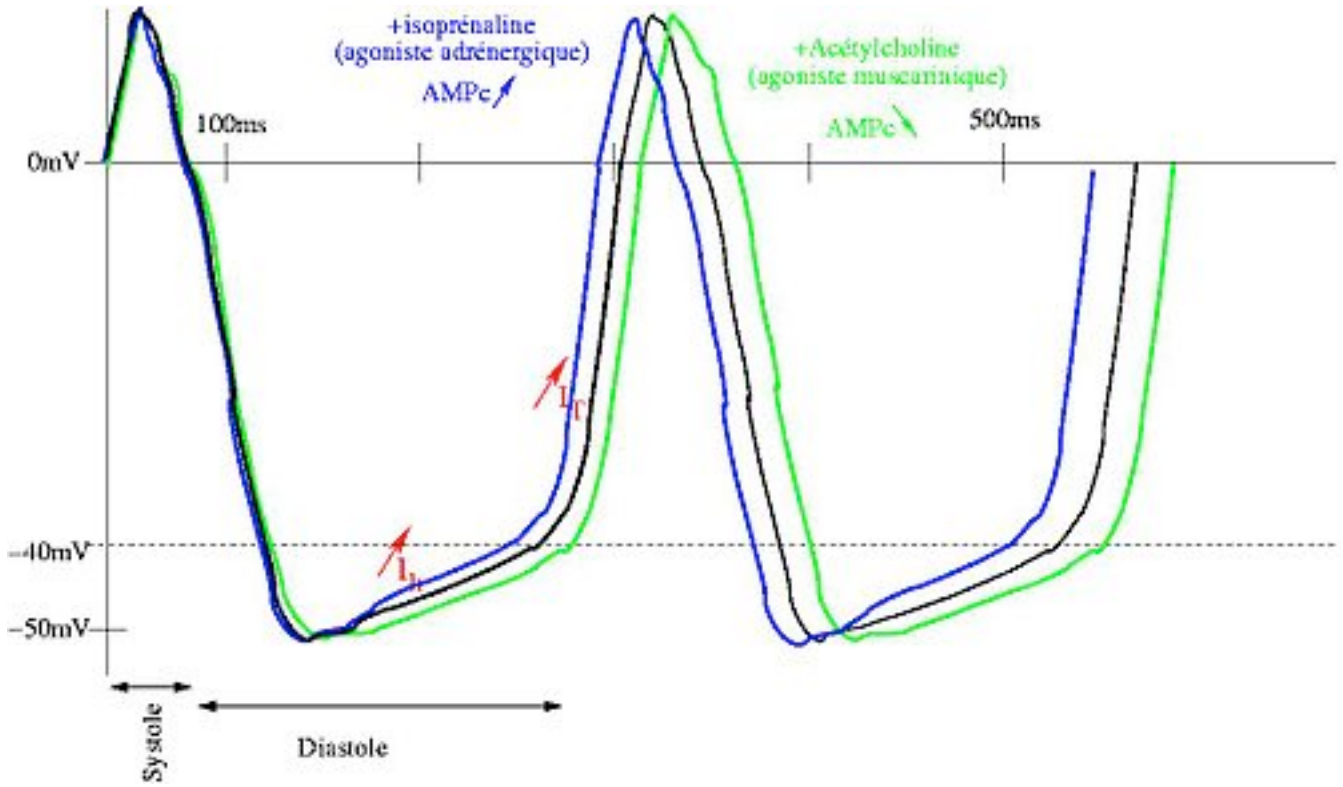
La stimulation sympathique augmente la fréquence des PA dans les cellules pacemaker



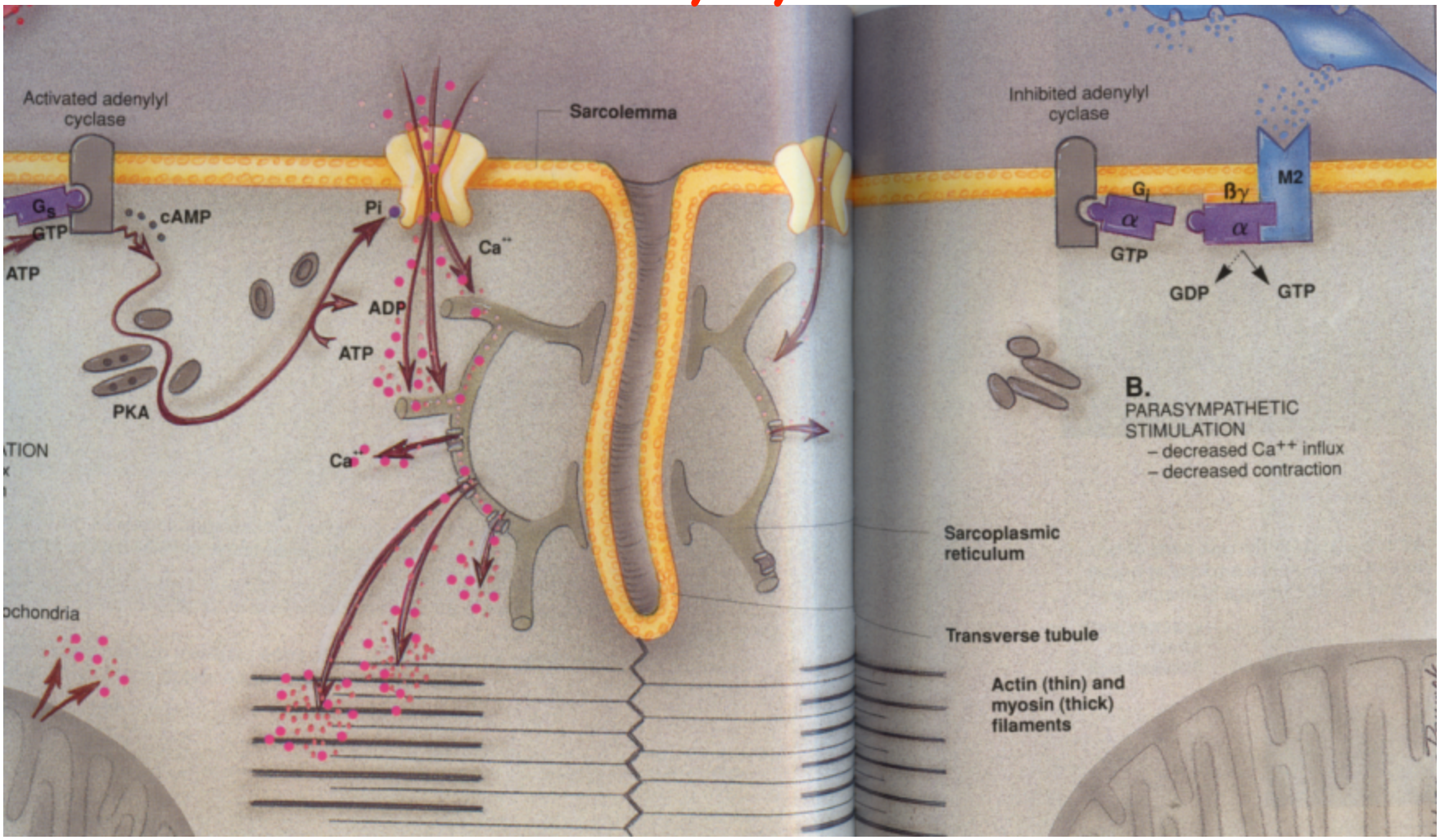
La stimulation parasympathique diminue la fréquence des PA dans les cellules pacemaker



Innervation cardiaque et tissu de conduction



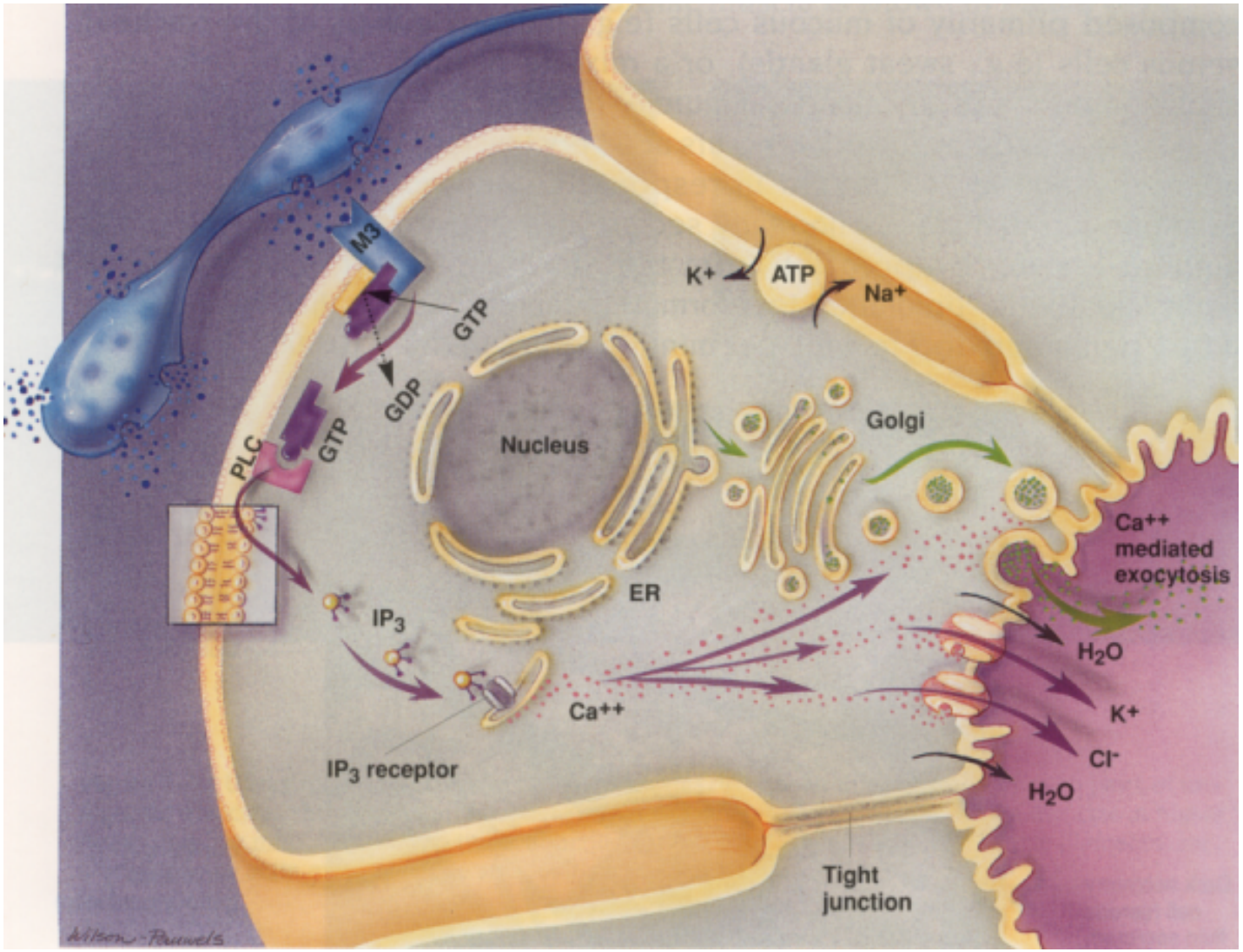
Action sympathique et parasympathique sur les cardiomyocytes



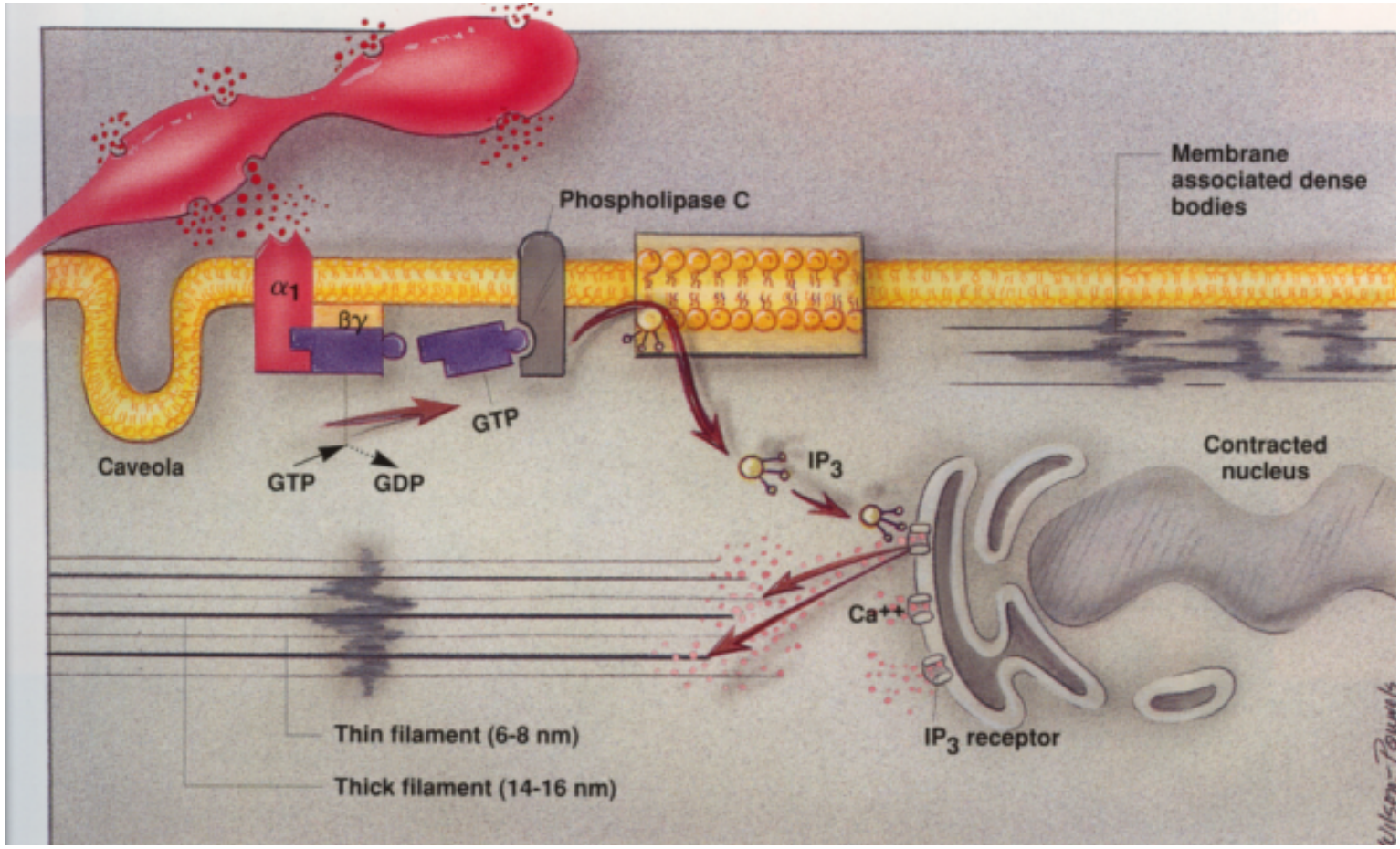
Action sympathique

Action paraympathique

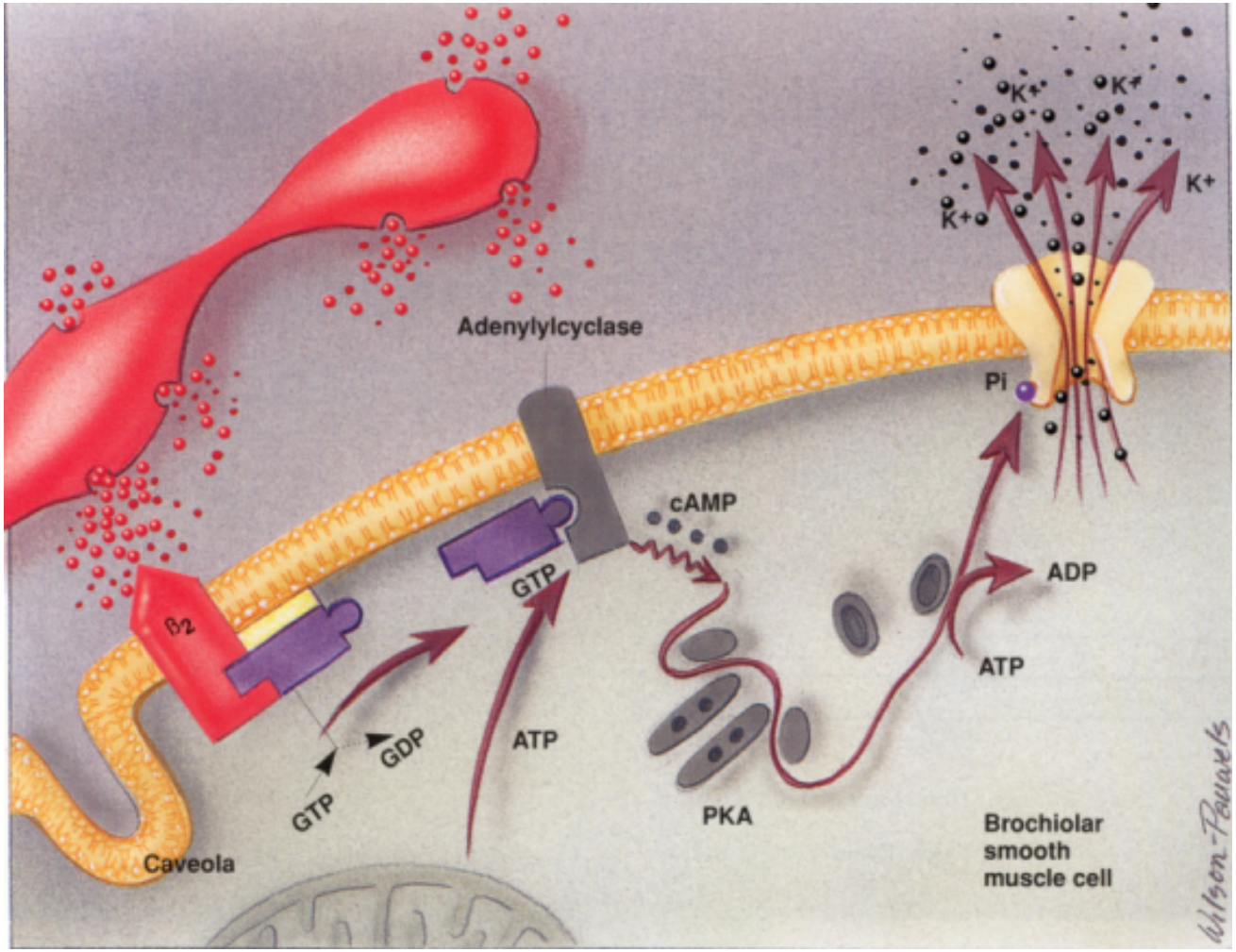
Action des nerfs parasympathiques sur les cellules exocrines



Les nerfs sympathiques provoquent une contraction des CML des vaisseaux sanguins par l'IP3



Les nerfs sympathiques relaxent les CML des bronches par augmentation du flux K+



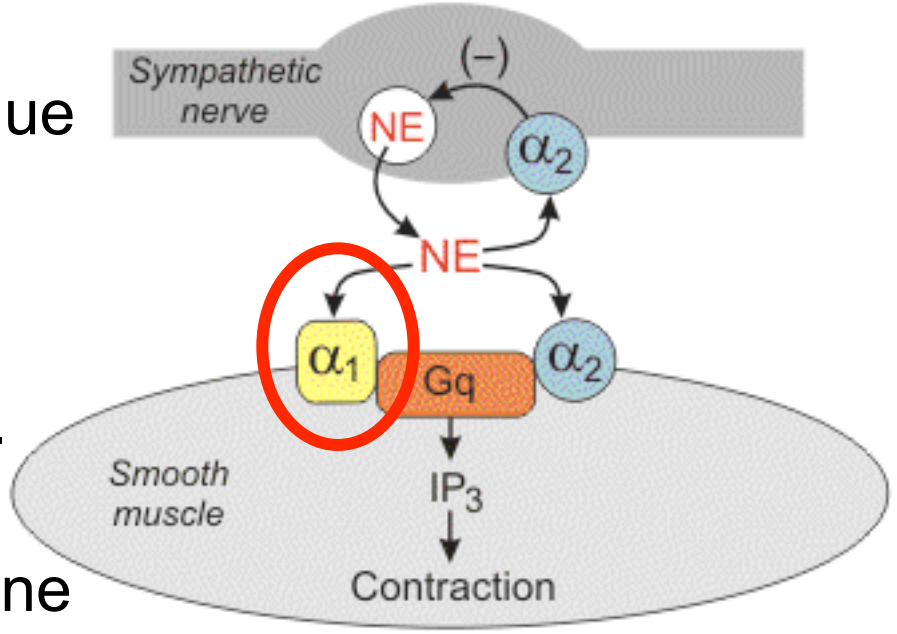
Résumé sur les récepteurs NA

- Les réponses à la NA varient d'une structure à l'autre (excitation, inhibition), selon la répartition différentielle par 2 grandes classes de récepteurs, α et β.

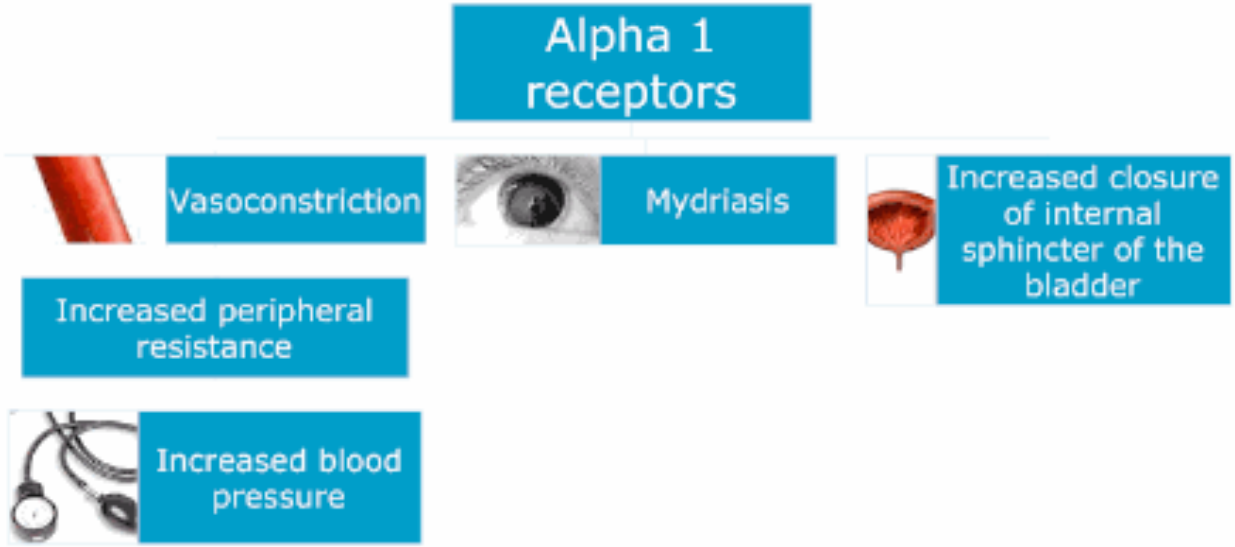
- D'une manière générale les récepteurs α ont une plus grande affinité pour la NA.

Les récepteurs α1

- Rα1 (postsynaptique) dépolarise les cellules et active le métabolisme phosphoinositidique via une protéine G.
- Rα1 mobilise le calcium extracellulaire et intracellulaire.
- Agonistes : Adrénaline; Clonidine
- Antagonistes (α1; α2) : Phentolamine; Yohimbine



Activation des récepteurs α 1 sur différents tissus et systèmes

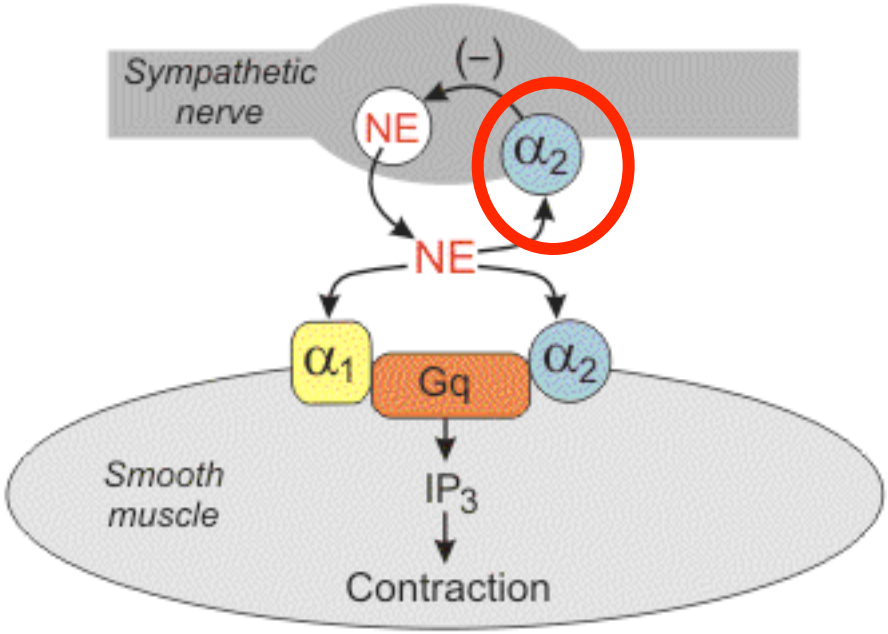


Les récepteurs α2

- Ils **contrôlent surtout la synthèse et la libération de la NA**.

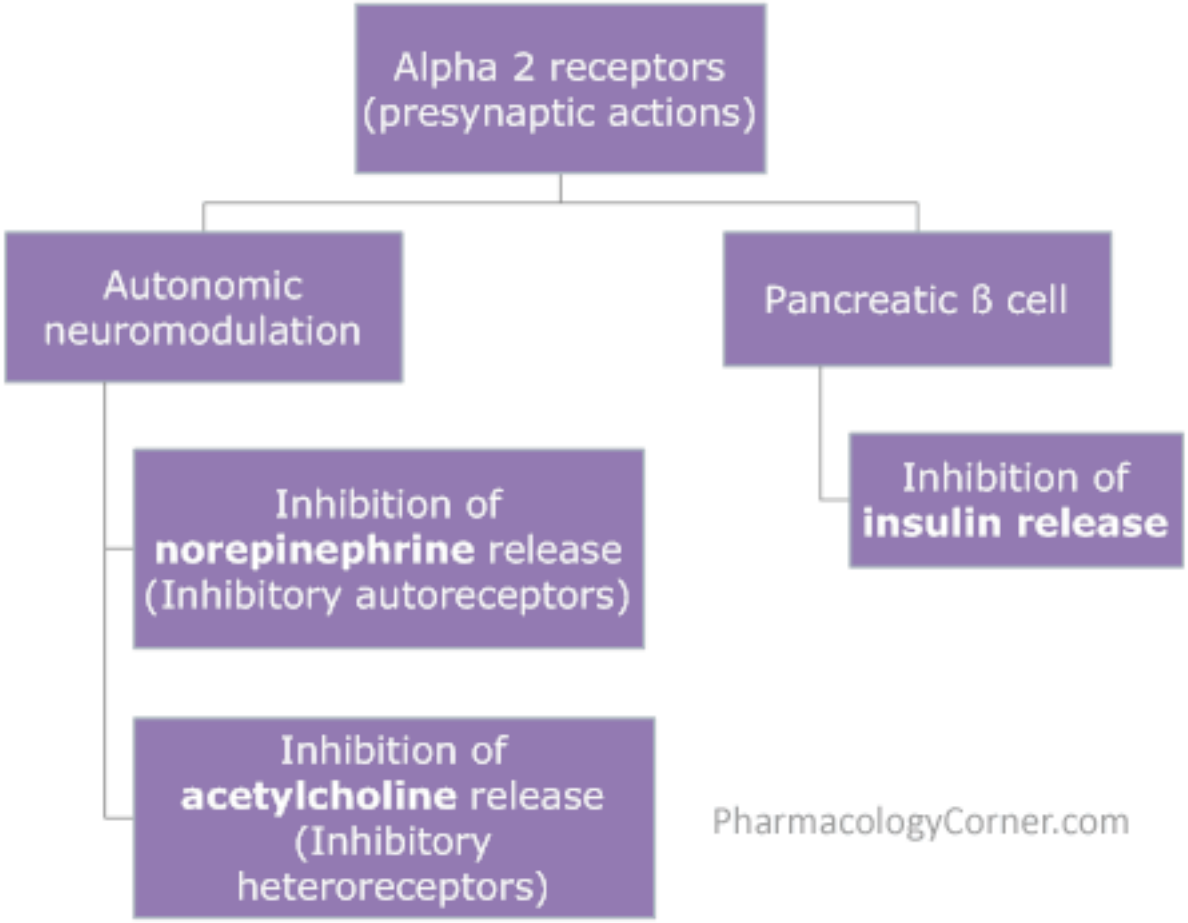
- Les agonistes NAergiques hyperpolarisent les cellules cibles et diminuent la formation d'AMPc via une protéine Gi.

- Ouverture des canaux K^+ suivie d'un blocage des canaux Ca^{2+} ou directement inhibition des canaux Ca^{2+} VD.



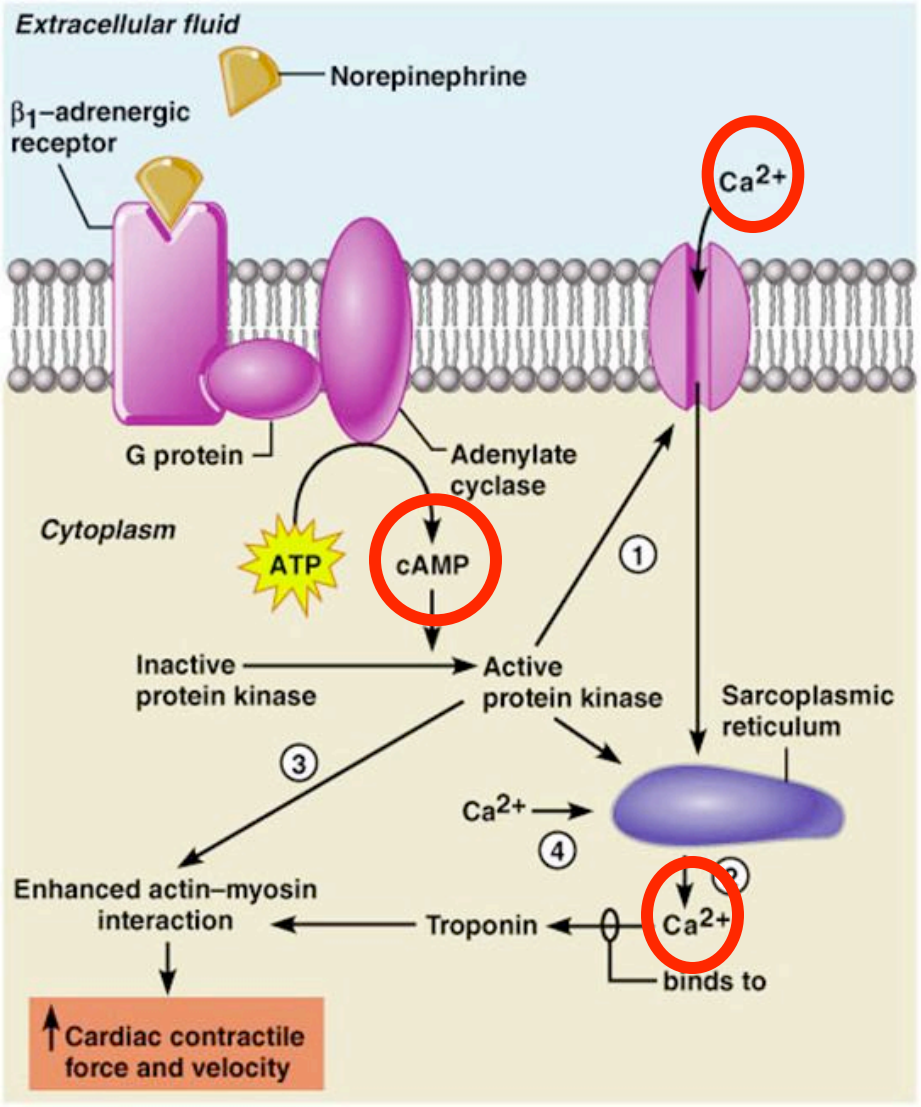
Agonistes – antagonistes :
cf récepteurs α1

Les récepteurs α2

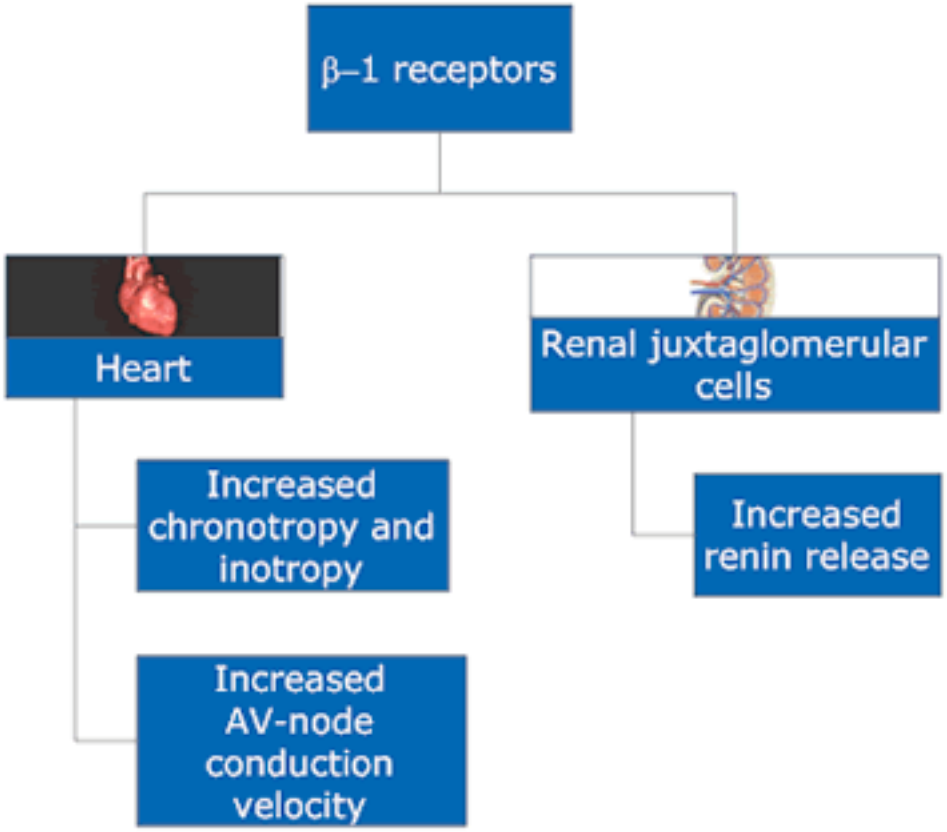


Les récepteurs β

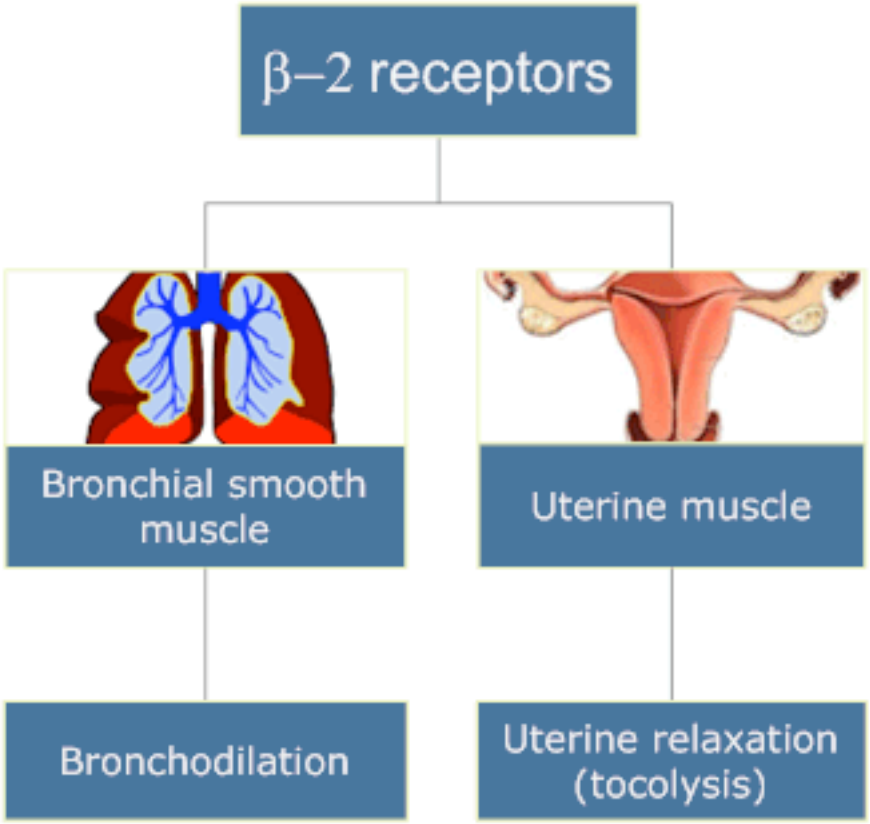
- Terminaisons NAergiques en pré- et post-synaptiques.
- Présynaptique : ↗ libération de NA.
- Il sont liés à une protéine Gs dont la stimulation entraîne la formation d'**AMPc**.
- Agonistes : Isoprénaline (β1 = β2)
- Antagonistes : Aténolol (β1 > β2); Propanolol (β1 = β2)



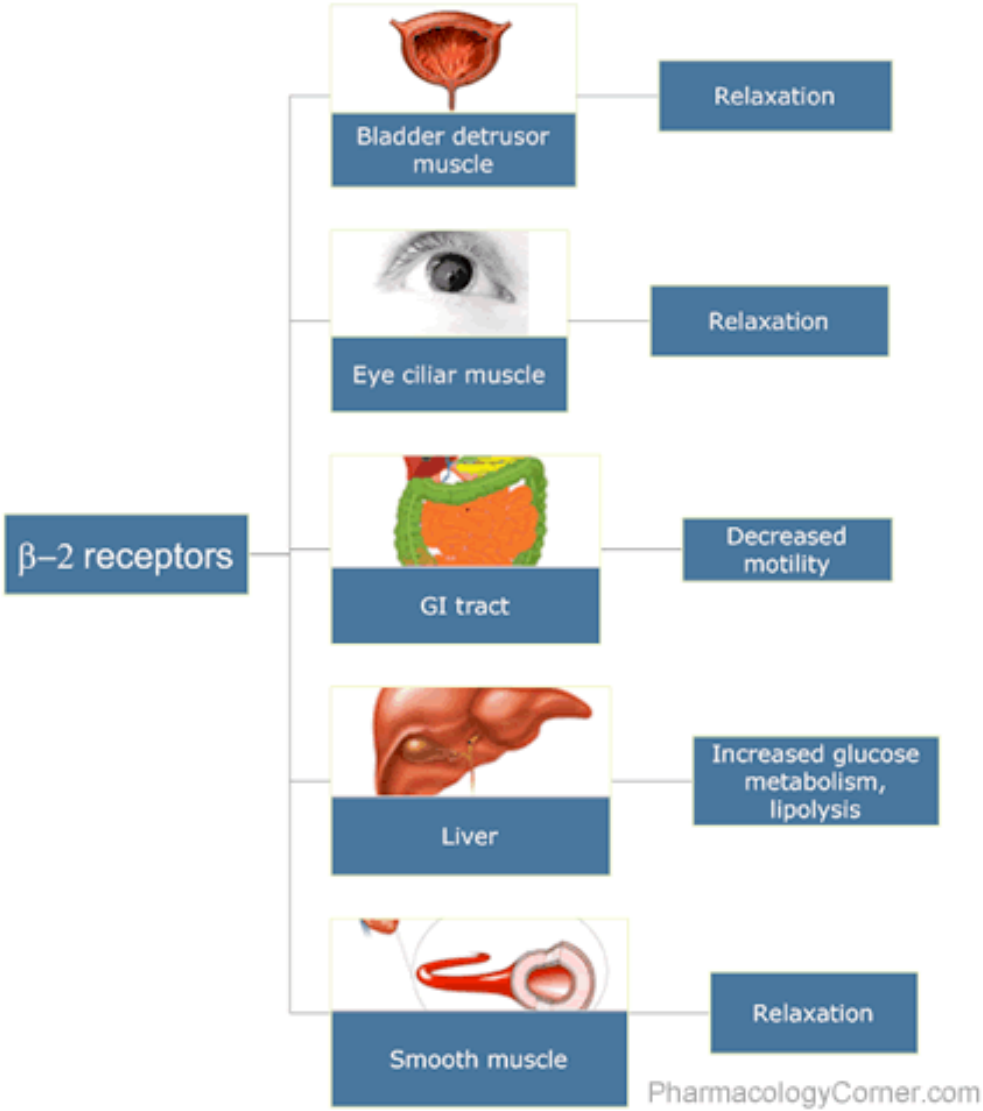
Les récepteurs ß1



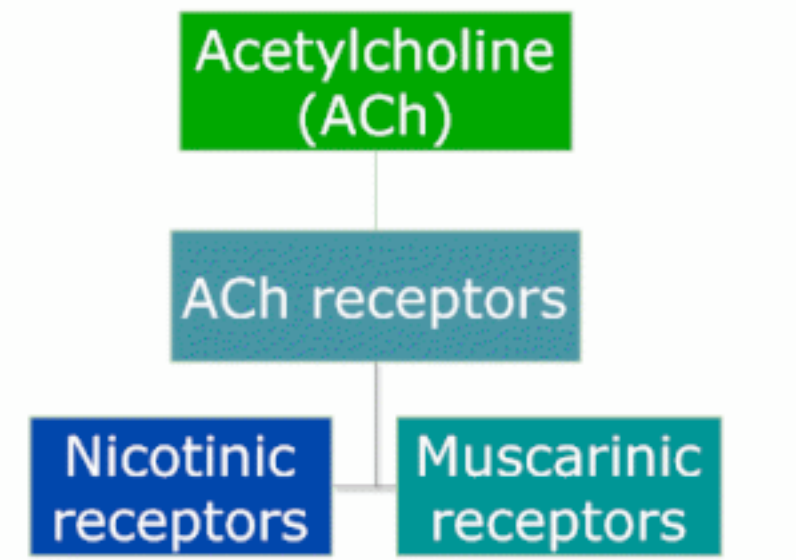
Les récepteurs ß2



Les récepteurs ß2

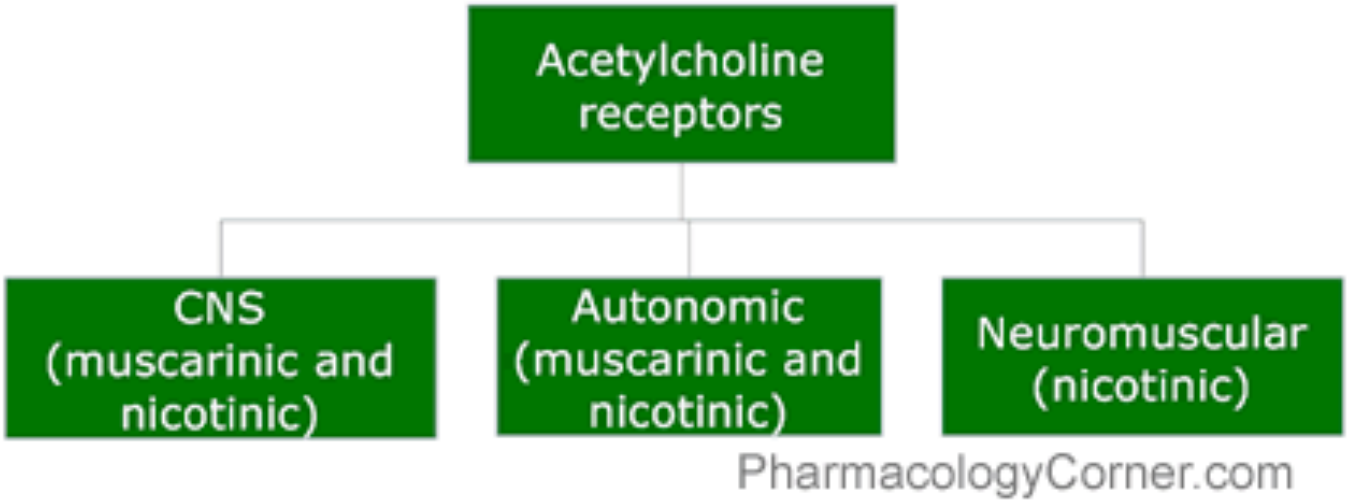


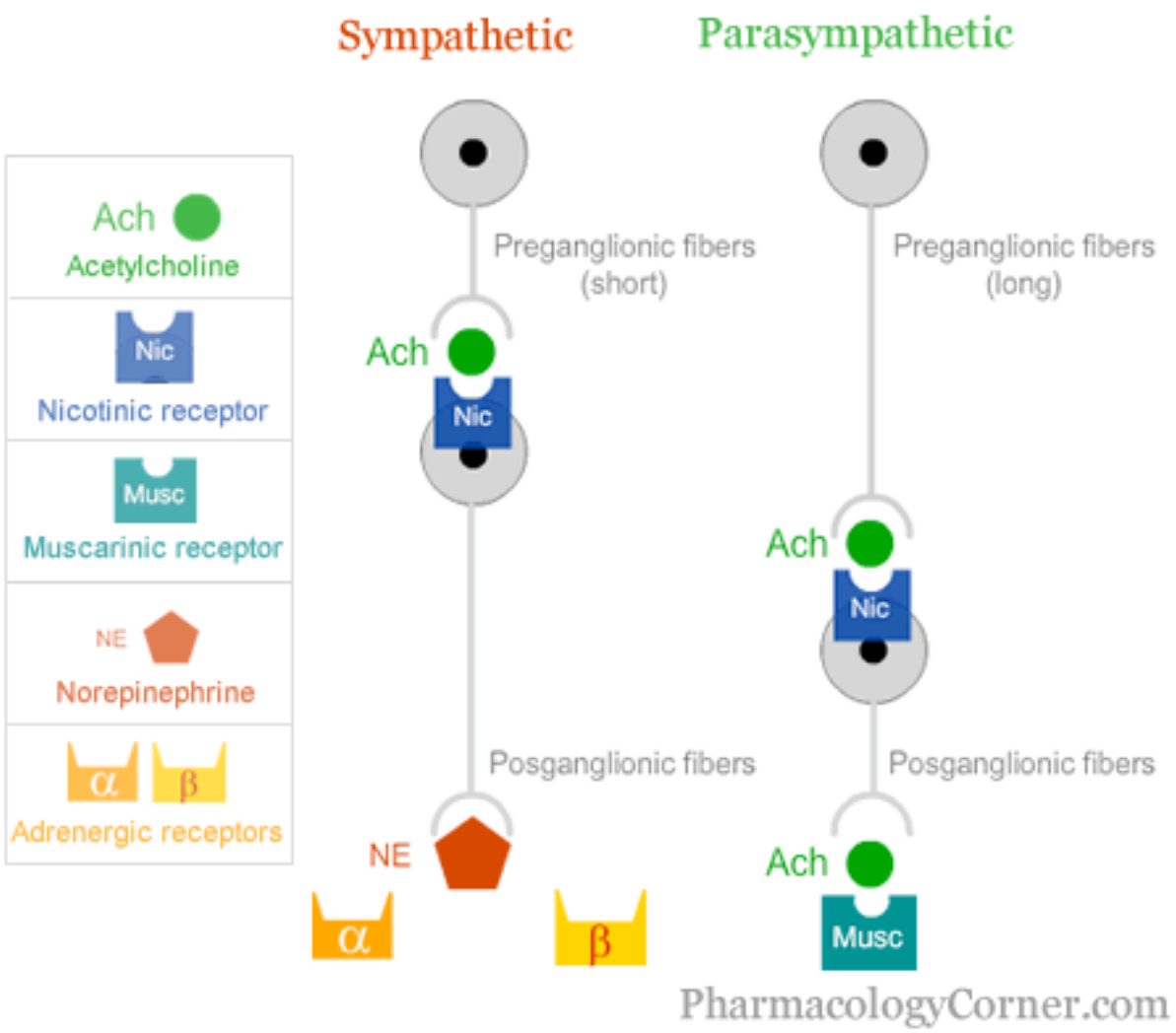
Résumé sur les récepteurs ACh



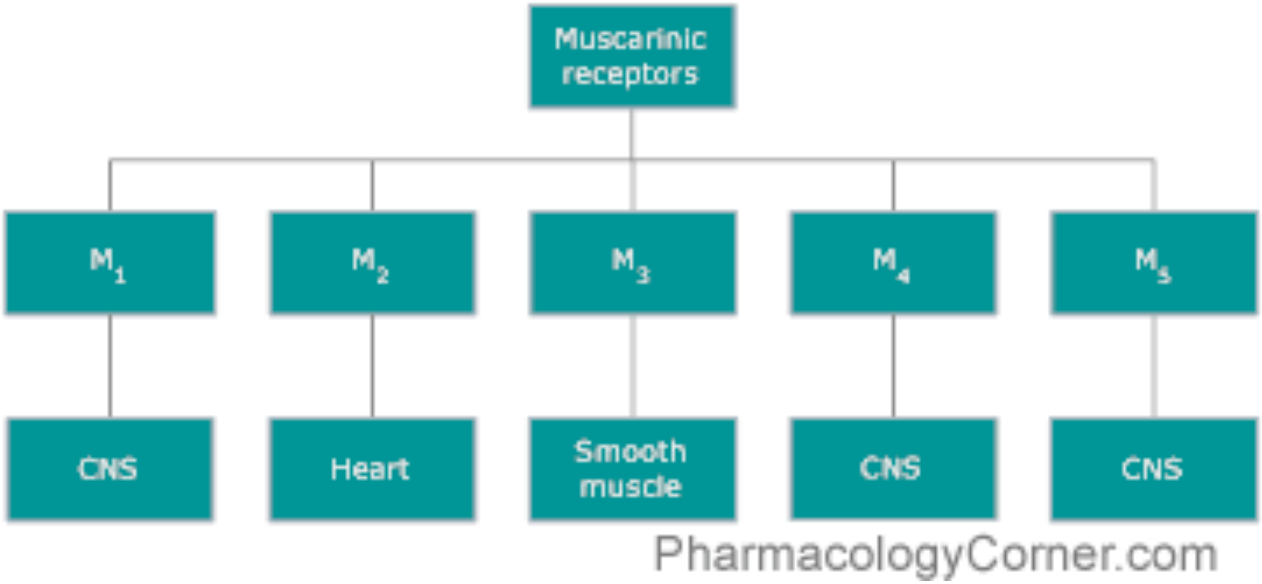
- Il existe 2 familles de récepteurs Ach : **muscarinique (Rs-M)** and **nicotinique (Rs-N)**.
- Rs-M ➔RCPG ; Rs-N ➔ **récepteurs ionotropiques**
- Ils sont pré- et post-synaptiques

Distribution des récepteurs ACh



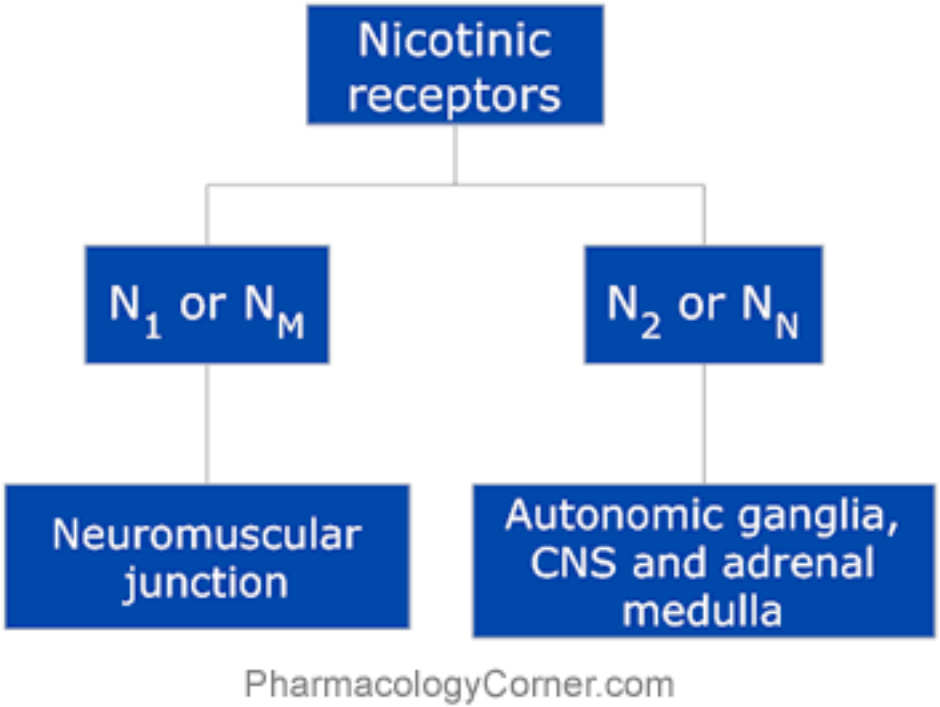

Sympathetic
Parasympathetic
Ach
Acetylcholine
Nic
Nicotinic receptor
Musc
Muscarinic receptor
NE
Norepinephrine
α
β
Adrenergic receptors
Preganglionic fibers (short)
Preganglionic fibers (long)
Ach
Nic
Posganglionic fibers
Posganglionic fibers
NE
Ach
Musc
PharmacologyCorner.com

Les différents Rs-Muscariniques



Ligands Rs-M : Acétylcholine et muscarine (alcaloïde)

Les Rs-nicotiniques



smitter	Receptor	Target Cells	Second Messenger	Effects
drenaline	α_1	Vascular smooth muscle cells	IP_3	↑ $[Ca^{++}]i$, muscle contraction
drenaline	α_2	Ganglionic presynaptic terminals	cAMP	↓ $[Ca^{++}]i$, inhibition of transmitter release
drenaline	β_1	Cardiac myocytes	$cAMP/G_S$	↑ $[Ca^{++}]i$, increased force of contraction
drenaline	β_1	Cardiac pacemaker cells	cAMP	↑ Ca^{++} conductance, more rapid membrane depolarization, increased rate of generation of action potentials
drenaline	β_2	Coronary and pulmonary smooth muscle cells	cAMP	↑ K^+ conductance, hyperpolarization of cell membrane, decreased transmission of action potential leading to muscle relaxation
	Nicotinic	Postganglionic neurons	none	Depolarization of postsynaptic membrane, synaptic transmission
	Muscarinic	Bladder smooth muscle cells	unknown	↑ $[Ca^{++}]i$, smooth muscle contraction
	Muscarinic (M2)	Cardiac myocytes	cAMP	↓ $[Ca^{++}]i$, decreased force of contraction (negative inotropic effect)
	Muscarinic (M2)	Cardiac pacemaker cells	G_i $\beta\gamma$ subunit	↑ K^+ conductance, hyperpolarization of the membrane, slower generation of action potentials
	Muscarinic (M3)	Secretory cells	IP_3	↑ $[Ca^{++}]i$, K^+, Cl^- and H_2O efflux into lumen, Ca^{++}- dependent exocytosis from secretory granules
	Muscarinic	Vascular smooth muscle/endothelial cells	unknown	Vasodilation probably via release of NO from endothelial cells.

FIN