

كلية العلوم التطبيقية - أيت ملول

ⵜⴰⵎⴻⵔⴰⵏⵜ ⴰⵎⴻⵔⴰⵏⵜ ⴰⵎⴻⵔⴰⵏⵜ - ⵏⵓⵔⵉⵎⵓⵏ

FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES – AIT MELLOUL



PHYSIOLOGIE ANIMALE I

Les Cellules Excitables

Pr: Mustapha Agnaou

Plan du cours

I- Cellules nerveuses

- Les cellules et le tissu nerveux
- Ontogenèse et organisation anatomique
- Naissance et transmission de l'influx nerveux
- Synapses, Neurotransmetteurs, Récepteurs et Communications intercellulaires
- Etude de la jonction neuromusculaire

II- Cellules Musculaires

- Organisation Anatomique, Histologique et Moléculaire
- Contraction musculaire

INTRODUCTION

Les Cellules Excitables:

- ❑ Sont des cellules qui modifient leurs activités suite à une stimulation
- Les cellules nerveuses ou Neurones
- Les cellules musculaires ou Myocytes

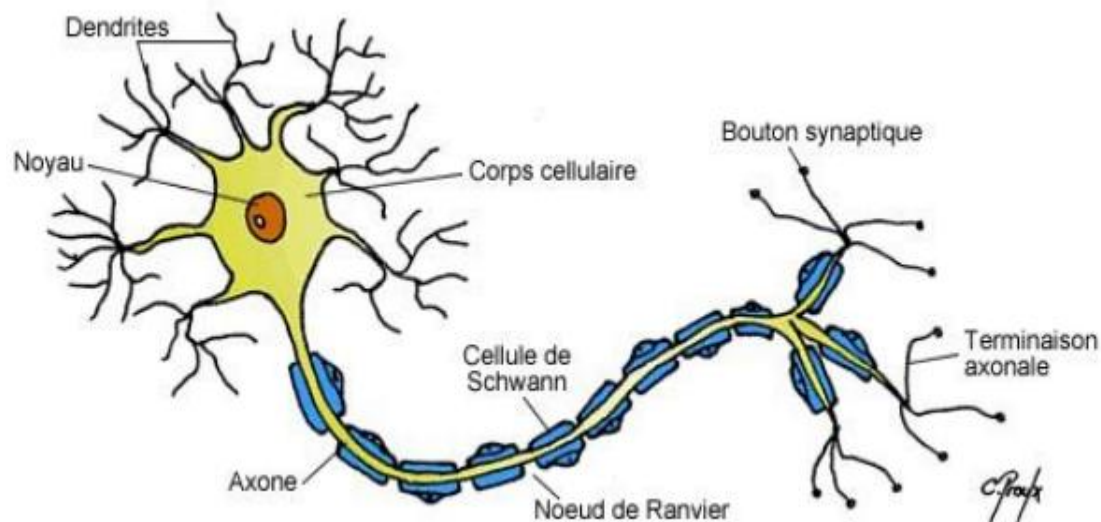
Les cellules nerveuses ou Neurones

Définitions

- Le système nerveux (**SN**) est l'ensemble des structures qui coordonnent les fonctions d'un individu et permettent ses relations avec le milieu extérieur.
- **Il est composé:**
 - de cellules nerveuses spécialisées, les **neurones**,
 - et de cellules de soutien, les **cellules gliales**.
- Les fonctions du système nerveux sont basées sur deux propriétés cellulaires, **l'irritabilité** et la **conductibilité**, particulièrement développées dans le neurone.
- **l'irritabilité** d'un neurone est sa **capacité de réagir aux variations du milieu extracellulaire en modifiant les propriétés électriques de sa membrane**.
- La **conductibilité** d'un neurone est sa **capacité de transmettre l'influx nerveux** très rapidement et sur de longues distances.

Les cellules nerveuses

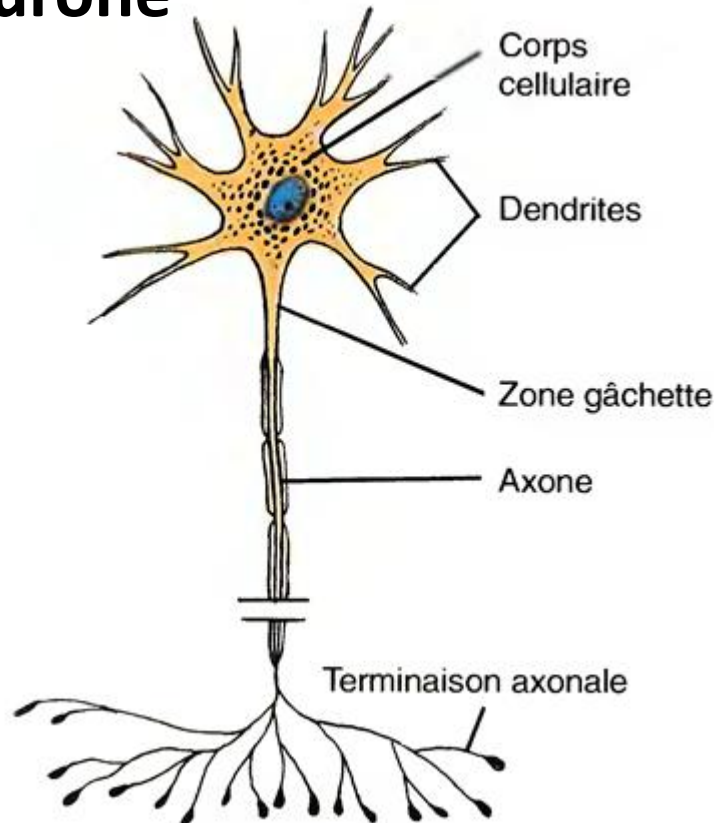
- **Unité structurale** et fonctionnelle du système nerveux, le **neurone** se présente comme une cellule hautement différenciée sont constitués :
- - **un corps cellulaire** (le soma ou péricaryon)
- - **deux types prolongements**:
 - les dendrites, souvent nombreuses
 - l'axone, toujours unique, qui constituent les fibres nerveuses



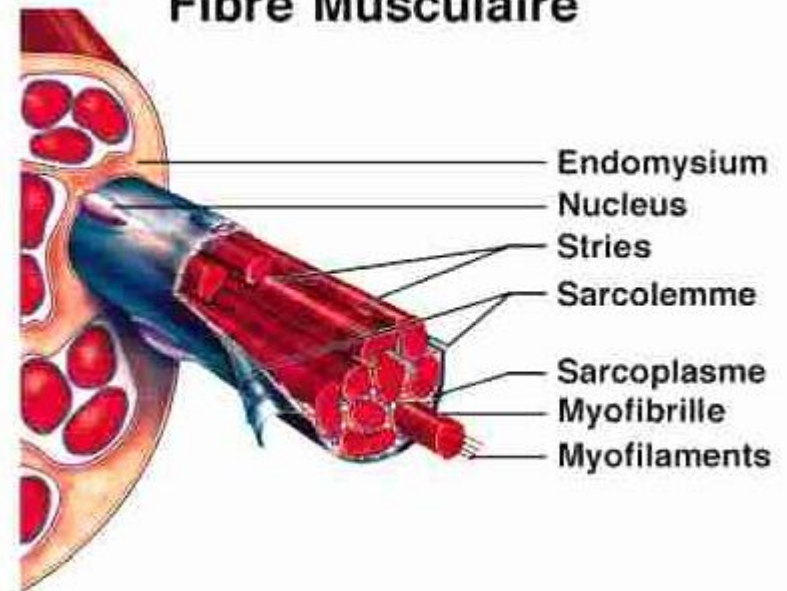
Particularité des cellules excitables

- La membrane lui permet d'émettre et de conduire le potentiel d'action PA (autrefois, l'influx nerveux)
- particularité qui s'explique par le fait que le neurone est une structure excitable C-a-d capable de réagir à une excitation efficace (**canaux ioniques**)
- Il est de même pour la cellule musculaire

Neurone



Fibre Musculaire



Etapes de la mise en place du tube neural chez les vertébrés.

- Tous les vertébrés passent par des stades de développement comparables après la fécondation.
- 1) la **segmentation** de l'œuf au cours de laquelle l'augmentation du nombre de cellules aboutit à une structure de type **blastula**.
- 2) la phase de **gastrulation** pendant laquelle se mettent en place les **trois feuillets embryonnaires**, suite à des mouvements cellulaires importants
- 3) En fin de **gastrulation**, tous les embryons de vertébrés sont constitués de **trois feuillets** .

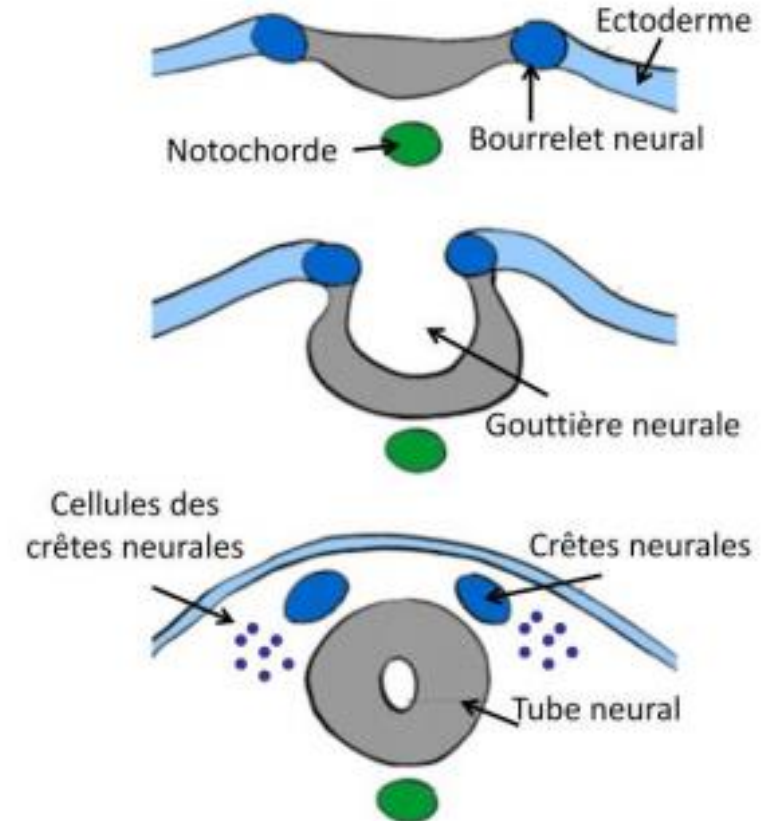
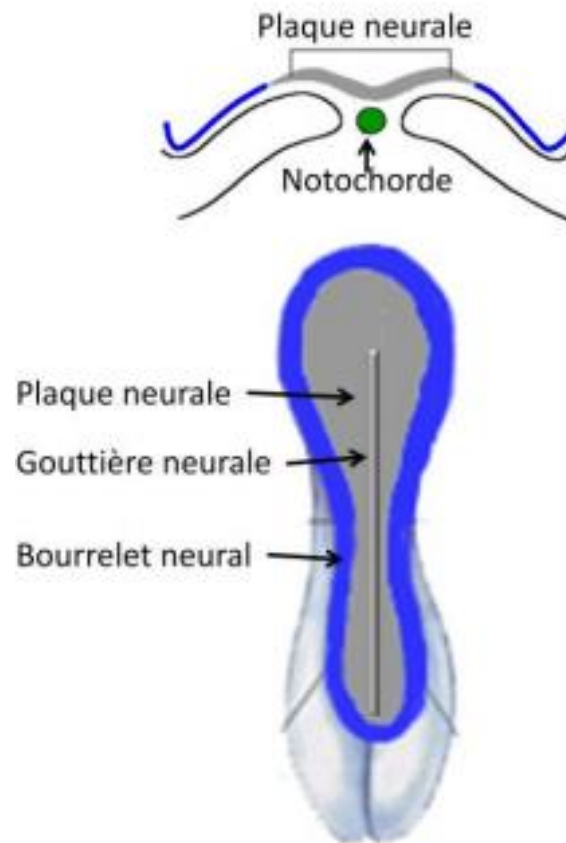
Feuillets de l'embryon des vertébrés

- l'**ectoderme** : feuillet le plus externe qui recouvre l'embryon
- le **mésoderme** : feuillet intermédiaire à l'origine de:
 - **la chorde dorsale** (précurseur de la colonne vertébrale)
 - **somites** (L'ensemble du squelette, de l'appareil locomoteur et des parois va se constituer à partir des somites dérivés du mésoblaste para-axial pendant la troisième semaine du développement.)
- l'**endoderme** : feuillet le plus interne qui délimite le tube digestif.

Formation du tissu nerveux pendant l'embryogénèse

Vers le 21^{ème} jour de la fécondation, la **notochoorde** induit l'ectoderme sus-jacent à devenir le **neuroectoderme** qui sera à l'origine du tube neural et de la plaque neurale.

Le bourrelet neural délimite la **plaque neurale** en forme de raquette qui s'allonge dans le sens antéro-postérieur et s'invagine formant un sillon médian, la **gouttière neurale**.



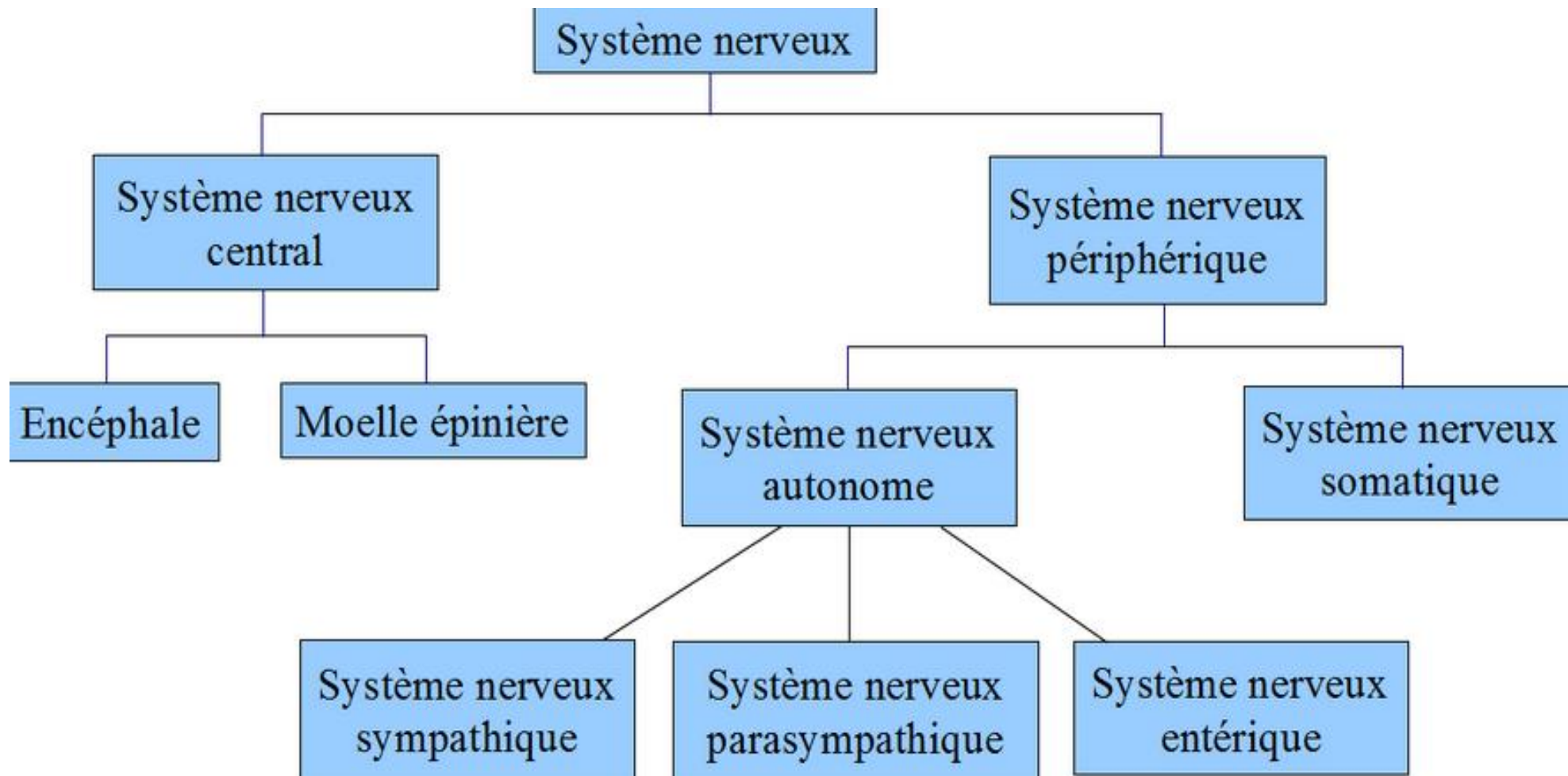
En vue transversale, on observe clairement l'invagination de la gouttière neurale qui va se refermer pour former le **tube neural**. Des amas de cellules se détachent des lèvres latérales de la plaque neurale, constituant les crêtes neurales.

En conclusion:

Le système nerveux prend réellement naissance au cours d'un processus qui s'appelle **neurulation embryonnaire** (juste après la gastrulation),

- en se différenciant dorsalement en neurectoderme et s'invaginant pour former le **tube neural** (à l'origine du névraxe) et les **crêtes neurales** (à l'origine de plusieurs structures annexes . EX: l'appareil dentaire os et muscle...)

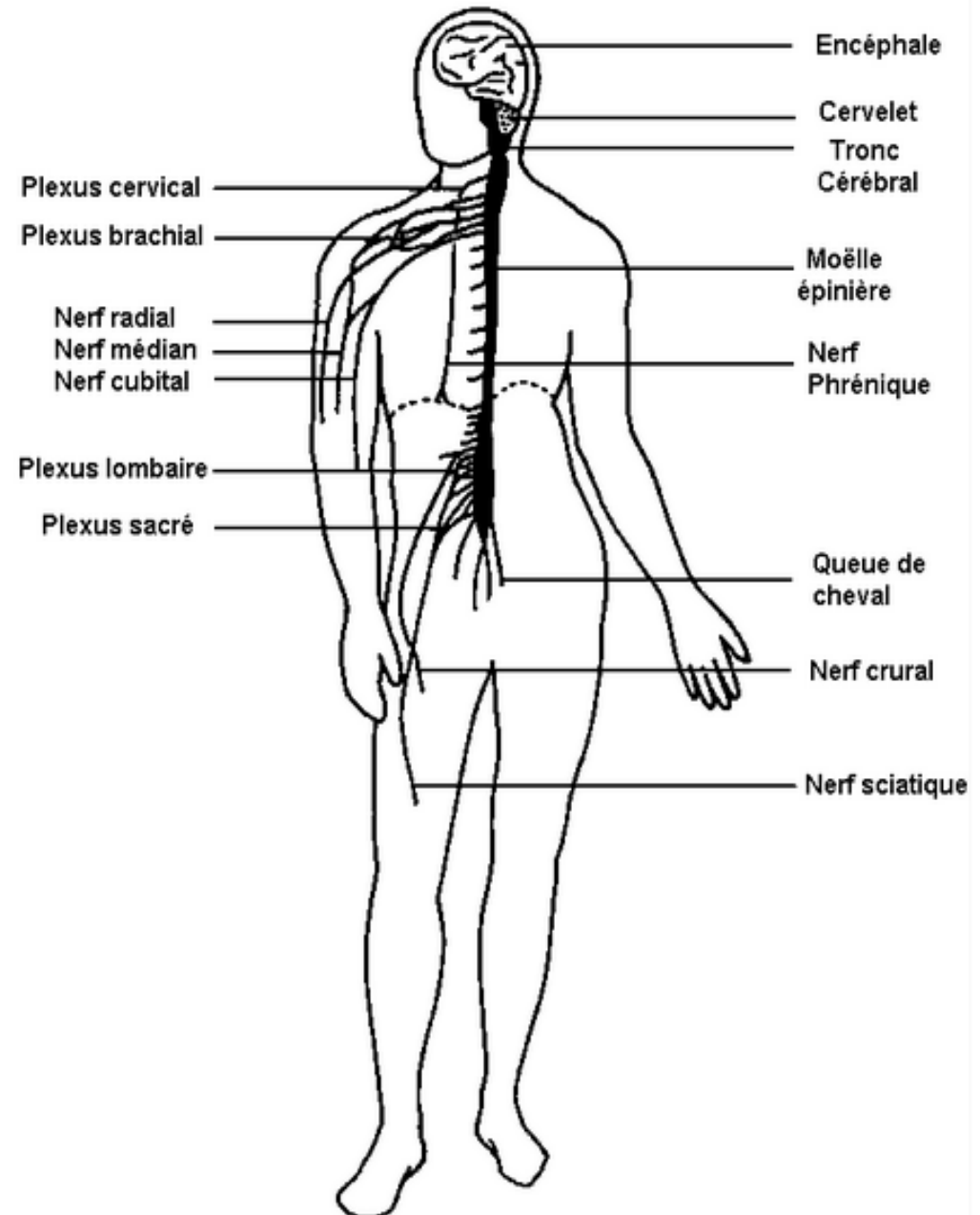
le système nerveux



le névraxe

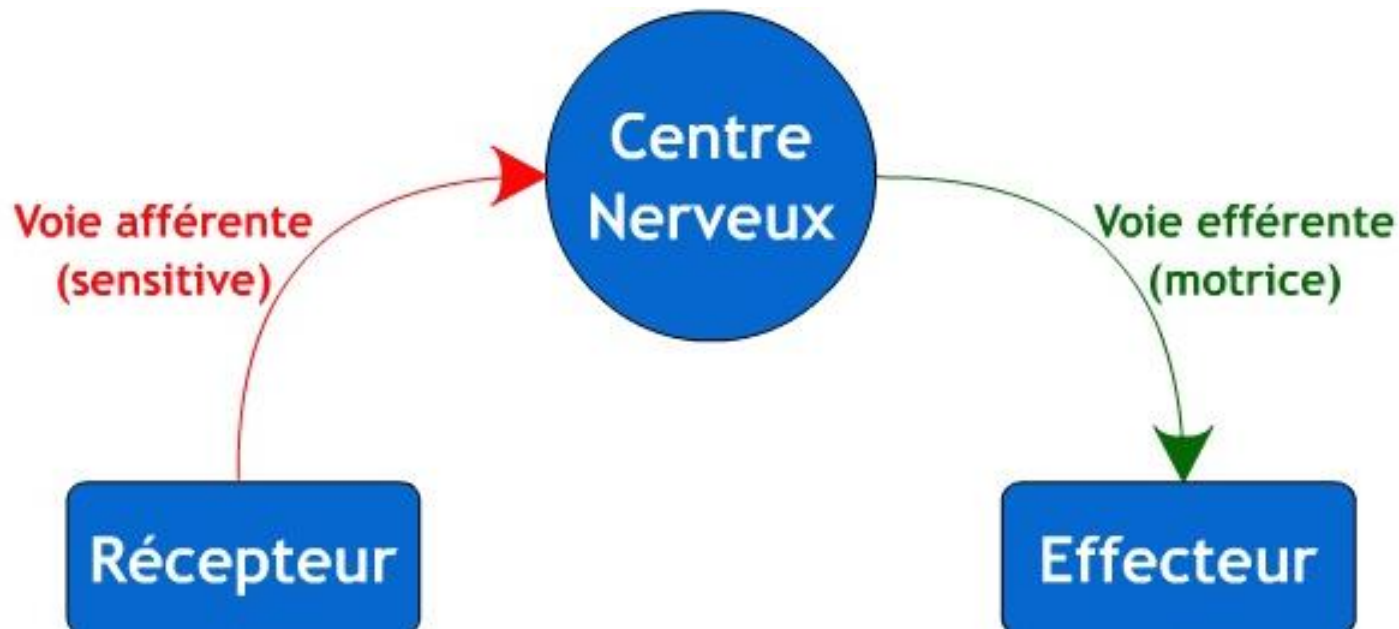
❑ **Névraxe: Encéphale et moelle épinière=**
Système Nerveux
Central **(SNC)**

❑ **Les Nerfs** constituent
les prolongements qui
forment le Système
Nerveux Périphériques
(SNP)



les nerfs

- ❑ Le névraxe ne serait d'aucune utilité s'il n'était relié à la périphérie de l'organisme par l'intermédiaire des nerfs qui regroupent deux types de fibres nerveuses (**Afférences** et **Efférences**).



Rôles des nerfs

- ❑ Transmission de messages (influx nerveux)
= outil de communication entre les cellules de l'organisme:
 - d'un neurone à l'autre
 - d'un neurone à une cellule cible proche
 - d'un neurone à une cellule cible à distance
- ❑ **fonction sensorielle**
d'un neurone à l'autre
 - **Sensibilité: afférences**
 - - extéroceptive (peau)
 - - intéroceptive (viscères)
 - - proprioceptive (os, articulations)

Rôles des nerfs

- ❑ • d'un neurone à une cellule cible (Cellule contractile)

Efférences:

- **Somatiques** : muscles striés squelettiques, volontaire
- **Végétatives** :
 - (Ortho)sympathique, contrôle d'actions inconscientes (rythme cardiaque, mus.lisses), Catécholamines , effet accélérateur(↗ PA)
 - Parasympathique effet ralentisseur sur les muscles lisses (↘ PA)
 - Ce qui favorise l'homéostasie du milieu intérieur, involontaire

Classification des nerfs

1) Selon leur composition en fibres

les nerfs sensitifs: que des afférences ;

- les nerfs moteurs: que des éfférences ;
- les nerfs mixtes: contiennent les deux types de fibres.

2) Selon leur lieu de rattachement au névraxe

On distingue :

- les nerfs crâniens (12 paires) qui peuvent être:
 - exclusivement sensitifs (I, II, VIII),
 - exclusivement moteurs (III, IV, VI, XI, XII)
 - ou mixtes (V, VII, IX, X) ;
- les nerfs rachidiens (31 paires) tous mixtes

Structure de neurone

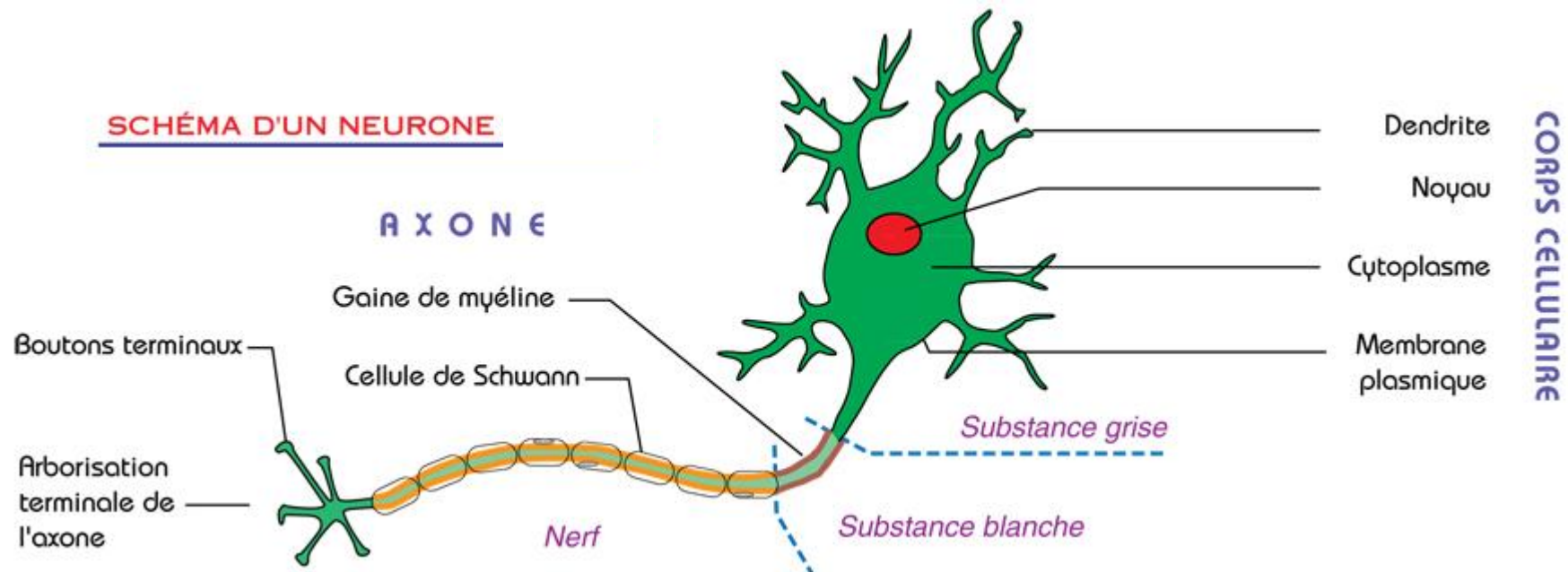
Structure commune à tous les neurones toujours 3 parties : **Dendrites** , **Corps cellulaire** et **Axone**

➤ **Le corps cellulaire (ou soma ou péricaryon)**

- est la **partie vitale** de la cellule. Il est constitué du **cytoplasme** et d'un **noyau** dont le **nucléole est volumineux** (forte activité de synthèse).
- Lieu d'émergent de **l'axone** et des **dendrites**.

➤ **Les Dendrites :**

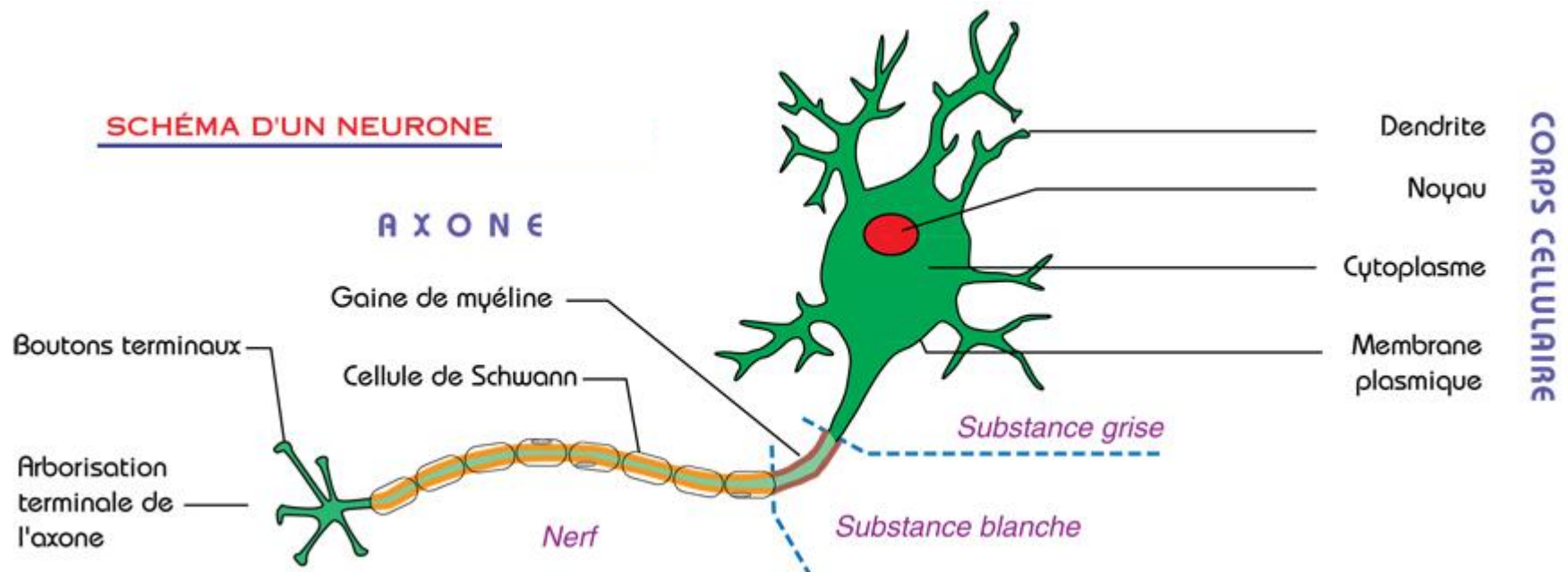
- sont des prolongements fins du péricaryon (nombreux).
- se divisent en multiples branches **dont le diamètre est variable tout au long d'une branche** et qui peut être plus important que chez l'axone.



Structure de neurone

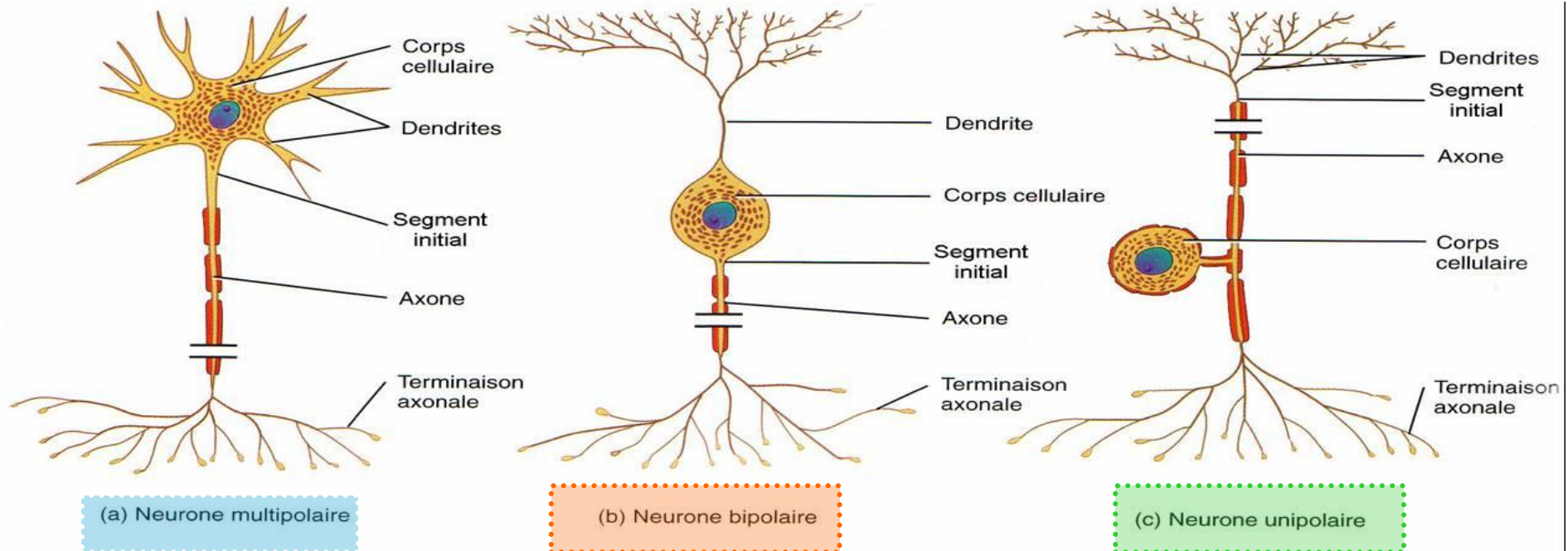
L'axone:

- est un prolongement unique, fin, homogène, relativement linéaire et pouvant s'arboriser par la suite au niveau des **noeuds de Ranvier** pour donner lieu à une **collatérale** ou plus.
- Il prend naissance au niveau du **cône d'implantation** (ou **d'émergence**), lieu d'où partira le **potentiel d'action**.
- L'axone peut se diviser en son extrémité (**arborisation terminale**) et établit **des contacts synaptiques** avec les **cellules cibles**.



Types de neurones

- Neurones multipolaires :
 - plusieurs dendrites et 1 axone.
 - La plupart des neurones de l'encéphale et de la moelle épinière.
- Neurones bipolaires :
 - 1 dendrite principal et d'un axone.
 - Rétine, l'oreille interne et l'aire olfactive du cerveau.
- Neurones unipolaires :
 - 1 seul prolongement à partir du corps cellulaire.
 - Neurones sensitifs.



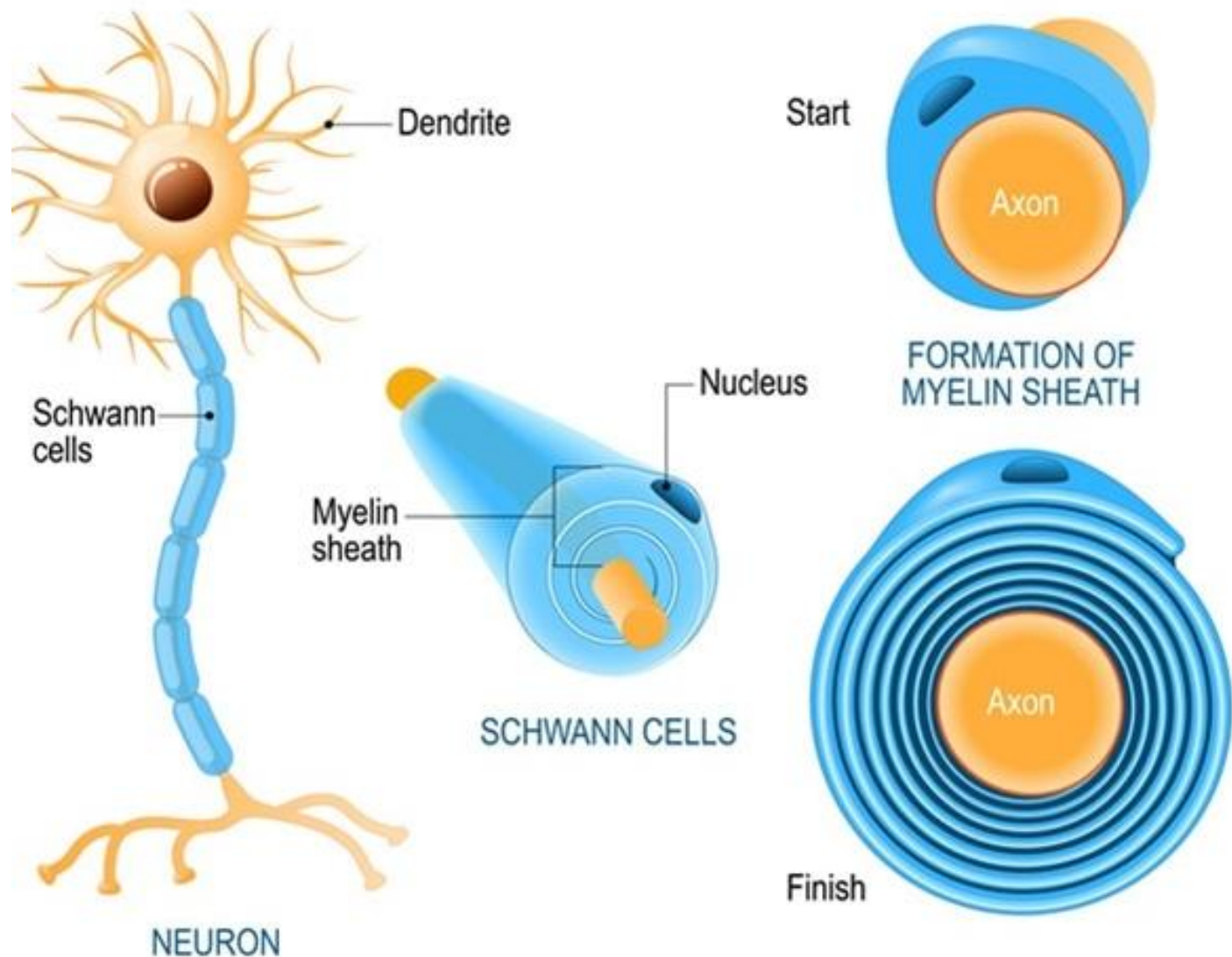
myélinisation

La **myélinisation** désigne la formation d'une [gaine de myéline](#) autour de certaines fibres nerveuses.

la gaine de myéline résulte de l'enroulement en spirale de cellules gliales autour de l'axone.

La **myélinisation** représente un événement majeur de la maturation du système nerveux.

Aussi, la **disparition de la myéline** au cours de certaines affections altère gravement les fonctions nerveuses.



Comparaison des fibres nerveuses:

- Différences Morphologiques: myélinisé / non myélinisé/gros ou petit diamètre
- Différences fonctionnelles: selon la vitesse de conduction Rapide/lente

Classification des fibres nerveuses de mammifère				
	Catégorie		Diamètre	Vitesse
	Efférences	Afférences		
Myélinisées	A α	Ia et b	12 – 20 μ m	70 – 120 m/s
	A β et γ	II	5 – 12 μ m	30 – 70 m/s
	A δ	III	2 – 5 μ m	12 – 30 m/s
	B	-	< 3 μ m	1 – 15 m/s
Amyéliniques	C	IV	< 1,2 μ m	< 2,3 m/s

Exemples de fonctions des différents types de fibres

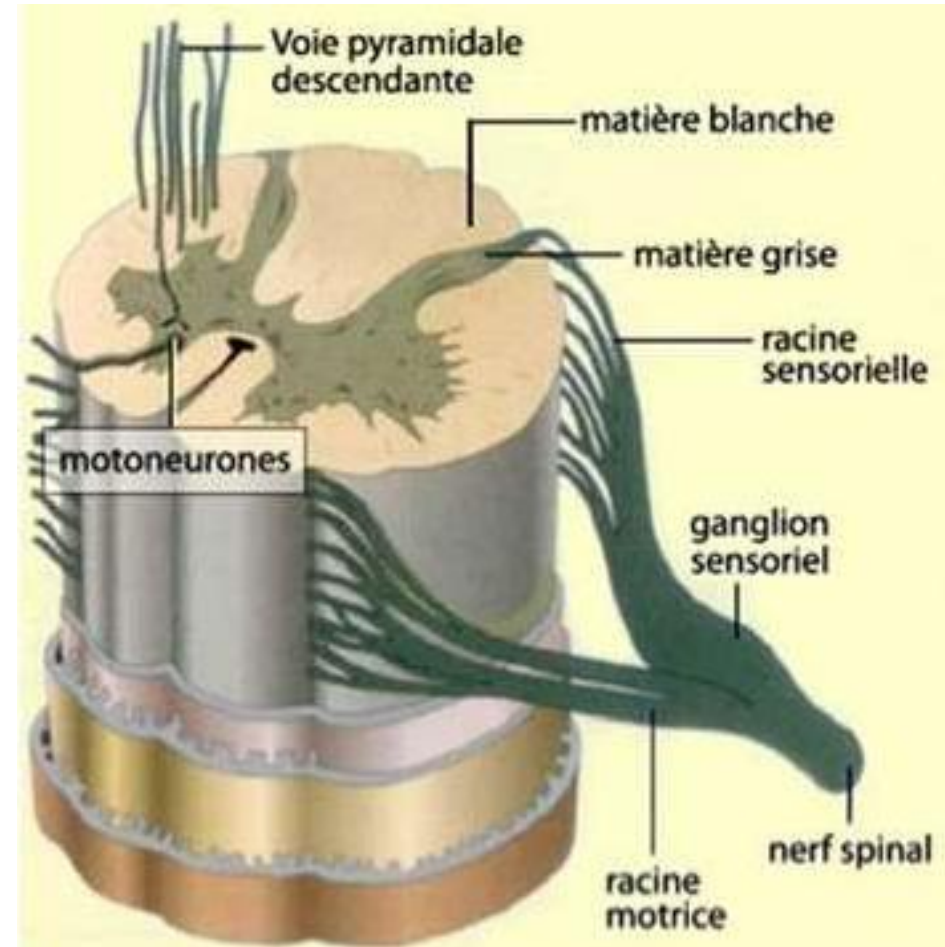
- • A α : motricité volontaire, sensibilité proprioceptive
- A β - γ : sensibilité extéroceptive – tact – pression, motricité (fuseaux neuromusculaires)
- A δ : Température – Douleur – Tact
- B : cellules pré-ganglionnaires
- C : Douleur

Substance grise et substance blanche

La substance grise formée autour du canal de l'épendyme est formée par **les corps cellulaires des neurones, leurs dendrites et leurs synapses.**

- C'est **le centre nerveux** de la moelle. Cette substance grise, à la coupe, a la forme d'un papillon, permettant de reconnaître des expansions antérieures appelées **cornes ventrales** qui ont une **fonction motrice**, et des expansions postérieures appelées **cornes dorsales** qui ont une **fonction sensitive.**

- **La substance blanche** est formée par **les fibres nerveuses** recouvertes de leur gaine et groupées en faisceaux. Les fibres sensibles montent dans la moelle vers les centres supérieurs. Les fibres motrices descendent vers les motoneurones



Les cellules de soutien: les cellules gliales ou cellule de la névroglie

Le tissu nerveux est composé de 2 types de cellules :

1) les gliocytes (névroglies) —→ 90 %

2) les neurones —→ 10 %

Les neurones sont parmi les cellules les plus spécialisées de l'organisme. **Leur physiologie tend vers un seul but, l'élaboration et la transmission de l'information nerveuse** d'un bout à l'autre du SN.

Leur **différenciation** est si poussée que les neurones sont incapables de se développer et de survivre seuls. Ils dépendent de cellules de soutien : **les cellules gliales**.

Les **cellules gliales** sont donc indispensables à la survie et à la **maturation des neurones** (rôle trophique).

Enfin, la glie réagit aux traumatismes neuronaux en participant à la **cicatrisation ou la réparation des lésions**

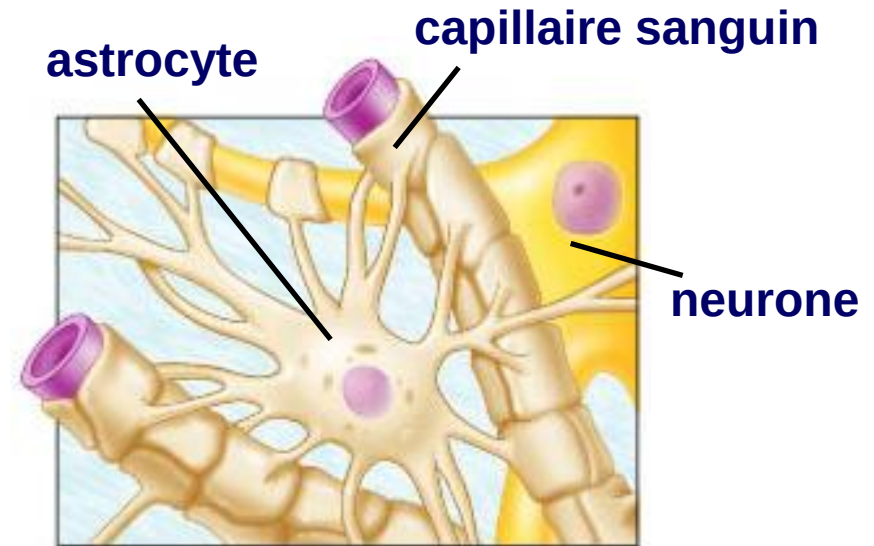
Les cellules de la névroglie

Le névroglie ou « colle nerveuse » forme l'armature du tissu nerveux. Les cellules gliales qui la composent ont pour fonction de soutenir et d'isoler les neurones et de leur fournir des nutriments. La névroglie comprend 6 types de cellules gliales:

- Les astrocytes
- Les oligodendrocytes
- Les cellules de la microglie
- les cellules épendymaire
- Les cellules de Schwann
- Les cellules choroïdiennes

Les Astrocytes

- Elles s'occupent de réguler la concentration de diverses substances contenues dans le milieu cellulaire.
- **Assurent des échanges nutritifs** dont dépend le bon fonctionnement neuronale :
 - Apports de nutriments (glucose, oxygène) et d'autres molécules trophiques (hormones et autres)
 - Evacuations de déchets métaboliques,
 - Elimination des neurotransmetteurs,
 - Formation de la cicatrice gliale lors de traumatisme.
- ancrer les neurones sur les capillaires sanguins (contiennent du glucose)



Un astrocyte émet des pieds astrocytaires permettant les échanges nutritifs et trophiques entre les neurones centraux et la circulation sanguine d'une part et le liquide céphalo-rachidien d'une autre part .

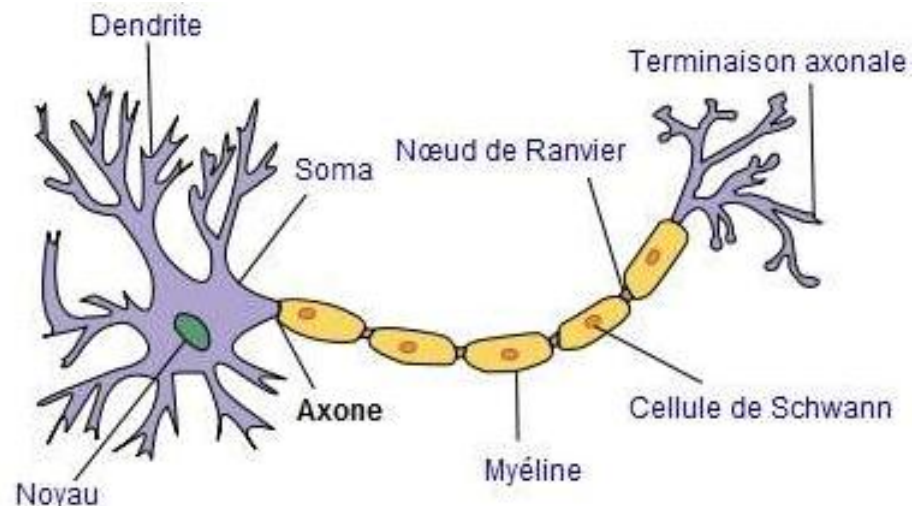
Les cellules de Schwann

Les cellules de **Schwann** sont des cellules particulières qui forment la gaine de **myéline** qui s'enroulent autour des fibres nerveuses ou axones du système nerveux périphériques (SNP)

Les cellules de **Schwann**:

- Forment un **soutien trophique** pour les neurones au cours du développement nécessaire à leur survie et à leur maturation
- Facilitent **la conduction** de l'influx nerveux le long des fibres
- Participent à l'Homéostasie périaxonique et synaptique (équilibre ionique)
- Régulent la libération de neurotransmetteurs (plaque motrice)
- Éliminent des neurotransmetteurs libérés

La cellules de Schwann a une position à part dans le SN car elle est la **seule capable de permettre la réparation des fibres nerveuses sectionnées**.



les Oligodendrocytes

- sont dotés de prolongements aplatis qui s'enroulent autour des axones du SNC

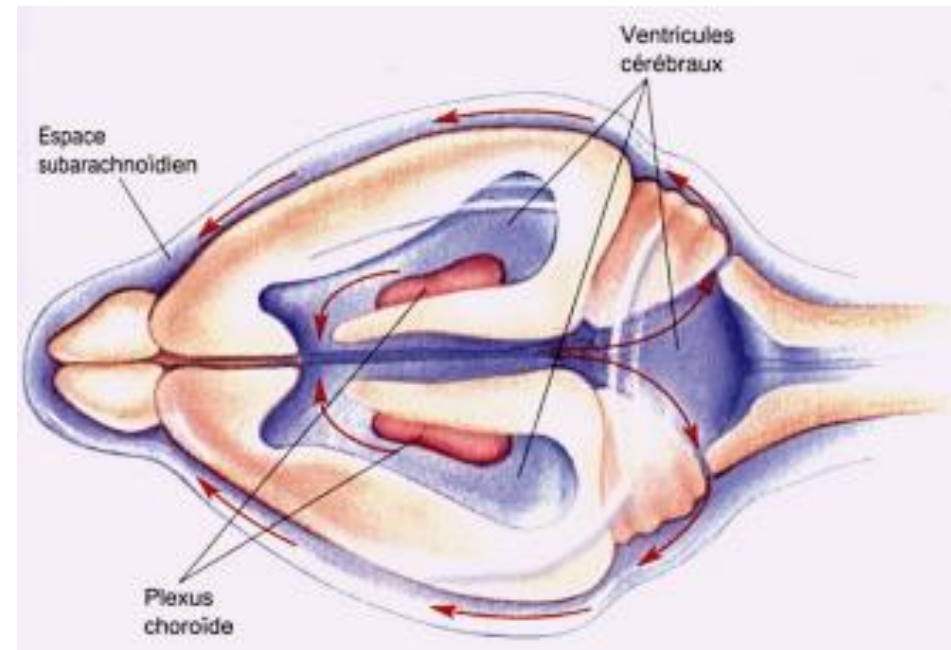
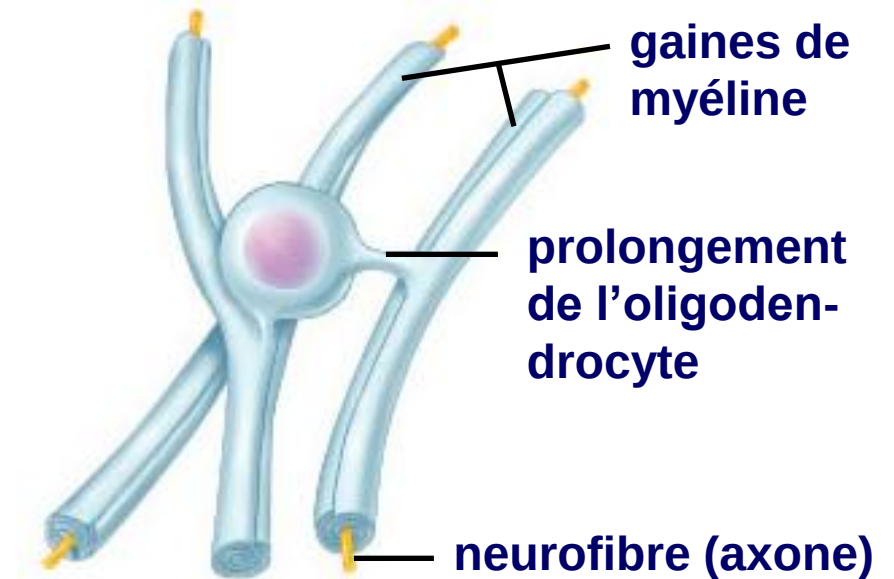
- rôle :

former des gaines de myéline isolantes (enveloppe lipidique)

La gaine de myéline joue un rôle fonctionnel important: c'est **un isolant électrique** qui facilite et augmente la vitesse de conduction de l'influx nerveux le long de l'axone

Les cellules Choroïdiennes

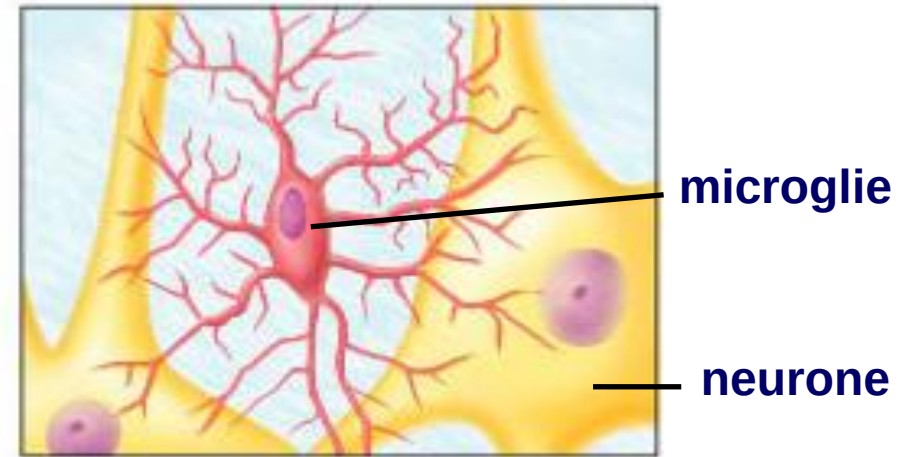
Les Cellules choroïdiennes sécrètent dans le système cavitaire du SNC, le liquide céphalorachidien (LCR).



Les cellules de la Microglie

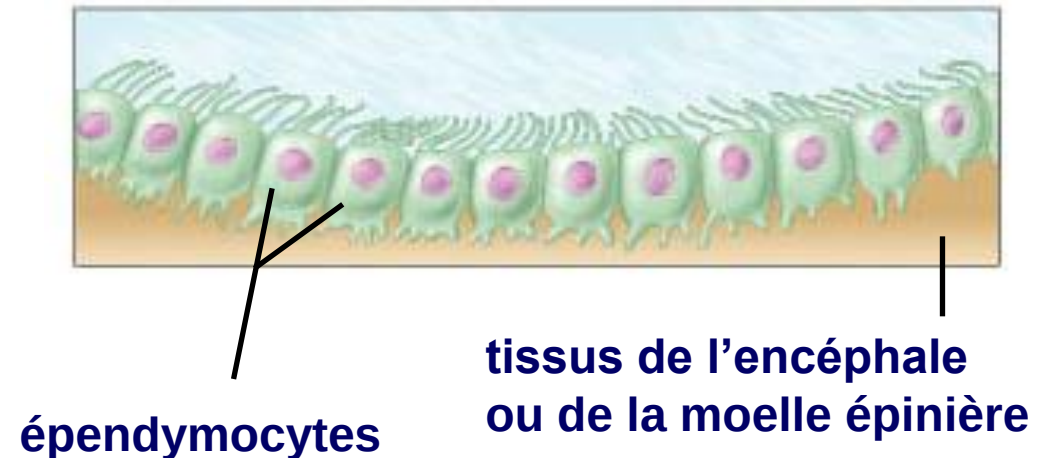
➤ les microglies :

- en forme d'araignée
- prolongement avec plusieurs ramifications
- rôle : détruire les microbes et les débris cellulaires



➤ les épendymocytes :

- forme rectangulaire avec cils
- tapissent les cavités de l'encéphale et de la moelle épinière
- rôle : favoriser la circulation du liquide cérébro-spinal
Constituent une barrière entre le liquide céphalorachidien et le tissu nerveux



La neurophysiologie

La **neurophysiologie** est l'étude du fonctionnement du système nerveux.

- L'information en provenance des récepteurs périphériques renseignent l'individu sur l'environnement;
- elle est analysée par le cerveau pour donner naissance aux perceptions (certaines d'entre elles pouvant être stockées en mémoire) et initiée une action comportementale.

Le **système nerveux** est en mesure **de commander** la contraction coordonnée de muscles (effecteurs) et d'une manière plus générale **contrôler nos comportements**.

- Or, la transmission des signaux nerveux le long d'un réseau -d'un récepteur à un effecteur- est à la base de l'activité fonctionnelle du système nerveux.
- Elle repose sur **les propriétés d'excitabilité, de conduction et de transmission** du signal généré par chaque cellule nerveuse ou neurone, unité structurale et fonctionnelle du système nerveux

Les cellules de la Microglie

- Chaque neurone est doté de **propriétés spécifiques** lui permettant d'assurer sa fonction :
 - il est **excitable** ; stimulé par un stimulus physique ou chimique d'intensité convenable, il répond en développant un signal bioélectrique appelé le **potentiel d'action (PA)** ;
 - il est capable d'assurer **la propagation**, la **conduction de ce PA** jusqu'à l'extrémité de ses prolongements ;
 - il est en mesure de **transmettre** sa propre excitation aux éléments cellulaires post-synaptiques.
 - Les neurones sont *stimulables* et *conducteurs*.
 - Ils sont **stimulables**, c'est à dire capables de déclencher des potentiels d'action en réponse à des stimuli provenant:
 - - de **l'extérieur du corps**: des stimuli tactiles, des ondes lumineuses
 - - de **l'intérieur du corps**: une modification de la concentration **du dioxyde de carbone** du sang modifie la respiration, **une pensée** peut entraîner un **mouvement volontaire**.

L'activité électrique des neurones

Le potentiel de repos

- **Voltage :**

Énergie potentielle électrique, due à une séparation de charges.

- Mesuré comme différence de potentiel entre deux points.
- Unités: volts (V) ou millivolts (mV)

- **Potentiel de membrane (V_m) :**

Différence de potentiel de part et d'autre de la membrane plasmique.

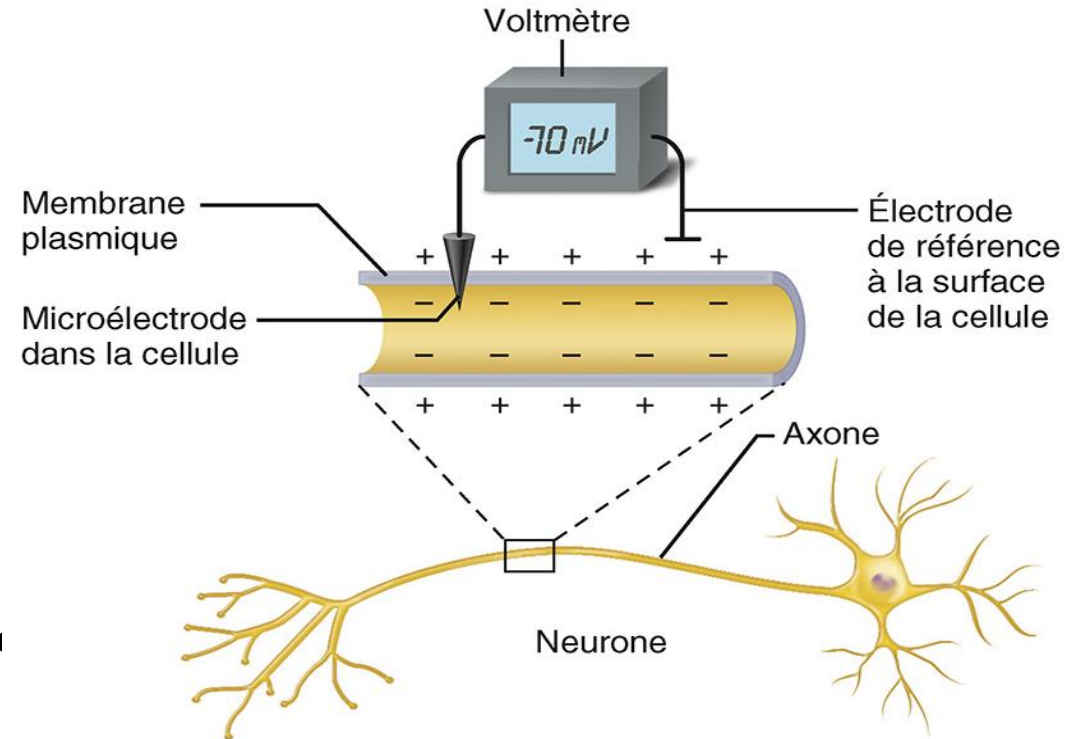
- Par convention, V_m = intérieur moins extérieur.

Ainsi, une valeur négative de V_m implique une accumulation de **charges négatives à la surface interne** de la membrane et une accumulation équivalente de charges **positives à sa surface externe**. Le voltage est directement proportionnel à la quantité de charges ainsi séparées.

- **Potentiel de repos (V_r) :**

Potentiel de membrane dans un neurone au repos.

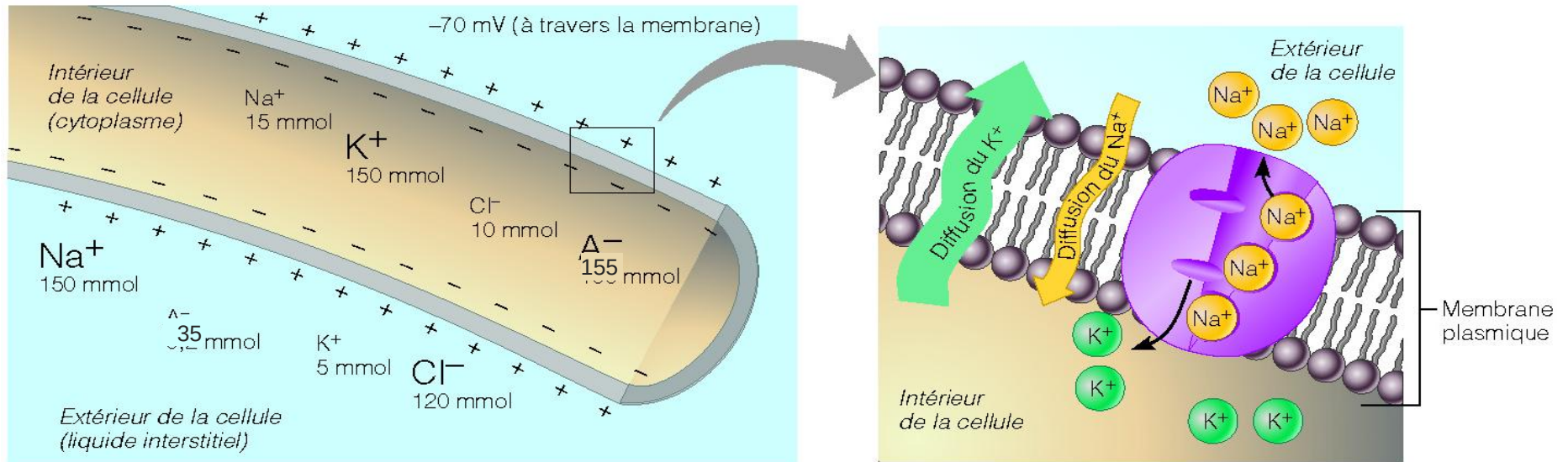
$V_r \approx -70 \text{ mV}$ à -80 mV dans la plupart des neurones.



Fondements du potentiel de repos

Le potentiel de membrane est dû à une séparation de charges de part et d'autre de la membrane plasmique. La quantité de charges ainsi séparées dépend de deux facteurs :

- Gradient de concentrations ioniques
- Perméabilité relative de la membrane à ces ions



A^- : anions autres que Cl^- (ex.: HCO_3^- , H_2PO_4^- , protéines chargées négativement).

Si l'on considère que K^+ et Na^+ sont les principaux cations $\rightarrow [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] = [\text{Cl}^-] + [\text{A}^-]$

Principe d'électroneutralité: dans une solution d'électrolytes, le nombre total de cations (+) est égal au nombre total d'anions (-).

- Il y a séparation de charges à un niveau microscopique quand les ions traversent une membrane sélective.
- Cette séparation implique nécessairement que le nombre de charges (+) en excès d'un côté de la membrane est identique au nombre de charges (-) en excès de l'autre côté.

Fondements du potentiel de repos

Cas N°1: Supposons que la membrane n'est perméable qu'aux ions K⁺

(avec $[K^+]_{in} > [K^+]_{ext}$):

- La diffusion nette des ions K⁺ vers l'extérieur entraîne une accumulation de charges (+) du côté extérieur et de charges (–) du côté intérieur.
→ Un potentiel de membrane négatif est créé.
- Le mouvement net des ions K⁺ s'arrête éventuellement parce que le potentiel de membrane négatif ainsi créé s'oppose à la sortie des ions K⁺.
→ L'équilibre est atteint lorsque la force due au potentiel de membrane négatif est égale et dans le sens opposé à la force due au gradient de concentration.
→ Le potentiel de membrane ainsi obtenu, appelé **potentiel d'équilibre***, peut être prédit par **l'équation de Nernst**.

Pour les cations et à 37°C, l'équation de Nernst est :

$$\text{Potentiel d'équilibre (E}_i\text{)} = 61 \log (\text{concentration externe} / \text{concentration interne})$$

Exemple: Avec $[K^+]_{ext} = 5 \text{ mM}$ et $[K^+]_{in} = 150 \text{ mM}$ → $E_K = 61 \log (5/150) = -90.1 \text{ mV}$

* **Potentiel d'équilibre pour une espèce ionique** = potentiel de membrane qui serait atteint si celle-ci n'était perméable qu'à cet ion.

Le potentiel d'équilibre pour un ion donné « i » est symbolisé par E_i:

E_K = potentiel d'équilibre pour les ions K⁺

E_{Na} = potentiel d'équilibre pour les ions Na⁺

Fondements du potentiel de repos

Gradient électrochimique et potentiel d'équilibre

- Dans le cas de la diffusion des ions à travers une membrane, deux « forces » agissent sur cette diffusion:
 - i) Le gradient de concentration
 - ii) Le potentiel de membrane
- La somme de ces deux forces est appelée « **gradient électrochimique** ». Si les deux forces sont égales mais de direction opposée, le gradient électrochimique devient égal à zéro et il n'y a aucun mouvement net de cet ion à travers la membrane.

Exemple:

Le gradient électrochimique des ions K^+ devient égal à zéro lorsque leur tendance à sortir de la cellule (à cause de leur gradient de concentration) est annulée par un potentiel de membrane négatif qui s'oppose à leur sortie.

- Le **potentiel d'équilibre** d'un ion, déterminé par l'équation de Nernst, correspond au potentiel de membrane qui doit être atteint pour que le gradient électrochimique de cet ion soit égal à zéro.

Fondements du potentiel de repos

Cas N°2: Supposons que la membrane n'est perméable qu'aux ions Na⁺ :

- Les ions Na⁺ ont tendance à diffuser vers l'intérieur de la cellule, dans le sens de leur gradient de concentration ($[Na^+]_{ext} > [Na^+]_{in}$).
- Cette diffusion entraîne une accumulation de charges (+) à l'intérieur et de charges (–) à l'extérieur de la cellule.
→ Le potentiel de membrane devient positif.

Potentiel d'équilibre pour les ions Na⁺ (E_{Na}):

Avec $[Na^+]_{ext} = 150 \text{ mM}$ et $[Na^+]_{in} = 15 \text{ mM}$ → $E_{Na} = 61 \log (150/15) = + 61 \text{ mV}$

Fondements du potentiel de repos

Cas N°3: La membrane est perméable aux ions K^+ et aux ions Na^+

Des deux cas discutés auparavant:

- Si la membrane plasmique n'était perméable qu'aux ions K^+ , le potentiel de membrane serait négatif et égal à E_K : i.e. environ -90 mV.
- Si la membrane plasmique n'était perméable qu'aux ions Na^+ , le potentiel de membrane serait positif et égal à E_{Na} : i.e. environ $+60$ mV.

Mais que se passe-t-il si la membrane est perméable à ces deux ions en même temps?

- Le potentiel de membrane serait alors une moyenne pondérée de ces deux potentiels d'équilibre, selon la perméabilité relative de la membrane pour Na^+ et K^+ .

La perméabilité membranaire pour un ion donné est symbolisée par la lettre P :

P_K = perméabilité membranaire pour les ions K^+

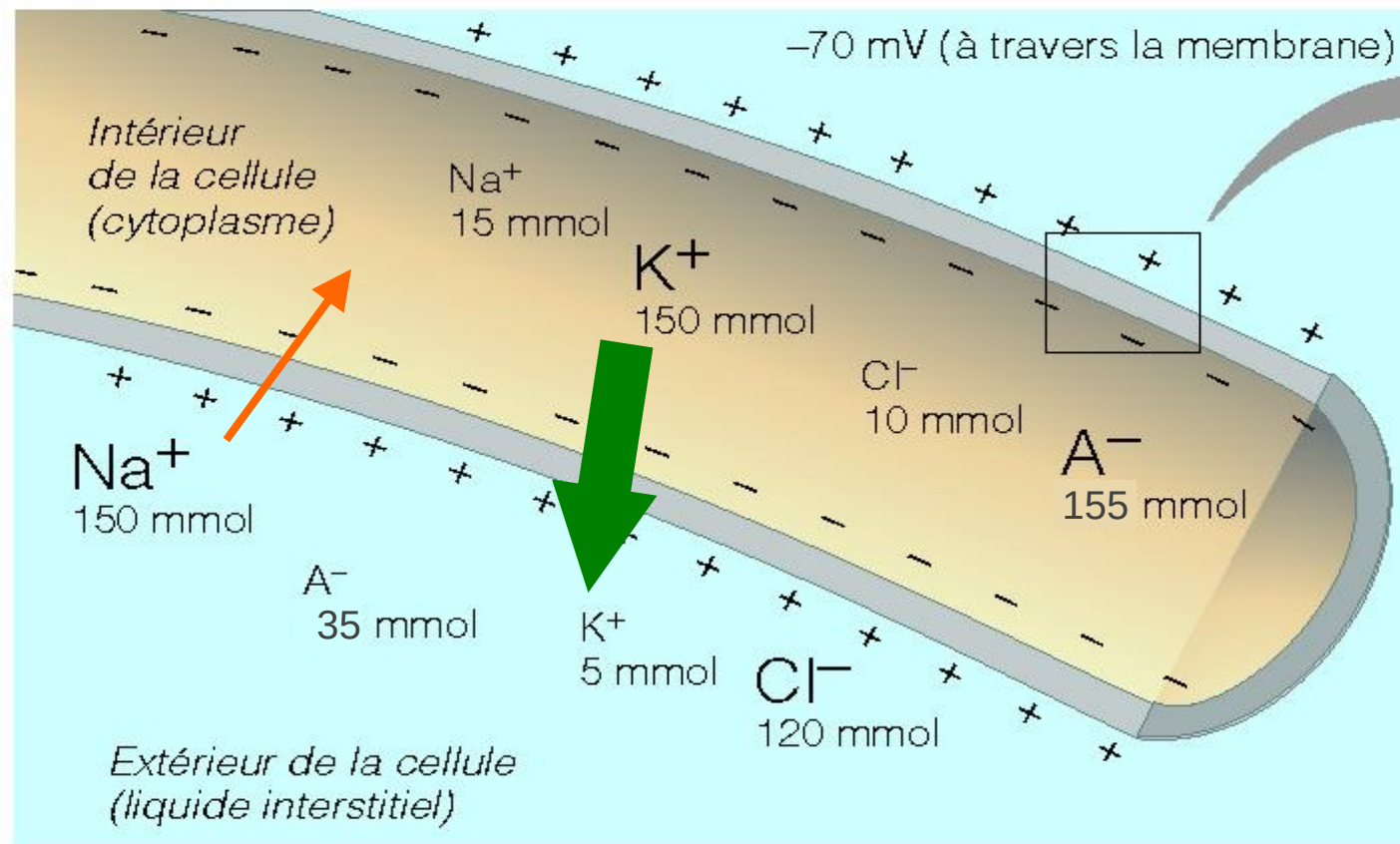
P_{Na} = perméabilité membranaire pour les ions Na^+

- **Exemples:**

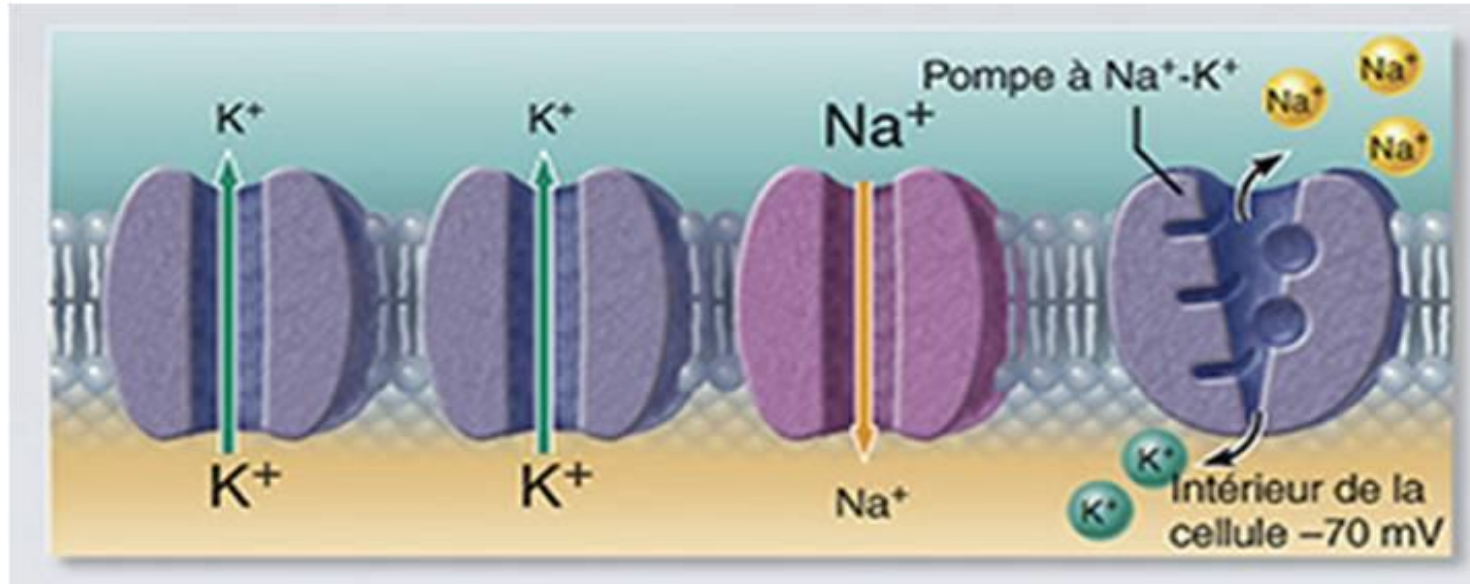
- Si $P_K > P_{Na}$, le potentiel de membrane (V_m) serait plus près de -90 mV que de $+60$ mV.
- Si $P_{Na} > P_K$, V_m serait plus près de $+60$ mV que de -90 mV.
- Si $P_K = P_{Na}$, $V_m \approx -15$ mV.

Conclusion:

Le potentiel de repos des neurones est égal à environ -70 mV parce que leur membrane est, au repos, beaucoup plus perméable (environ 75 fois) aux ions K^+ qu'aux ions Na^+ .



Rôle de la pompe Na-K dans le maintien du potentiel de repos



Le maintien du potentiel de repos dépend du bon fonctionnement de la pompe Na⁺-K⁺:

- La pompe maintient les gradients de concentration des ions K⁺ et Na⁺ en transportant activement les ions K⁺ à l'intérieur et les ions Na⁺ à l'extérieur
- Une Inhibition de la pompe causerait une dissipation des deux gradients: la cellule perdrait des ions K⁺ et accumulerait des ions Na⁺.

Une perte de ces gradients causerait une perte du potentiel de repos.

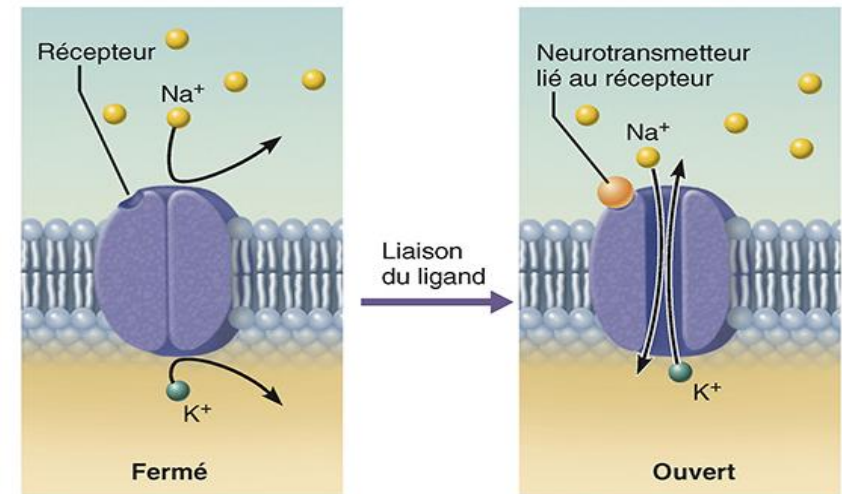
Pourquoi ?

- 1) Le potentiel de repos dépend principalement de E_K .
- 2) Si $[K^+]_{in} = [K^+]_{ext} \rightarrow E_K = 0 = V_r$

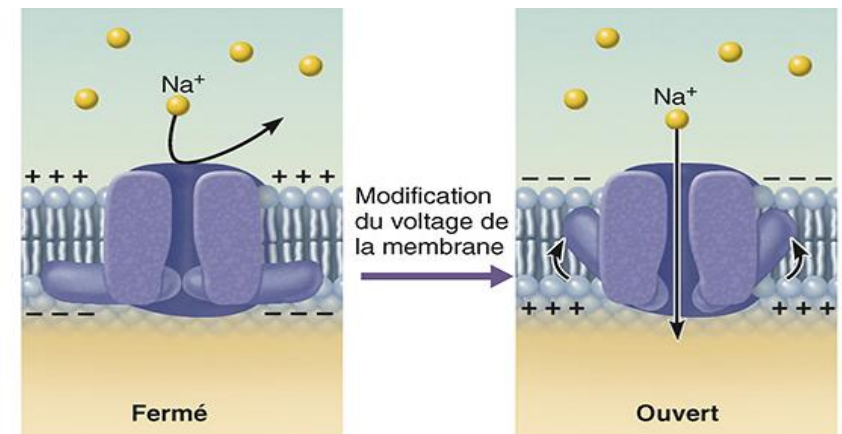
Canaux ioniques dans la membrane plasmique

- La perméabilité membranaire pour un ion dépend des propriétés et du nombre de canaux ouverts dans la membrane.
- En général, les canaux sont spécifiques à une espèce ionique: ainsi la membrane plasmique contient des canaux au K^+ , au Na^+ , au Cl^- , au Ca^{2+} ...
- Il existe 2 types généraux de canaux ioniques:

- Canaux à fonction passive** ("Leakage channels"): Canaux qui sont toujours ouverts. (Ex: les canaux à K^+ responsables de la haute perméabilité aux ions K^+ au repos)
- Canaux à fonction active** ("Gated channels"): Canaux qui s'ouvrent ou se ferment en réponse à divers stimuli.
 - **Canaux ligand-dépendants**: s'ouvrent ou se ferment en réponse à une substance qui se lie au canal.
 - **Canaux voltage-dépendants**: s'ouvrent ou se ferment en réponse à un changement du potentiel de membrane.
 - **Canaux des mécanorécepteurs**: s'ouvrent ou se ferment en réponse à une déformation mécanique du récepteur (ex. récepteurs sensoriels du toucher).



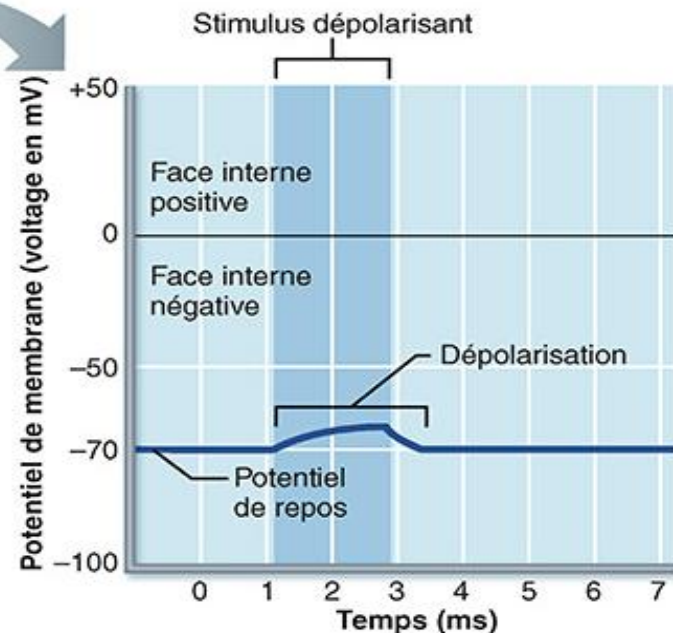
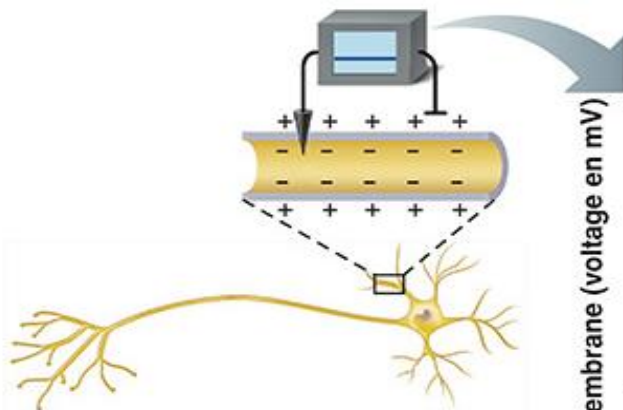
Canal ionique ligand-dépendant



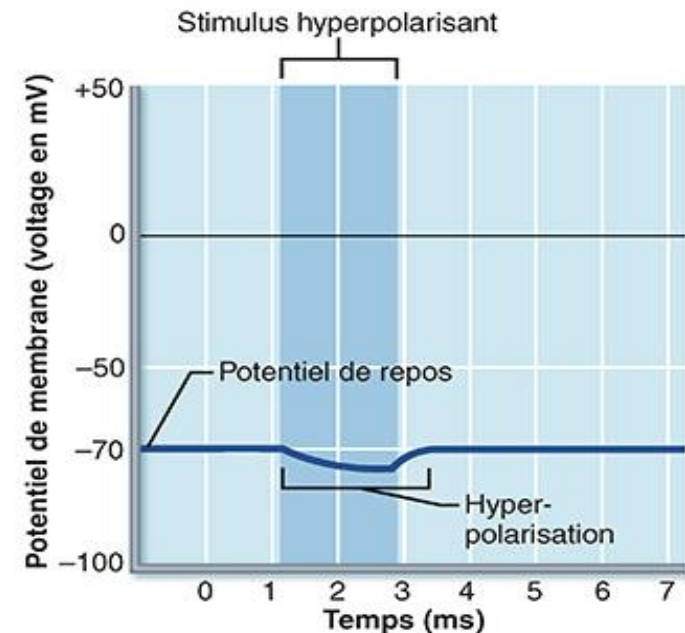
Canal ionique voltage-dépendant

Les signaux électriques

- « Dans les neurones, les modifications du potentiel de membrane servent de signaux pour la réception des informations, leur intégration et l'acheminement de réponses appropriées. »
- Une modification du potentiel de membrane peut être causée par:
 - i) un changement de la perméabilité membranaire à un type donné d'ions (la très grande majorité des cas)
 - ii) un changement du gradient de concentration des ions (rare)
- Les changements des potentiels de membrane sont nommés par rapport au potentiel de repos:
 - **Dépolarisation**: potentiel qui devient moins négatif que le potentiel de repos
 - **Hyperpolarisation**: potentiel qui devient plus négatif que le potentiel de repos



(a) **Dépolarisation** : Le potentiel de membrane s'approche de 0 mV et la face interne de la membrane devient moins négative (plus positive).



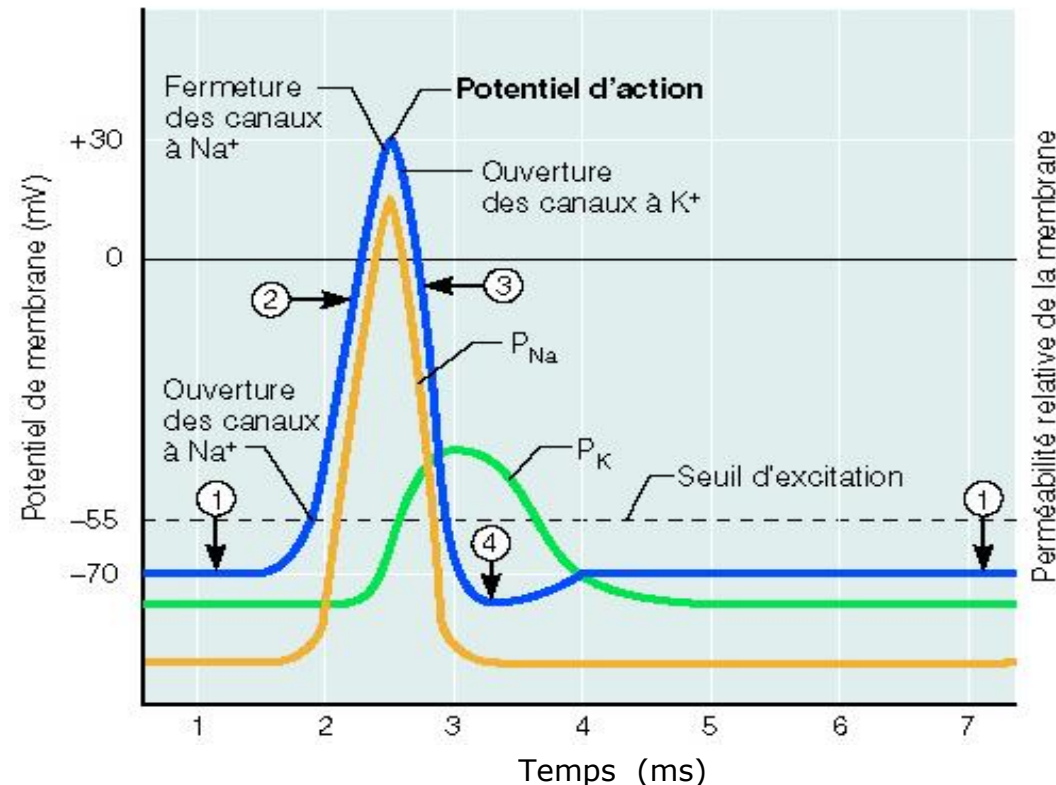
(b) **Hyperpolarisation** : Le potentiel de membrane augmente et la face interne de la membrane devient plus négative.

Les potentiels d'action

- Permettent la propagation des signaux sur une longue distance.
- Très brefs (typiquement 1-2 millisecondes dans les neurones!), avec une amplitude totale d'environ 100 mV (de -70 mV à $+30$ mV).
- **Cellules excitables**: cellules qui génèrent des potentiels d'action (nerfs et muscles).
- **Influx nerveux**: potentiels d'action générés par les neurones; produits seulement par les axones; typiquement déclenchés au cône d'implantation, ils se propagent en direction des boutons terminaux.

Phases du potentiel d'action:

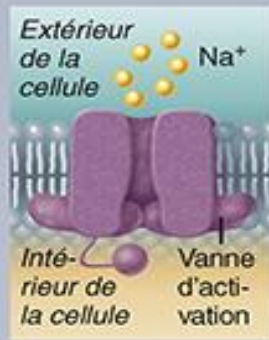
- ① **État de repos:**
 - Avant et après le potentiel d'action
- ② **Phase de dépolarisation:**
 - Due à une augmentation de la perméabilité membranaire aux ions Na^+ (P_{Na})
 - Les ions Na^+ entrent dans la cellule.
- ③ **Phase de repolarisation:**
 - Due au retour à une faible P_{Na} et in augmentation de la perméabilité membranaire aux ions K^+ (P_{K})
 - Les ions K^+ sortent de la cellule
- ④ **Hyperpolarisation:**
 - Période brève durant laquelle P_{K} retourne à sa valeur de repos
 - (Absente dans certains types de neurones)



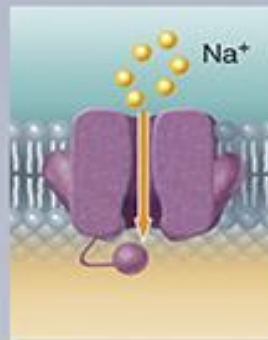
Mécanismes qui sous-tendent les potentiels d'action:

Les variations de P_{Na} et P_K sont dues à l'action de canaux Na^+ and K^+ **voltage-dépendants**.

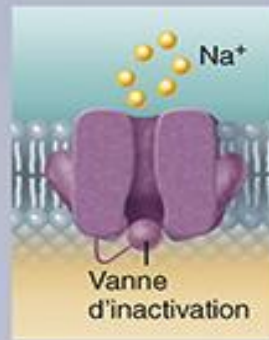
Les canaux à sodium voltage-dépendants possèdent deux vannes et passent par trois états différents; lors des deux premiers, les vannes d'inactivation sont ouvertes.



Fermés à l'état de repos. Aucun ion Na^+ n'entre dans la cellule.



Ouverts par la dépolarisation, ce qui permet l'entrée du Na^+ .

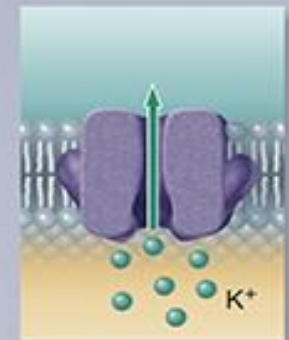


Inactivés, peu après leur ouverture, par suite d'un blocage automatique par les vannes d'inactivation.

Les canaux à potassium voltage-dépendants possèdent une vanne et deux états.



Fermés, à l'état de repos. Aucun ion K^+ ne sort de la cellule.



Ouverts par la dépolarisation, ce qui permet la sortie du K^+ .

Canaux Na^+ voltage-dépendants

Canaux qui s'ouvrent transitoirement durant le potentiel d'action; constitués de deux portes (ou «vannes») :

- **Porte d'activation**: fermée quand le potentiel de membrane est négatif; s'ouvre à partir de potentiels moins négatifs que -60 mV; **agit très rapidement**.
- **Porte d'inactivation**: ouverte quand le potentiel de membrane est négatif; se ferme à partir de potentiels moins négatifs que -60 mV; **agit plus lentement** que la porte d'activation.

Les 2 portes doivent être ouvertes en même temps pour que les ions Na^+ diffusent à travers le canal.

Canaux K^+ voltage-dépendants

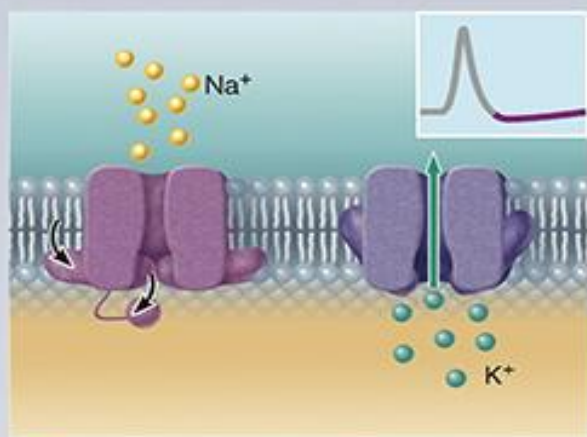
Canaux qui s'ouvrent transitoirement durant le potentiel d'action; constitués d'une seule porte :

- **Porte d'activation**: fermée quand le potentiel de membrane est négatif; s'ouvre à des potentiels positifs.

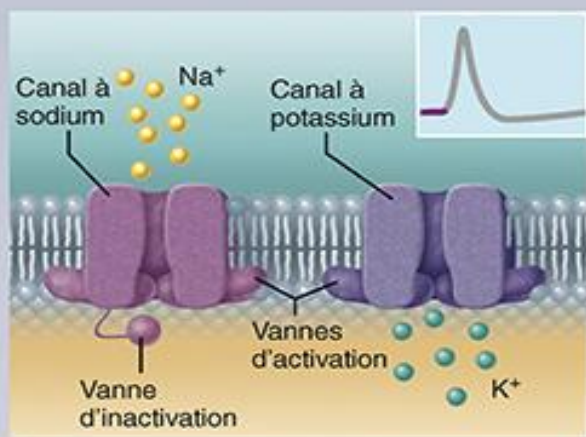
L'ouverture de la porte d'activation permet le passage des ions K^+ à travers le canal.

Événements

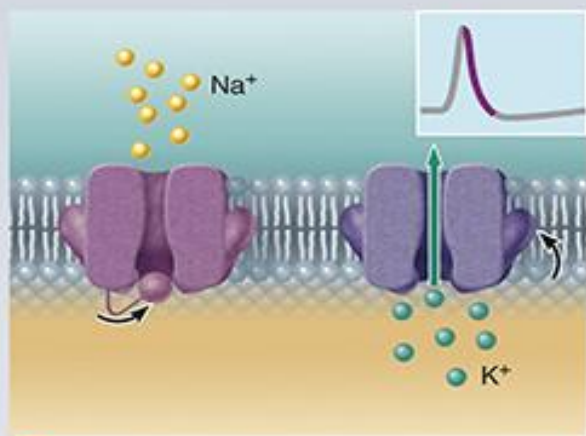
Chaque étape correspond à une partie du graphique du potentiel d'action.



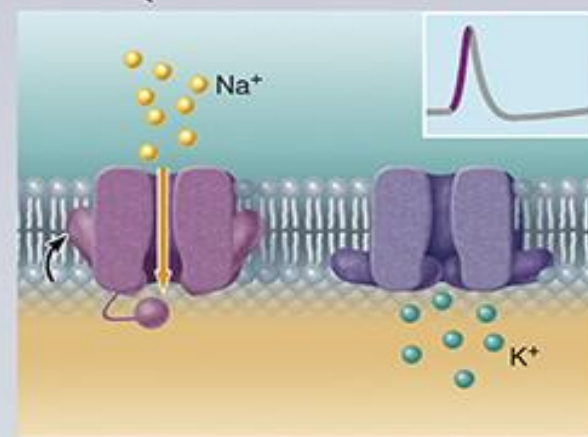
④ **Hyperpolarisation**: Certains canaux à K⁺ restent ouverts et les canaux à Na⁺ sont réactivés.



① **État de repos**: Tous les canaux à Na⁺ et à K⁺ sont fermés.



③ **Repolarisation**: Les canaux à Na⁺ sont inactivés, et les canaux à K⁺ s'ouvrent.



② **Dépolarisation**: Les canaux à Na⁺ s'ouvrent.

Propriétés du potentiel d'action

1. **Une dépolarisation initiale est requise pour déclencher un potentiel d'action (ce signal étant un potentiel gradué dépolarisant).**

Pourquoi?

À cause des propriétés des canaux Na^+ voltage-dépendants. Un potentiel d'action ne peut être déclenché que par l'ouverture des portes d'activation de ces canaux, lesquelles sont fermées à -70 mV et ne s'ouvrent qu'à partir d'une dépolarisation plus positive que environ -60 mV .

2. **Un seuil d'excitation doit être atteint pour que le potentiel d'action se produise.** Typiquement, le seuil est d'environ -55 mV .

- Stimulus infraliminaire: stimulus qui n'est pas assez intense pour atteindre le seuil d'excitation.
- Stimulus liminaire: stimulus qui est assez intense pour atteindre le seuil d'excitation et ainsi déclencher le potentiel d'action.

Quels sont les principaux facteurs qui déterminent le seuil d'excitation?

- i. La propriété des portes d'activation des canaux Na^+ voltage-dépendants.

La probabilité qu'un canal Na^+ voltage-dépendant s'ouvre dépend de la dépolarisation. Ainsi, environ 1% des canaux s'ouvrent à -60 mV , 50% à -25 mV et 100% à 0 mV . Pour déclencher le potentiel d'action il faut qu'un minimum de canaux Na^+ s'ouvrent en même temps afin de faire entrer suffisamment d'ions Na^+ . En conditions normales, on estime que l'ouverture initiale de quelque 5% des canaux Na^+ permet de faire entrer suffisamment d'ions Na^+ , ce qui correspond à un voltage d'environ -55 mV .

- ii. La densité des canaux Na^+ voltage-dépendants.

Plus le nombre de canaux Na^+ est grand dans une membrane et plus le seuil d'excitation est négatif (et donc plus facile à atteindre) parce davantage de canaux s'ouvrent à une dépolarisation donnée. Par exemple, le cône d'implantation de l'axone a une plus grande concentration de canaux Na^+ , ce qui abaisse le seuil d'excitation à environ -60 mV et rend cette région particulièrement excitable.

Propriétés du potentiel d'action

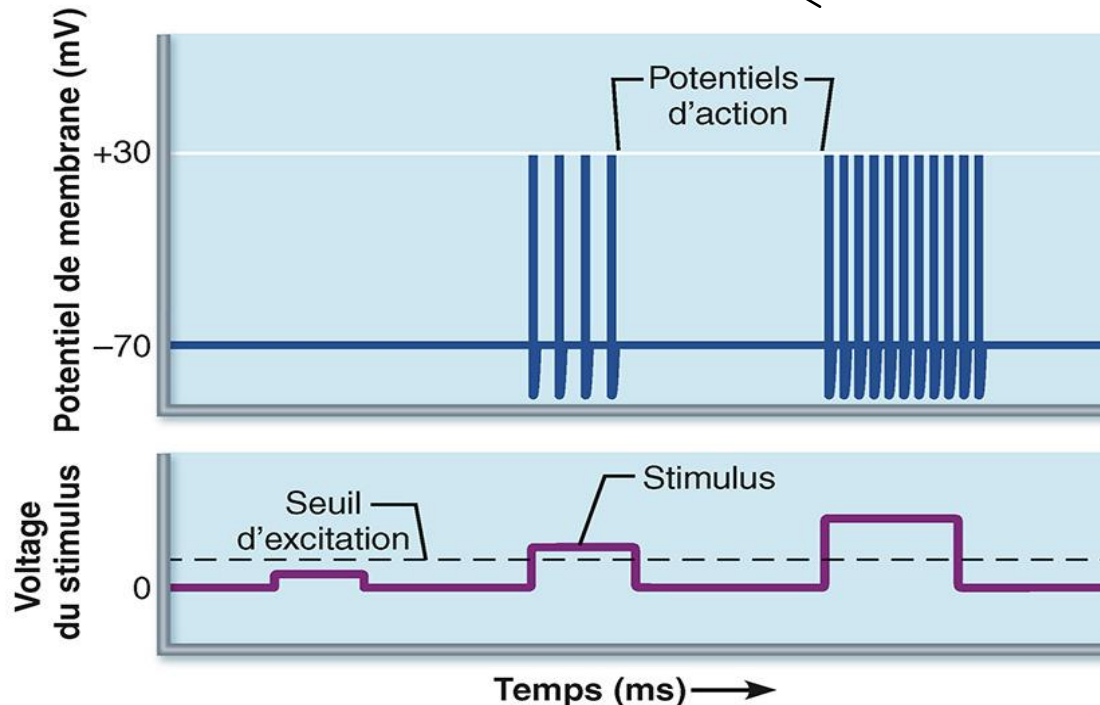
3. Le potentiel d'action est un phénomène de tout ou rien.

Une fois déclenché, un potentiel d'action atteint son amplitude maximale (+30 mV), peu importe l'intensité du stimulus. En d'autres termes, les potentiels d'action sont indépendants de la force du stimulus (Fig. 11.13).

Pourquoi?

Lorsque le seuil est atteint, la dépolarisation continue jusqu'à ce qu'un nombre maximal de canaux Na^+ s'ouvrent dans ce segment dépolarisé, ce qui laisse entrer un nombre maximal d'ions Na^+ causant ainsi une dépolarisation maximale. C'est un processus de rétroactivation:

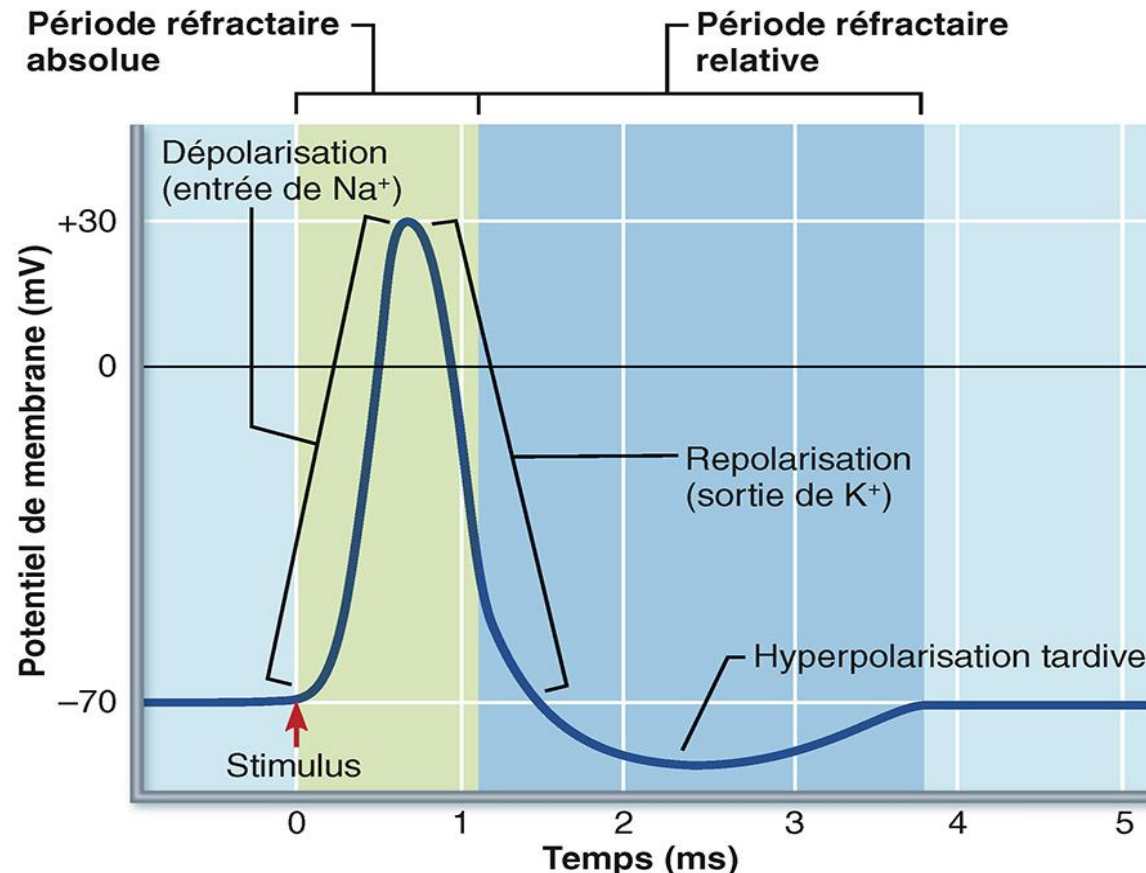
Dépolarisation jusqu'au seuil **Quverture de canaux Na^+** **Entrée d'ions Na^+** **Dépolarisation**



Propriétés du potentiel d'action

4. Un potentiel d'action a des périodes réfractaires.

- *Période réfractaire absolue*: période durant laquelle un deuxième potentiel d'action ne peut pas être déclenché, peu importe l'intensité du stimulus. Cette période correspond essentiellement aux phases de dépolarisation et repolarisation du potentiel d'action.
- *Période réfractaire relative*: période durant laquelle un deuxième potentiel d'action peut être déclenché, mais avec un stimulus qui doit être plus intense qu'en temps normal. Cette période correspond principalement à la phase d'hyperpolarisation tardive du potentiel d'action.



Propriétés du potentiel d'action

5. **Contrairement aux potentiels gradués, les potentiels d'action se propagent sans décroissance.**

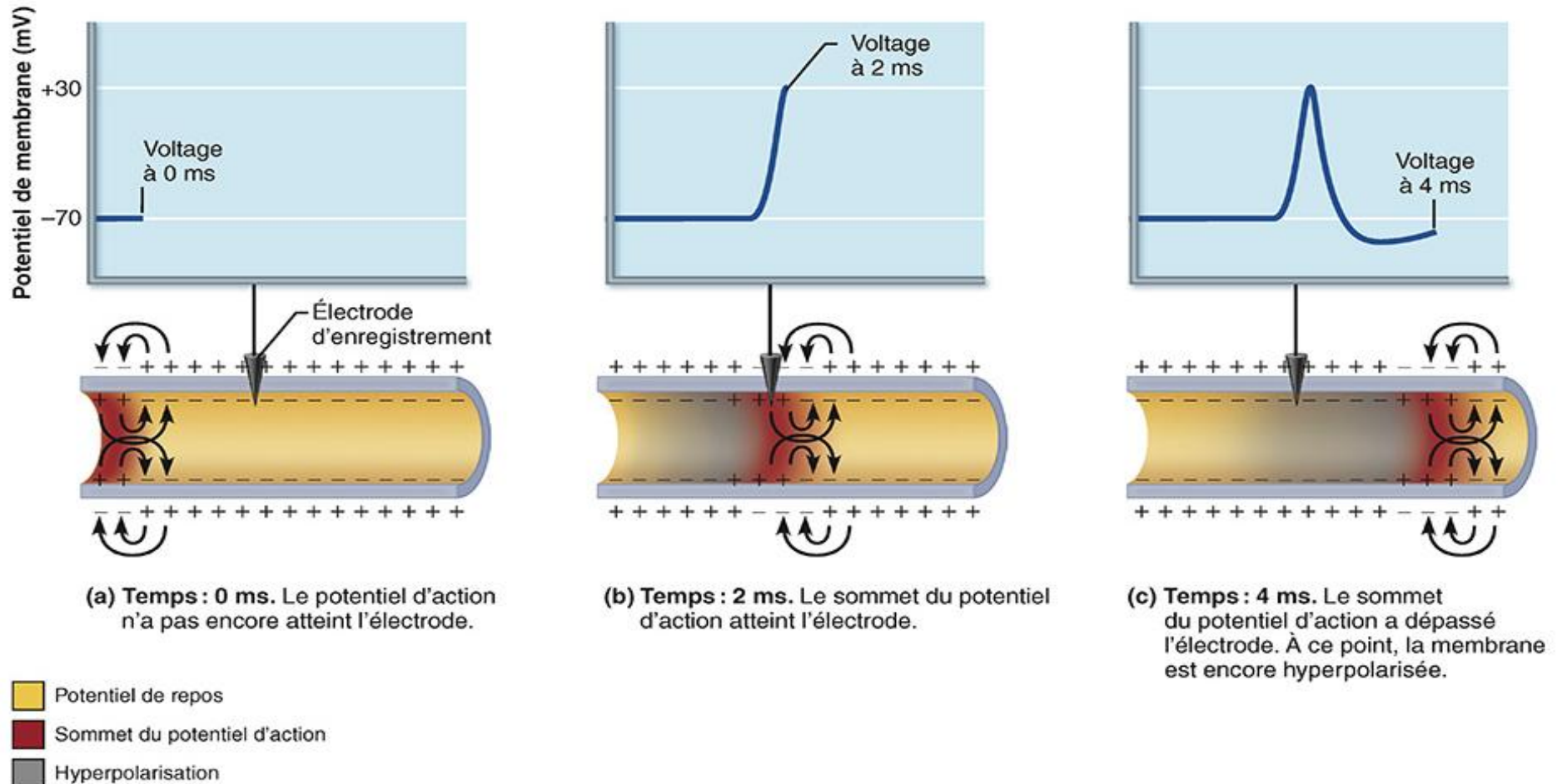
Parce qu'ils se propagent sans décroissance, les potentiels d'action constituent les signaux électriques qui peuvent être transmis sur de longues distances sans aucune distorsion. Les potentiels d'actions SONT les influx nerveux transmis d'une région à une autre.

La prochaine section (4.2.4) explique les mécanismes qui sous-tendent cette propriété fondamentale du potentiel d'action.

Propagation des potentiels d'action

Concepts généraux

- Les potentiels d'action doivent parcourir (se **propager**) toute la longueur d'un axone pour influencer le prochain neurone.
- Une fois déclenché, un potentiel d'action se *propage de lui-même*.
- La propagation se fait par l'intermédiaire de *courants locaux* entre des régions adjacentes.



Vitesse de propagation des potentiels d'action

La vitesse dépend de deux facteurs majeurs: *le diamètre de l'axone* et la *gaine de myéline*.

- **Diamètre de l'axone:**

Plus le diamètre est grand, plus la propagation est rapide.

- **Gaine de myéline:**

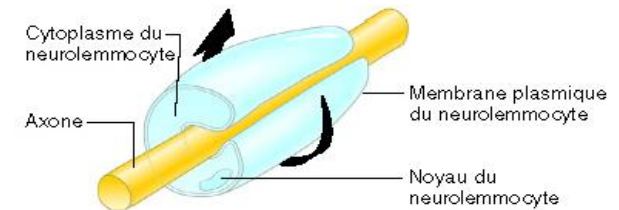
Enveloppe de certains axones (mais jamais des dendrites ou corps cellulaires) composée de plusieurs couches concentriques de membranes plasmiques.

- Produite par les oligodendrocytes du SNC et les cellules de Schwann du SNP.
- Isole électriquement l'axone et, surtout, augmente la vitesse de propagation du potentiel d'action.

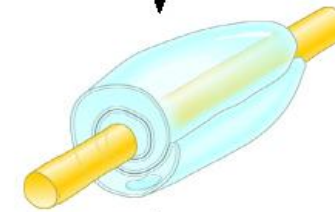
- **Nœuds de Ranvier:** interstices dans la gaine de myéline; apparaissent à intervalles réguliers le long de l'axone. Chaque cellule de Schwann enveloppe un segment entre deux nœuds.

- **Axones myélinisés:** axones enveloppés de myéline.

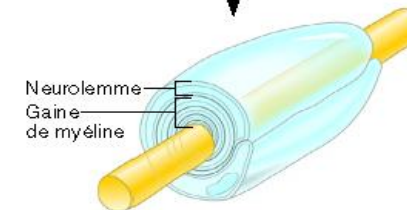
- **Axones amyélinisés:** axones qui ne sont pas, ou partiellement recouverts d'une gaine de myéline.



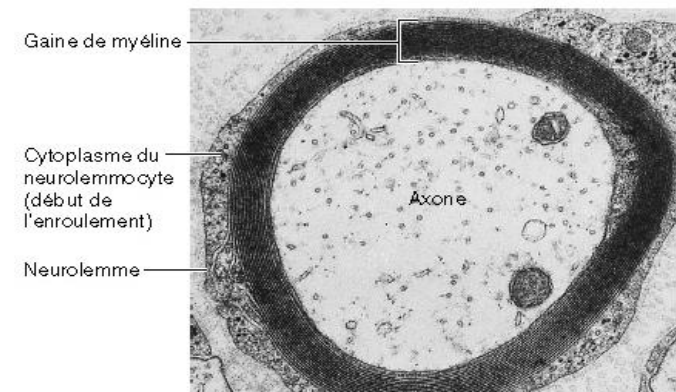
(a)



(b)



(c)



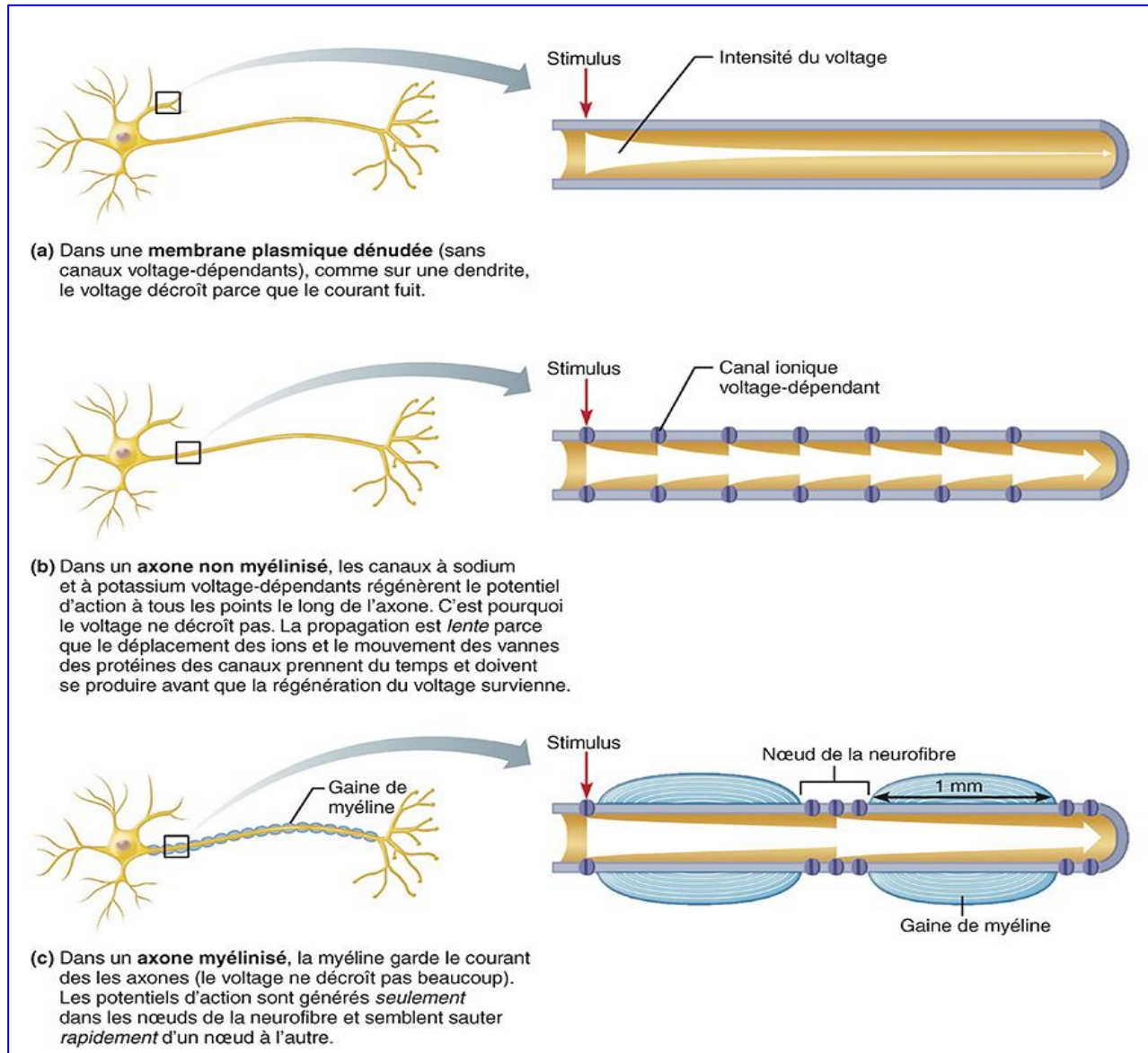
Vitesse de propagation des potentiels d'action

Les potentiels d'action se propagent beaucoup plus rapidement dans les axones myélinisés que dans les axones amyélinisés (quelques 50 x ou plus).

Conduction saltatoire:

Propagation des potentiels d'action le long des axones myélinisés.

- Les canaux voltage-dépendants sont présents seulement dans les nœuds de Ranvier.
- Ainsi, les potentiels d'action ne sont générés que dans les nœuds et "sautent" d'un nœud à l'autre, ce qui accélère leur propagation.



La transmission synaptique

Synapses électriques et chimiques

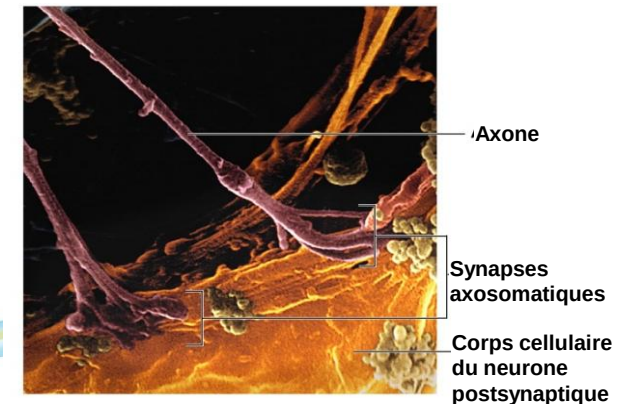
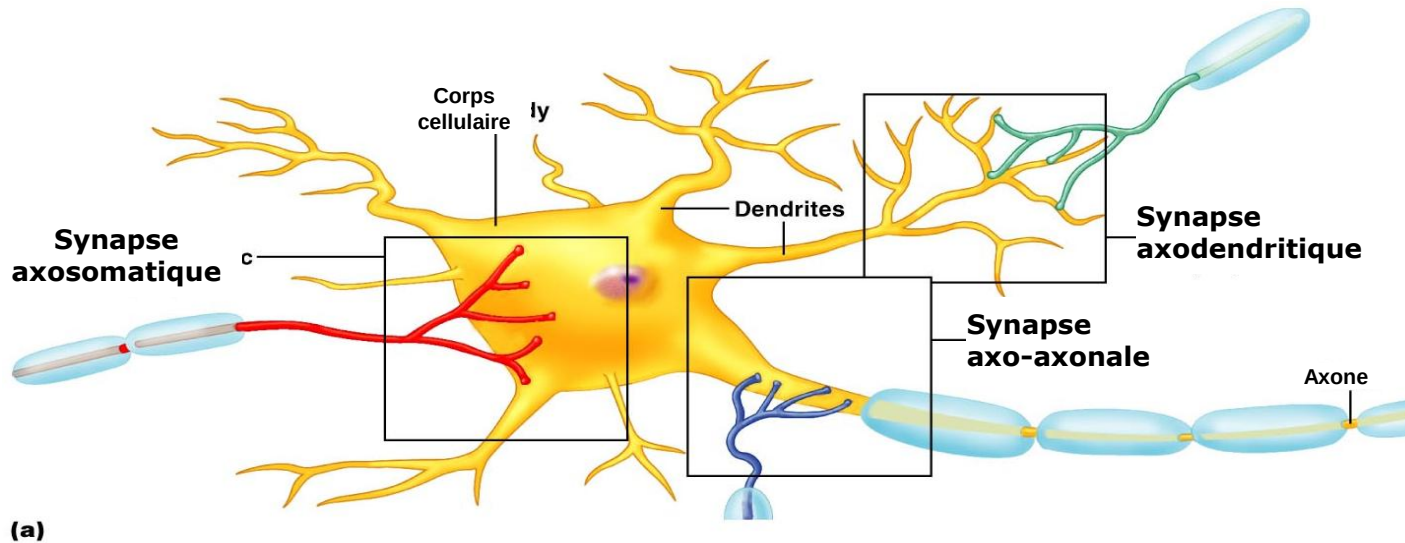
Synapse : jonction entre deux neurones, ou entre un neurone et une cellule effectrice.

Entre deux neurones, les synapses sont souvent nommées selon leur situation:

- *Synapse axodendritique*: entre un axone et une dendrite (les plus nombreuses)
- *Synapse axosomatique*: entre un axone et le corps cellulaire
- *Synapse axo-axonale*: entre deux axones (les moins nombreuses)

Neurone présynaptique: neurone qui envoie les influx vers la synapse.

Neurone postsynaptique: neurone qui reçoit l'information de la synapse.



Deux types de synapses:

- **Synapses électriques:**

- Les moins nombreuses; jonctions ouvertes.
- Passage direct des ions à travers les connexons: les neurones sont ainsi *électriquement couplés*.
- Principales caractéristiques:
 - Permettent une transmission très rapide entre deux neurones.
 - La transmission peut être *bidirectionnelle*.
 - Fournissent un moyen de synchroniser l'activité de tous les neurones interconnectés.

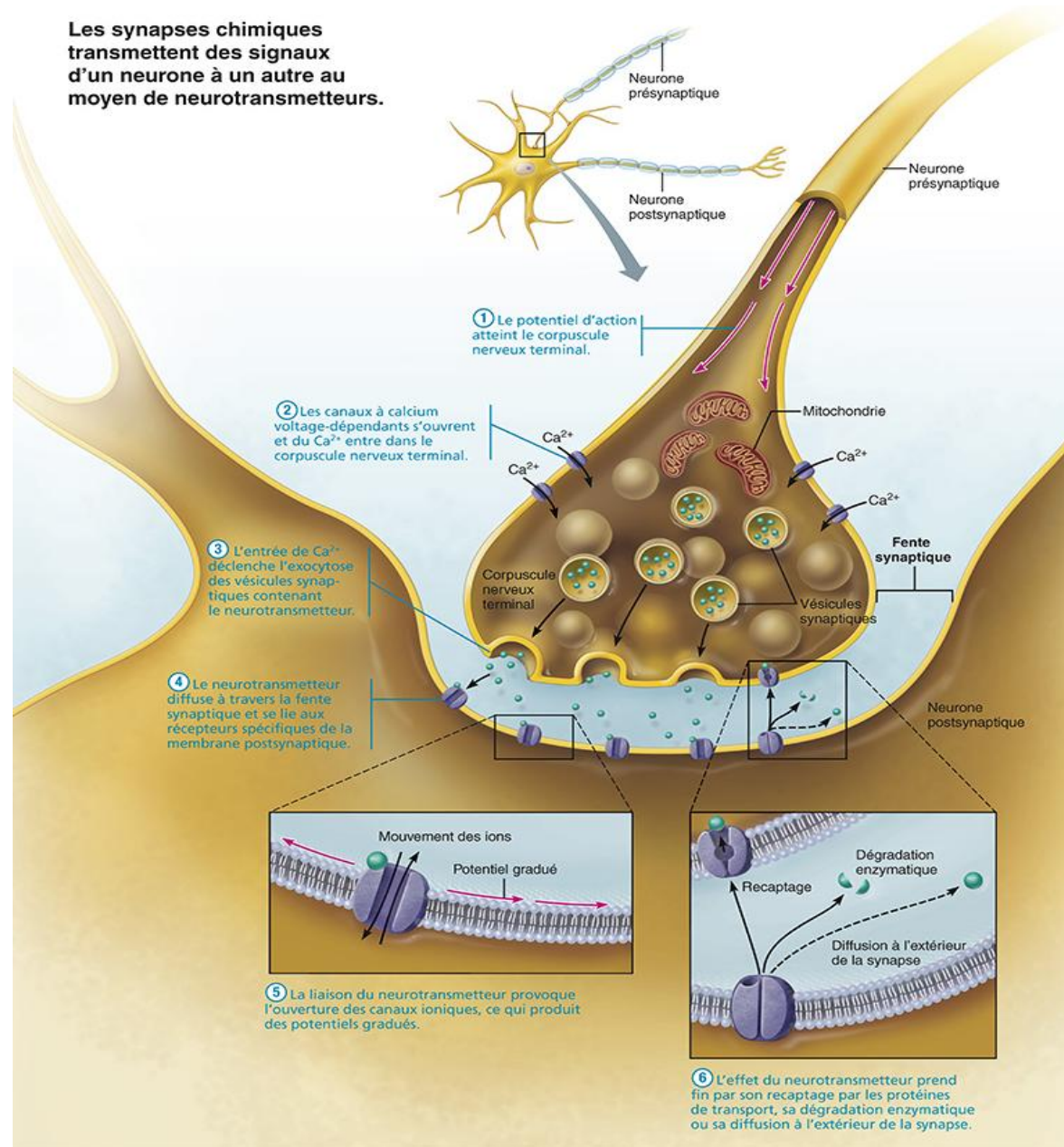
- **Synapses chimiques:**

- Beaucoup plus abondantes que les synapses électriques.
- Transmettent les signaux par l'intermédiaire de **neurotransmetteurs**.
- Principales caractéristiques:
 - Le signal électrique n'est pas directement transmis d'un neurone à l'autre. La transmission se fait par la libération, diffusion et liaison de neurotransmetteurs.
 - Transmission plus lente qu'avec les synapses électriques.
 - Transmission toujours *unidirectionnelle*.
 - Permettent un contrôle très précis du transfert de l'information entre deux cellules.

Structure des synapses chimiques

Les synapses chimiques sont constituées de trois régions:

- *Bouton (ou corpuscule) terminal*: contient des *vésicules synaptiques* remplies de *neurotransmetteurs*.
- *Région réceptrice du neurotransmetteur*: sur la membrane de la cellule postsynaptique.
- *Fente synaptique*: espace très étroit entre les membranes présynaptique et postsynaptique.



Structure des synapses chimiques

- ① Le potentiel d'action arrive au bouton terminal.
- ② La dépolarisation cause l'ouverture de canaux à Ca^{2+} voltage-dépendants.
→ Entrée des ions Ca^{2+} dans le bouton terminal.
- ③ L'augmentation de la concentration intracellulaire en Ca^{2+} entraîne la fusion des vésicules synaptiques avec la membrane présynaptique.
→ Libération de neurotransmetteurs par exocytose.
- ④ Les neurotransmetteurs diffusent à travers la fente synaptique et se lient (réversiblement) aux récepteurs postsynaptiques.
- ⑤ La liaison neurotransmetteur-récepteur cause l'ouverture (ou la fermeture) de canaux ioniques ligand-dépendants sur la membrane postsynaptique.
→ Changement du potentiel de membrane de la cellule postsynaptique: *potentiel postsynaptique*.

- ⑥ Les effets des neurotransmetteurs ne durent que quelques millisecondes en général parce qu'ils sont rapidement éliminés de la fente synaptique.

Trois mécanismes généraux pour mettre fin à l'effet d'un neurotransmetteur:

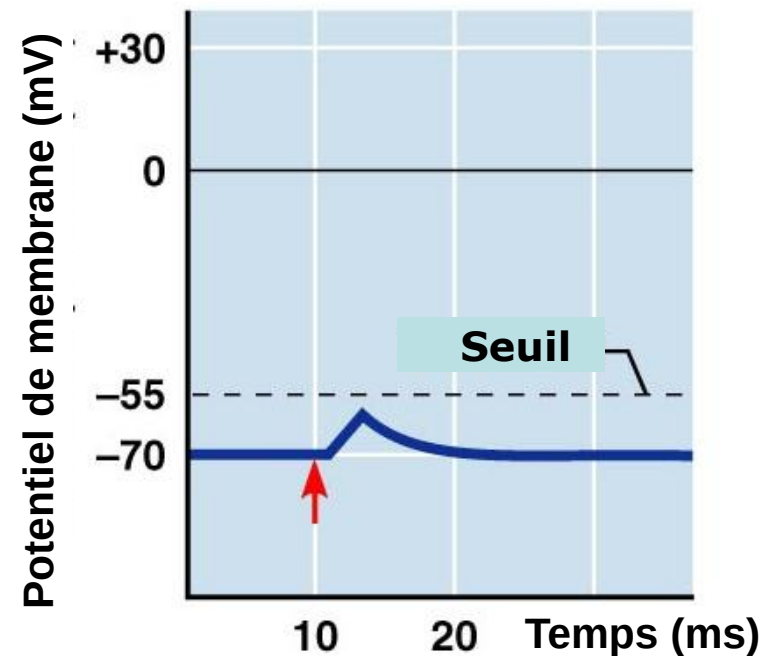
1. Dégradation des neurotransmetteurs par des enzymes présentes dans la fente synaptique ou sur la surface externe de la membrane postsynaptique.
2. Recaptage des neurotransmetteurs par la membrane présynaptique ou par les astrocytes.
3. Diffusion des neurotransmetteurs à l'extérieur de la fente synaptique.

Potentiels postsynaptiques

- Ils sont produits par l'action de **canaux ligand-dépendants** suite à la liaison de neurotransmetteurs aux récepteurs postsynaptiques.
- Ils peuvent être **excitateurs** or **inhibiteurs**.

▪ Potentiel postsynaptique exciteur (PPSE):

- Petite dépolarisation de la membrane postsynaptique.
- Typiquement causé par l'ouverture de canaux à Na^+ ligand-dépendants.
 - dépolarisation due à une augmentation de la perméabilité aux ions Na^+ .
- Dans les synapses entre 2 neurones, un PPSE unique n'atteint pas le seuil d'excitation, mais rapproche le potentiel de membrane plus près de ce seuil.
 - Le neurone devient plus excitable.

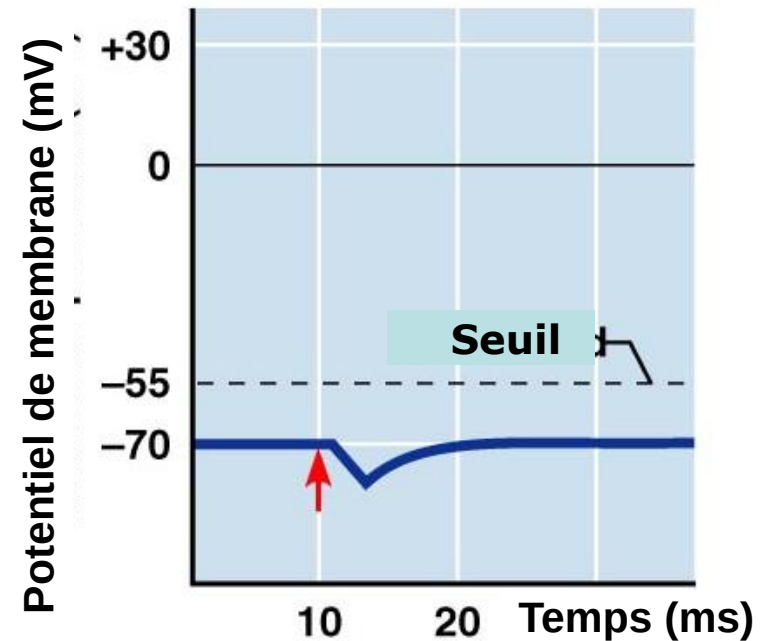


Potentiel postsynaptique exciteur (PPSE)

Potentiels postsynaptiques

▪ Potentiel postsynaptique inhibiteur (PPSI):

- Petite hyperpolarisation de la membrane postsynaptique.
- Typiquement causé par l'ouverture de canaux ligand-dépendants à K^+ ou Cl^- .
→ Une augmentation de la perméabilité membranaire aux ions K^+ ou Cl^- induit une hyperpolarisation.
- Les PPSI éloignent le potentiel de membrane du seuil d'excitation.
→ Le neurone devient moins excitable.

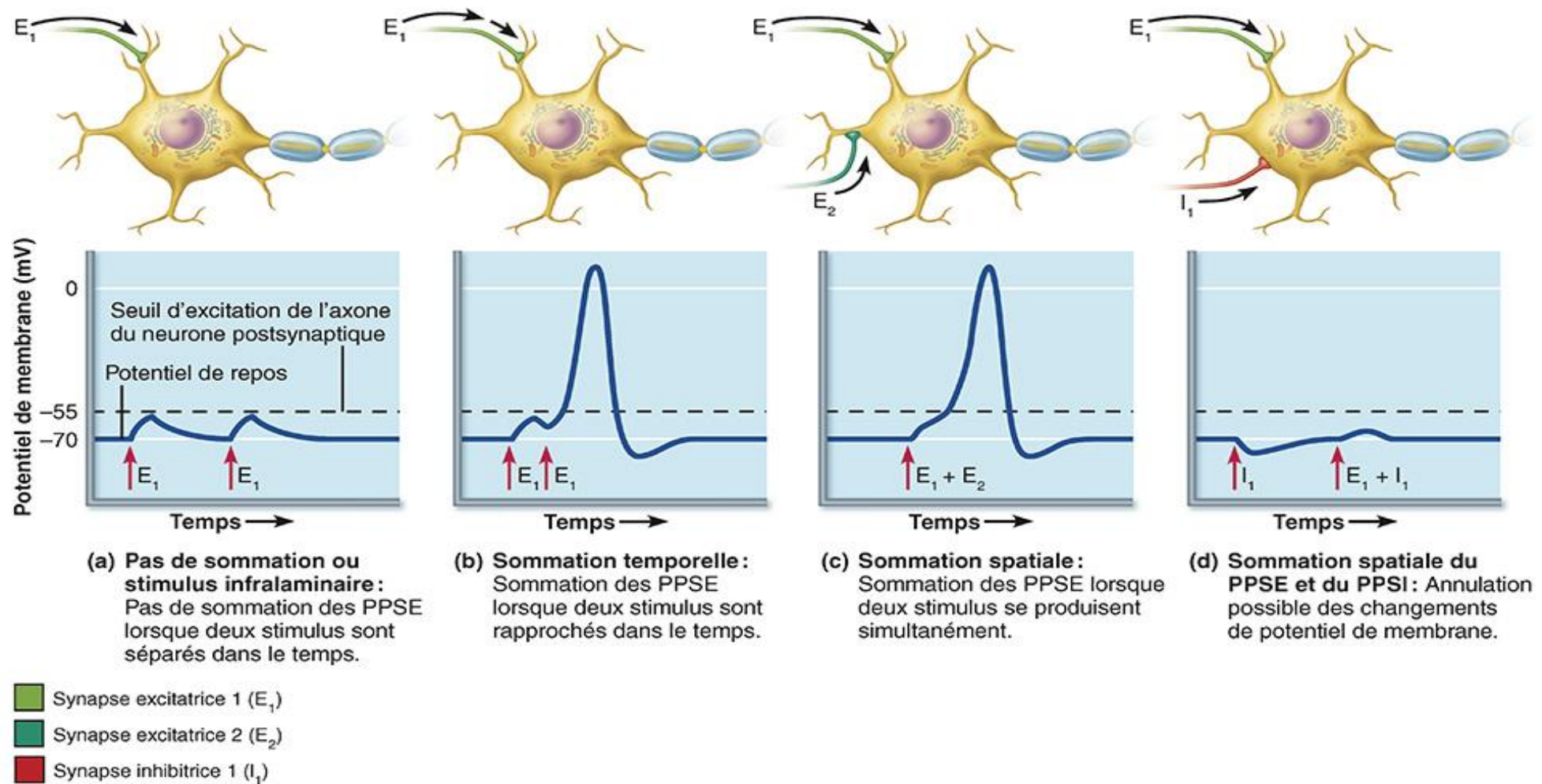


Potentiel postsynaptique inhibiteur (PPSI)

Intégration des phénomènes synaptiques

- Les PPSE et PPSI sont des potentiels gradués qui se propagent de la synapse vers le cône d'implantation, là où le potentiel d'action peut être déclenché.
- Le déclenchement d'un potentiel d'action dépend de la sommation de tous les potentiels postsynaptiques qui arrivent au cône d'implantation
→ *Intégration des signaux*
- Deux types de sommation:
 - **Sommation temporelle:** Lorsqu'un seul bouton terminal d'un neurone présynaptique transmet des signaux successifs à fréquence élevée.
→ Des décharges successives peuvent s'additionner parce que les potentiels postsynaptiques n'ont pas de périodes réfractaires.
 - **Sommation spatiale:** Lorsqu'un neurone postsynaptique est stimulé simultanément par plusieurs boutons terminaux.

Intégration des phénomènes synaptiques



Les neurotransmetteurs

- Plus de 50 neurotransmetteurs.
- Classification des neurotransmetteurs selon leur structure:
 - **Acétylcholine**
 - Présente dans plusieurs régions du SNC et du SNP.
 - 2 types de récepteurs *cholinergiques*:
 - Récepteurs **nicotiniques** (effets reproduits par la *nicotine*)
 - Récepteurs **muscariniques** (effets reproduits par la *muscarine*)
 - **Amines biogènes**
 - Catécholamines: *dopamine, noradrénaline, adrénaline*
 - Sérotonine
 - Histamine
 - **Acides aminés**
Exemples: **GABA, glutamate, glycine**
 - **Peptides**
Exemples: **Substance P** (impliquée dans la sensation de la douleur);
Endorphines (opiacés naturels, inhibent la douleur; effet mimé par la morphine)
 - **Autres**
Exemples:
 - **Purines**: ATP, ADP, AMP
 - **Monoxyde d'azote** (NO)

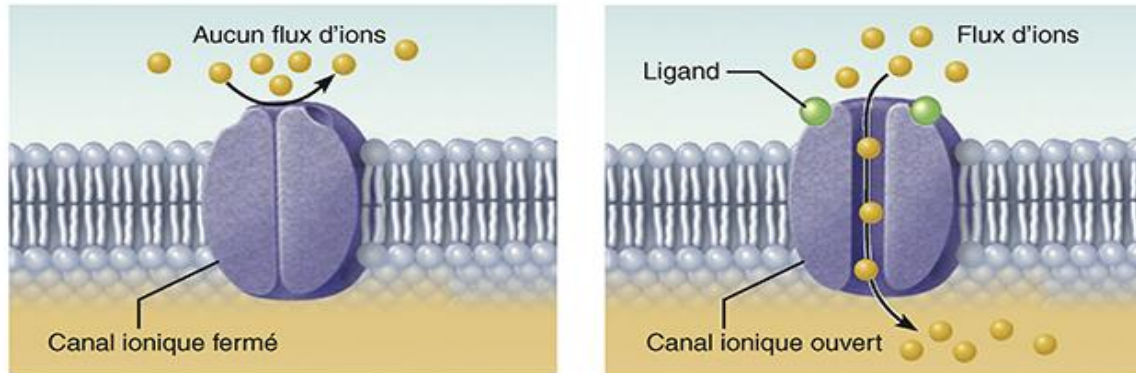
•Classification des neurotransmetteurs selon leur fonction:

- Selon l'effet qu'ils produisent:
 - Les neurotransmetteurs peuvent être excitateurs (induisent des PPSE) ou inhibiteurs (induisent des PPSI), selon le type de récepteurs auxquels ils se lient sur membrane postsynaptique.
Exemple: L'acétylcholine est excitatrice si le récepteur est nicotinique ou inhibitrice si le récepteur est muscarinique.
- Selon le mécanisme d'action:
 - Action directe: lorsque le neurotransmetteur agit directement sur le canal postsynaptique.
Exemple: effet de l'acétylcholine sur le récepteur nicotinique.
 - Action indirecte: lorsque le neurotransmetteur agit indirectement via des *seconds messagers*.
Exemple: effet de l'acétylcholine sur le récepteur muscarinique.

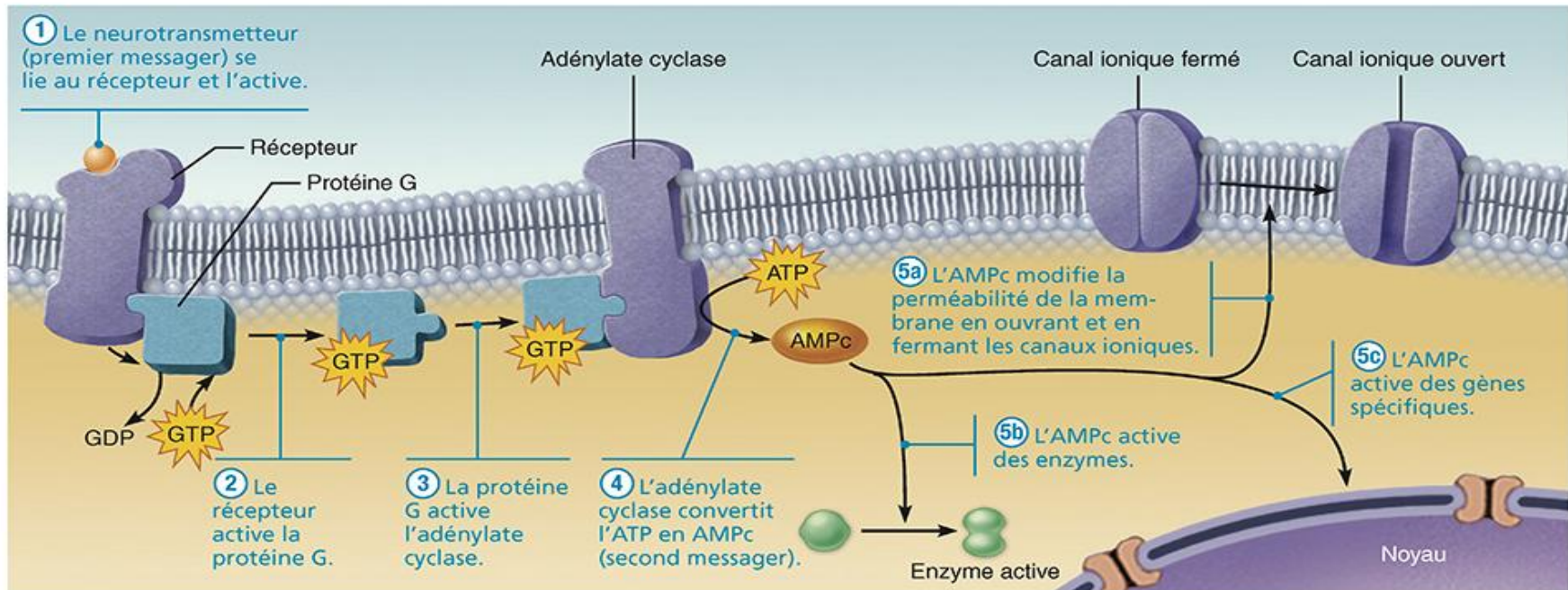
Récepteurs des neurotransmetteurs

- Les récepteurs sont nommés selon les neurotransmetteurs qui se lient à eux.
Exemples: récepteurs *cholinergiques* pour l'acétylcholine; récepteurs *adrénergiques* pour l'adrénaline; récepteurs *dopaminergiques*, *purinergiques*, etc...
- Les actions directes et indirectes des neurotransmetteurs dépendent du type de récepteurs:
 - **Récepteurs ionotropes:** (action directe)
 - Le canal ionique contient un site de liaison pour le neurotransmetteur.
 - Permettent une action rapide et brève.
 - **Récepteurs métabotropes:** (action indirecte)
 - Le récepteur est séparé du canal ionique.
 - Le récepteur est associé à une *protéine G*.
L'interaction neurotransmetteur-récepteur cause l'activation de la protéine G.
 - La protéine G activée peut :
 - agir directement sur les canaux ioniques.
 - causer la formation de messagers intracellulaires (AMPc, Ca^{2+}) qui agissent sur les canaux ioniques.
 - activer des enzymes ou la synthèse de protéines qui modifient le métabolisme cellulaire.
 - Les récepteurs métabotropes agissent plus lentement mais de façon plus prolongée que les récepteurs ionotropes.

Récepteurs des neurotransmetteurs



(a) Les récepteurs associés à un canal s'ouvrent à la suite de la liaison du ligand (l'acétylcholine dans l'exemple représenté ici).



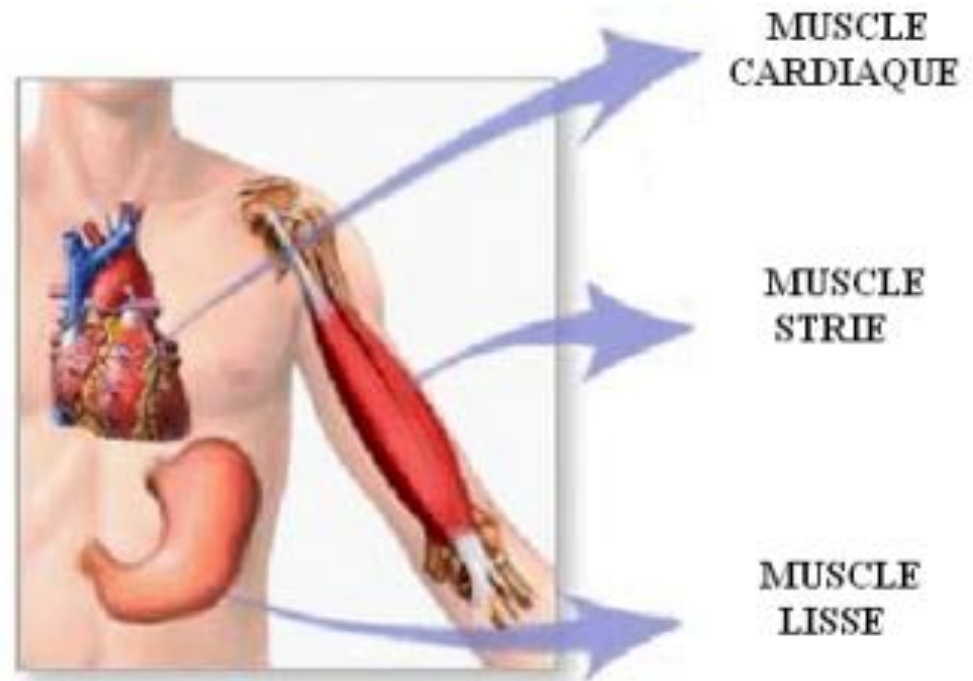
(b) Les récepteurs associés à une protéine G induisent la formation d'un second messager intracellulaire (l'AMP cyclique dans l'exemple) qui déclenche la réponse cellulaire.

Figure 11.20 Mécanismes d'action directs et indirects des récepteurs des neurotransmetteurs. (AMPc: AMP cyclique)

I - Caractéristiques générales du tissu musculaire

A - Types de tissus musculaires

- 3 types : squelettique, cardiaque, lisse.
 - structure,
 - situation dans le corps,
 - fonction,
 - mode de déclenchement de leur contraction.



Comparaison

- Tissu musculaire squelettique : = les muscles striés
 - sous la forme de muscles squelettiques (recouvre le squelette osseux et s'y attache)
 - fibres musculaires squelettiques = les plus longues (forment des stries),
 - peuvent être maîtrisées volontairement
 - peuvent se contracter rapidement, et avec une grande force
 - sont très fatigables
- Le tissu musculaire cardiaque :
 - n'existe que dans le cœur (myocarde)
 - strié,
 - contraction involontaire
- Le tissu musculaire lisse :
 - dans les organes viscéraux creux
 - non striés,
 - involontaires

Caractéristiques générales du tissu musculaire

B - Fonctions du tissu musculaire

- Mouvement
- Maintien de la posture
- Stabilisation des articulations
- Production de chaleur

C - Caractéristiques fonctionnelles des muscles

- ❑ **Excitabilité : faculté** de percevoir un stimulus et d'y répondre
- ❑ **Contractilité** : capacité de se contracter avec force en présence d'une stimulation appropriée
- ❑ **Extensibilité** : faculté d'étirement. Lorsqu'elles se contractent, les fibres musculaires raccourcissent, mais lorsqu'elles sont détendues, on peut les étirer au-delà de leur longueur de repos
- ❑ **Elasticité** : possibilité pour les FM de se raccourcir et de reprendre leur longueur de repos lorsqu'on les relâche.

Structures anatomiques et fonctionnelles du tissu musculaire

A - Structure anatomique du muscle

1. Le muscle squelettique :

- un corps musculaire
- un ou plusieurs tendons

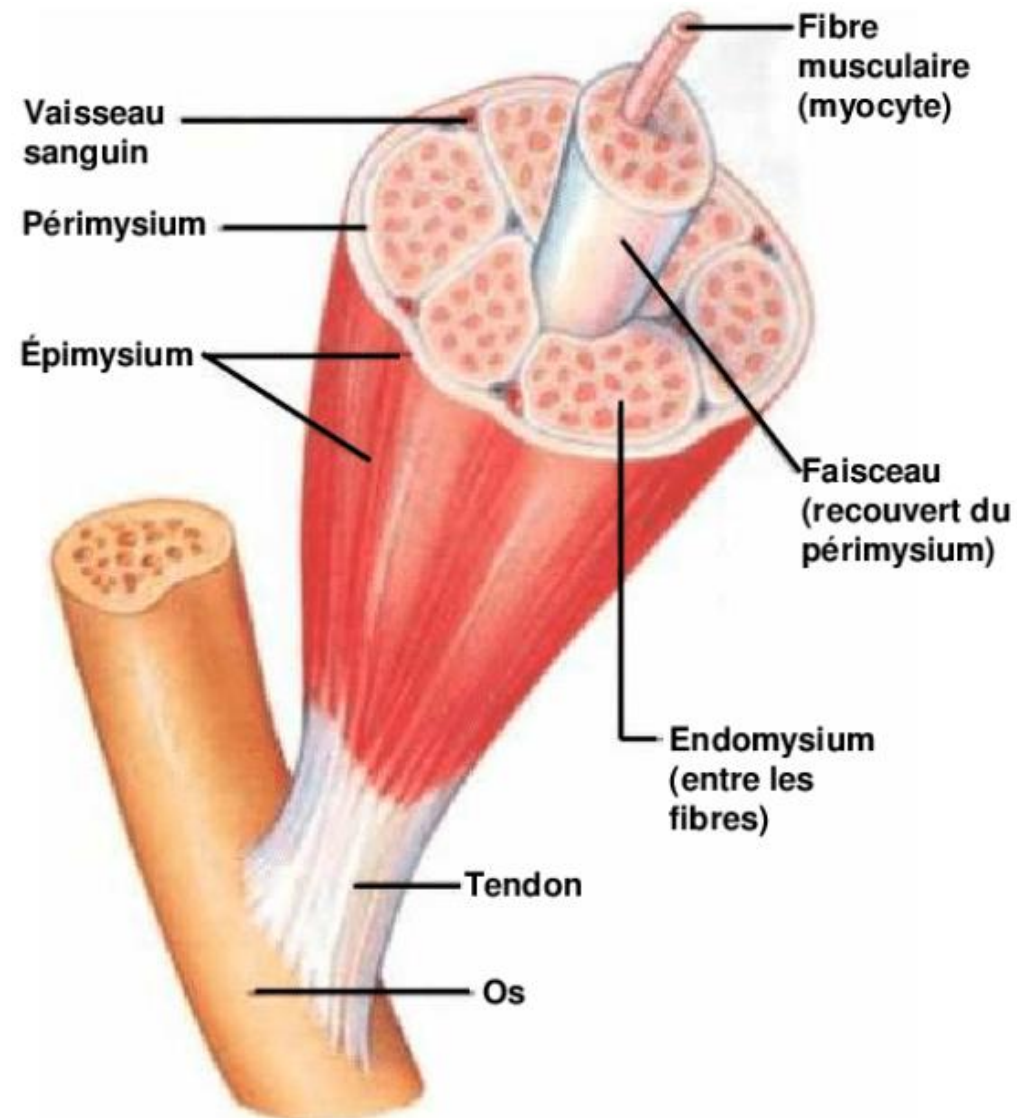
Le corps musculaire est constitué de plusieurs centaines (milliers) de FM, regroupées en faisceaux.

Autour de chaque faisceau
= périmysium

Autour de chaque FM

= endomysium :

- sépare les FM entre elles,
- isolant électrique en doublant la membrane électriquement excitable qui recouvre la fibre : le sarcolemme



A - Structure anatomique du muscle

2. La fibre musculaire :

- cellule géante, très allongée, plusieurs noyaux
- diamètre d'1 FM varie entre 10 et 100µm
- longueur d'une FM peut aller de 1 mm à plusieurs dizaines de centimètres (30 cm)
- les plus courtes et les plus épaisses = une force importante
- les plus longues et les plus fines = mouvements rapides et de grande amplitude
- Chaque FM : enveloppée d'une membrane fine électriquement excitable : **le sarcolemme**
 - tapisse totalement la fibre,
 - peut transmettre l'excitation électrique aux éléments contractiles : **les myofibrilles**

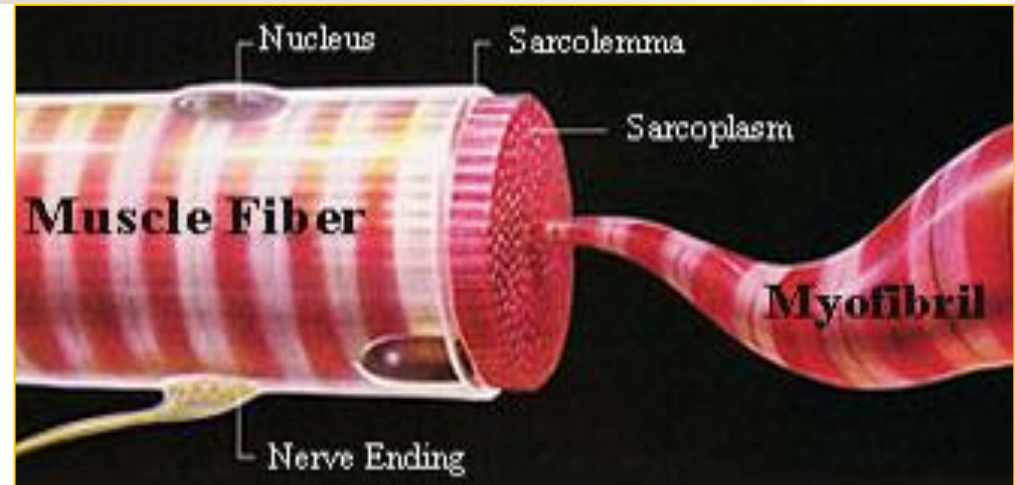
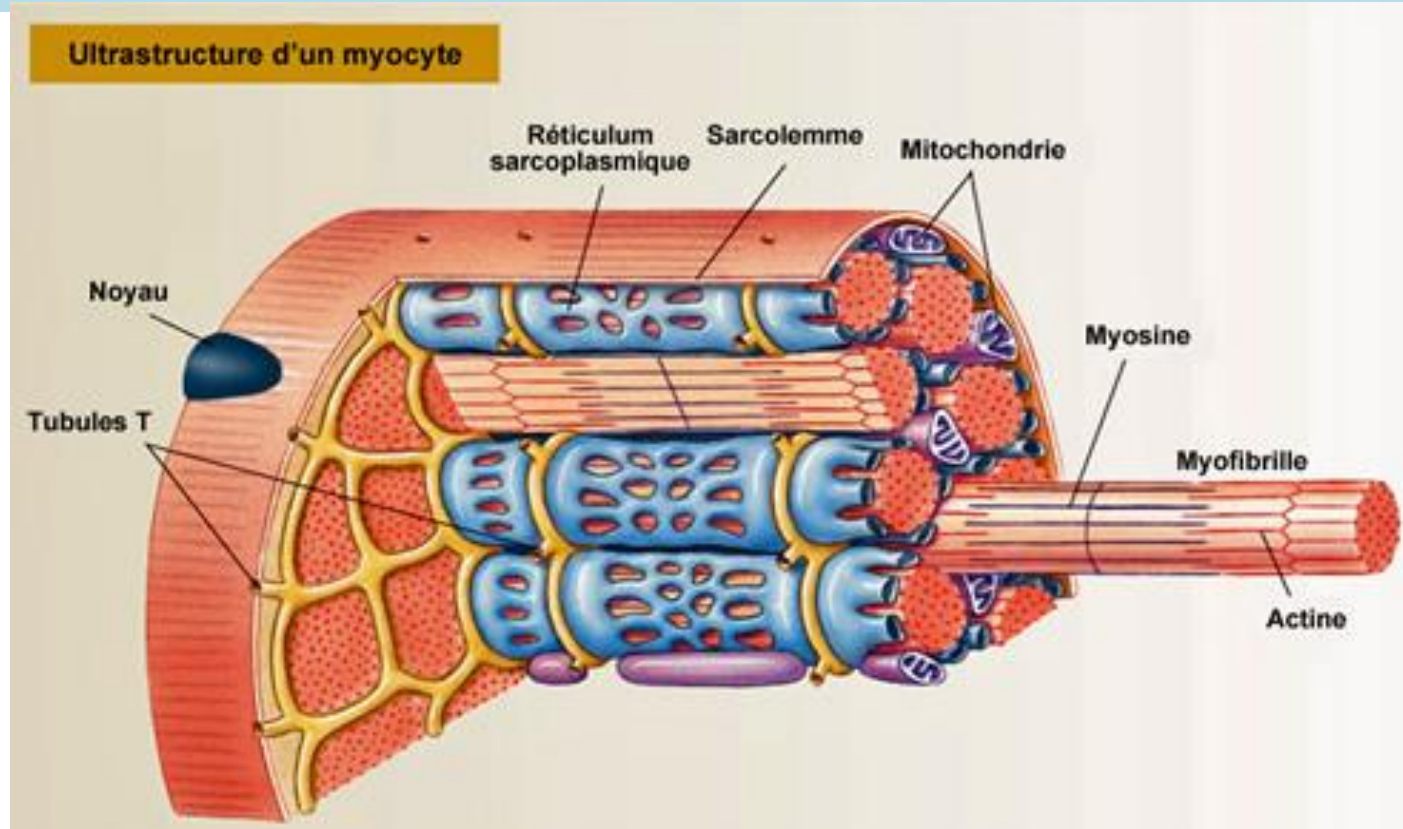
Structures anatomiques et fonctionnelles du tissu musculaire

Les tubules transverses (tubules T) : modifications particulières du sarcolemme, qui pénètrent en profondeur dans la cellule

Sarcoplasme : liquide intracellulaire de la FM, abrite des réserves importantes de glycogène. Abrite de la myoglobine

Le réticulum sarcoplasmique : réseau de tubules, qui parcourt les intervalles entre les myofibrilles

Les terminaisons du réticulum sont appelées citernes (réserves d'ions Ca^{2+})



Structures anatomiques et fonctionnelles du tissu musculaire

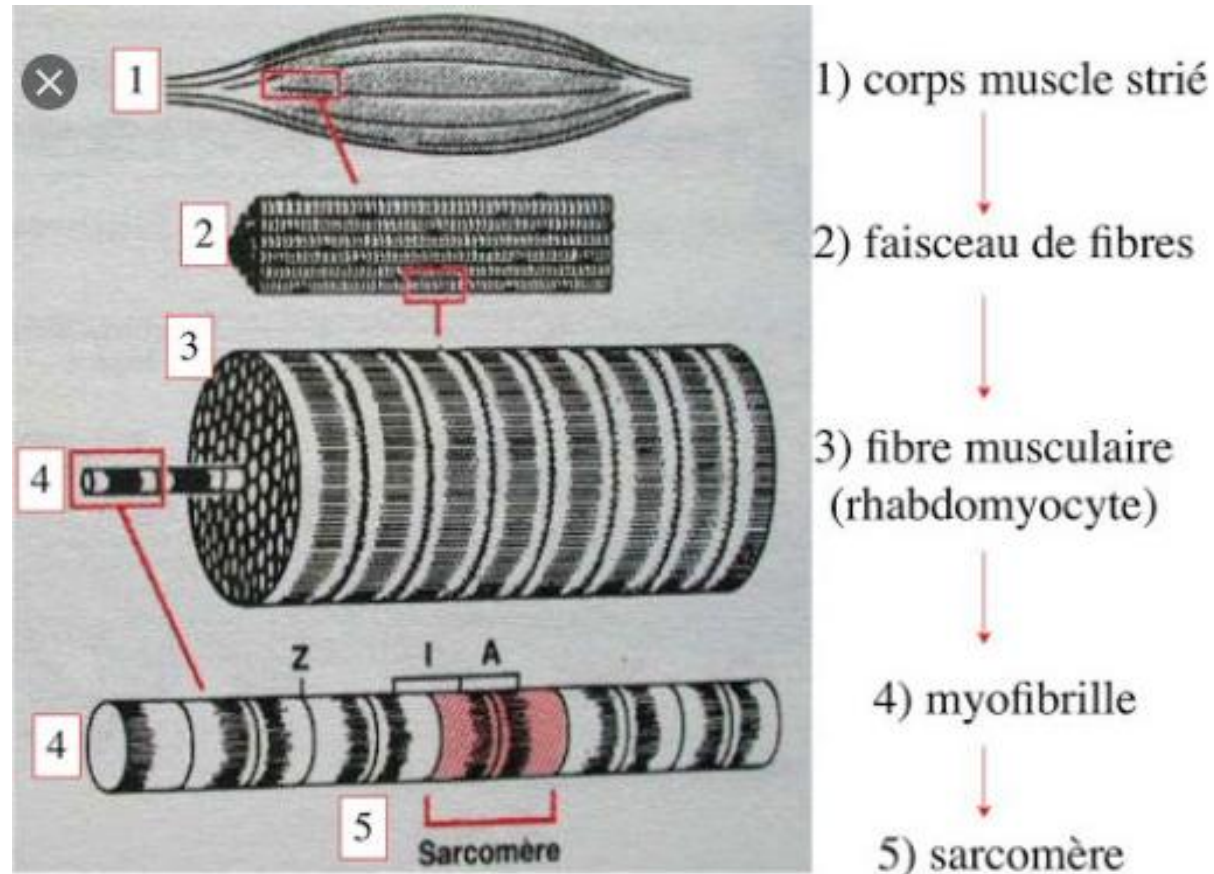
A - Structure anatomique du muscle

3. Les myofibrilles :

- allongées d'une extrémité à l'autre de la FM.
- se regroupent parallèlement par paquets de 40 à 80
- Chacune présente dans sa longueur une alternance régulière de bandes sombres et claires → apparence striée

■ **L'alternance de ces bandes** = zones de chevauchement des filaments contractiles : **l'actine et la myosine.**

■ La position de ces filaments se répète de manière très régulière tout au long de la fibre au sein d'unités particulières appelées **sarcomères.**

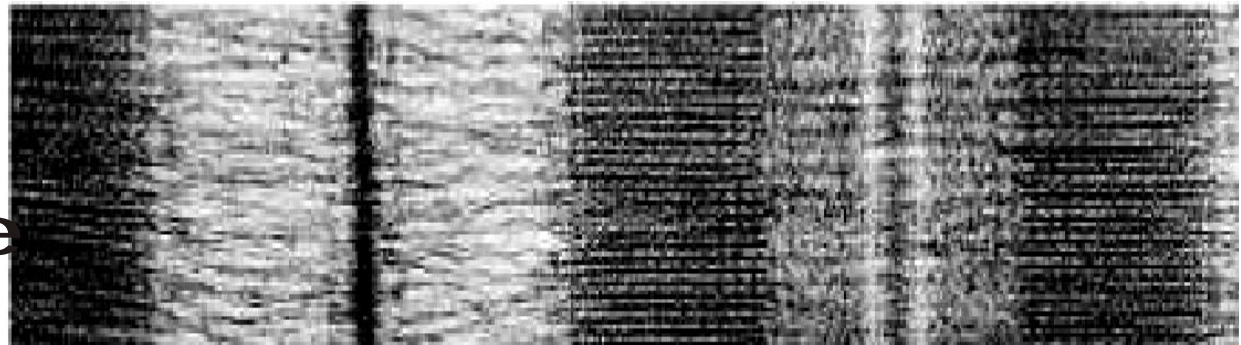


Le sarcomère

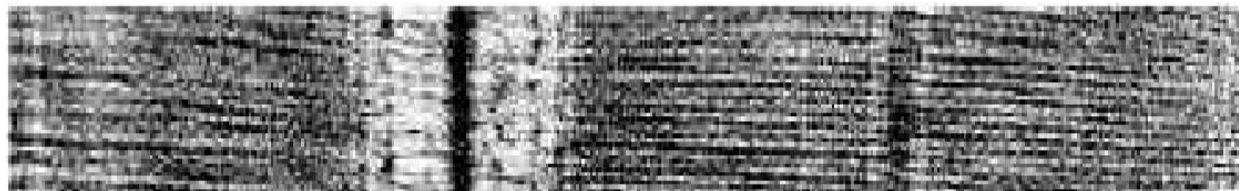
- = l'unité contractile du muscle
- comprend un disque sombre (bande A) encadré de 2 disques clairs (bande I)
- est limité à ses extrémités par 2 lignes sombres : les stries Z qui constituent les sites de jonction des sarcomères entre eux

~~réaction~~

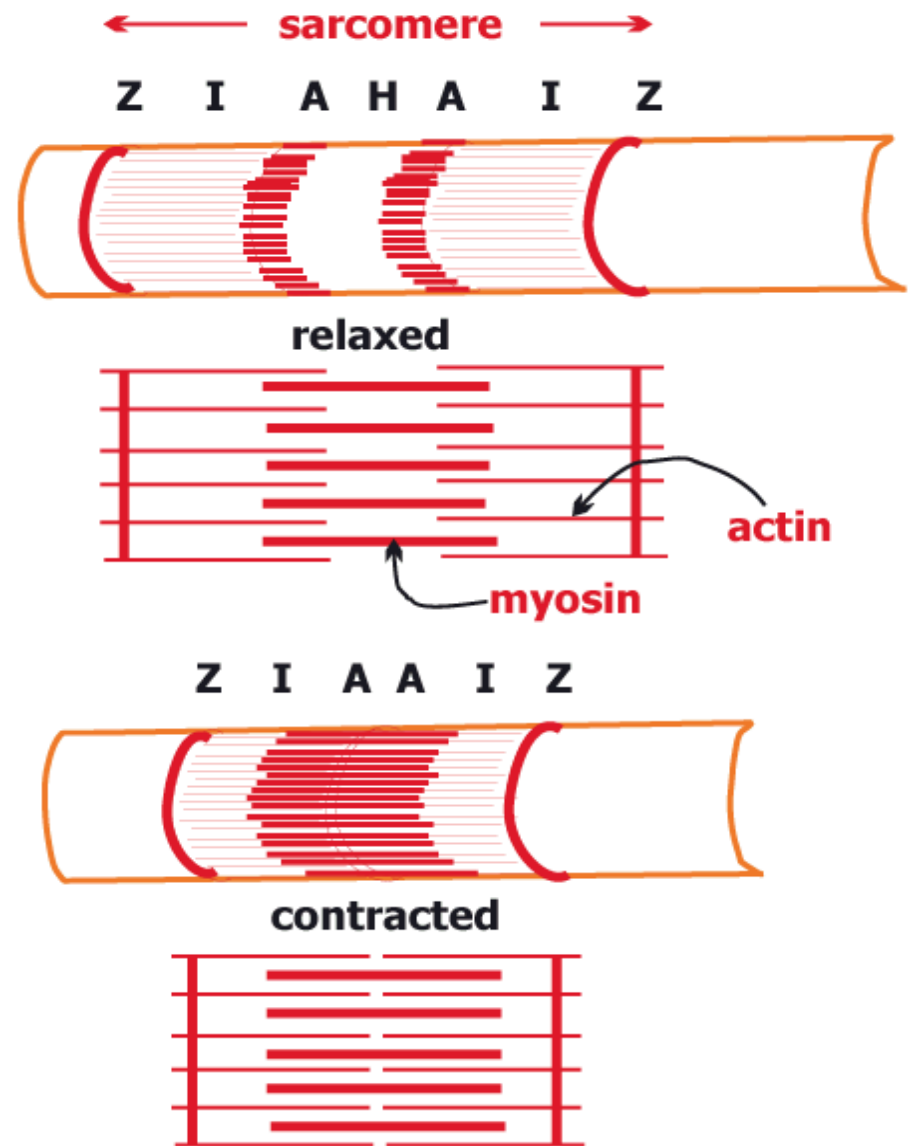
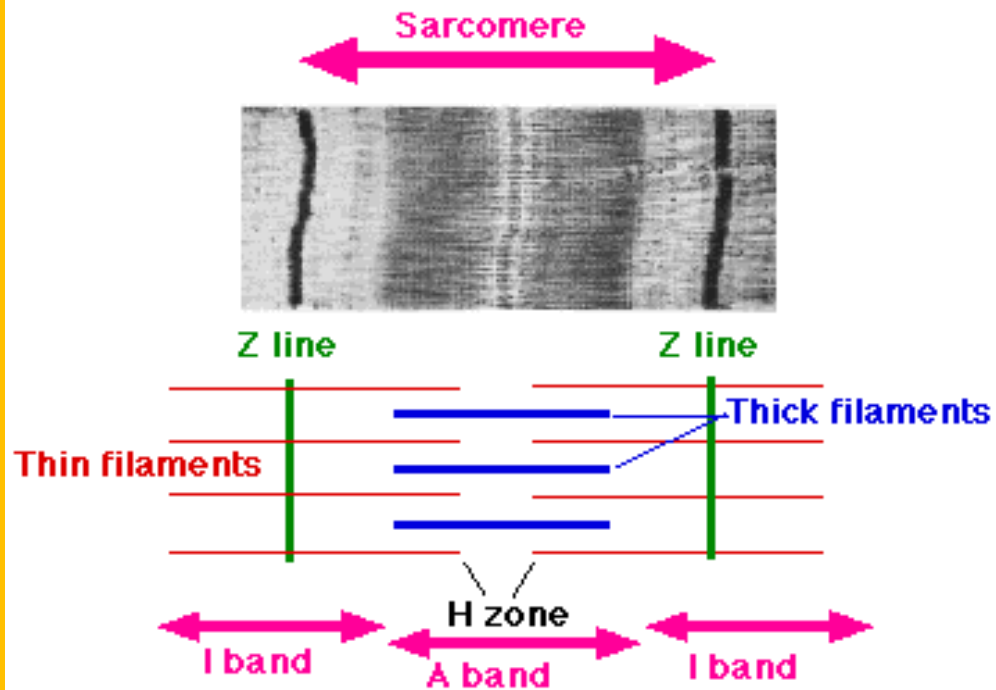
~~Façon~~
~~reste~~



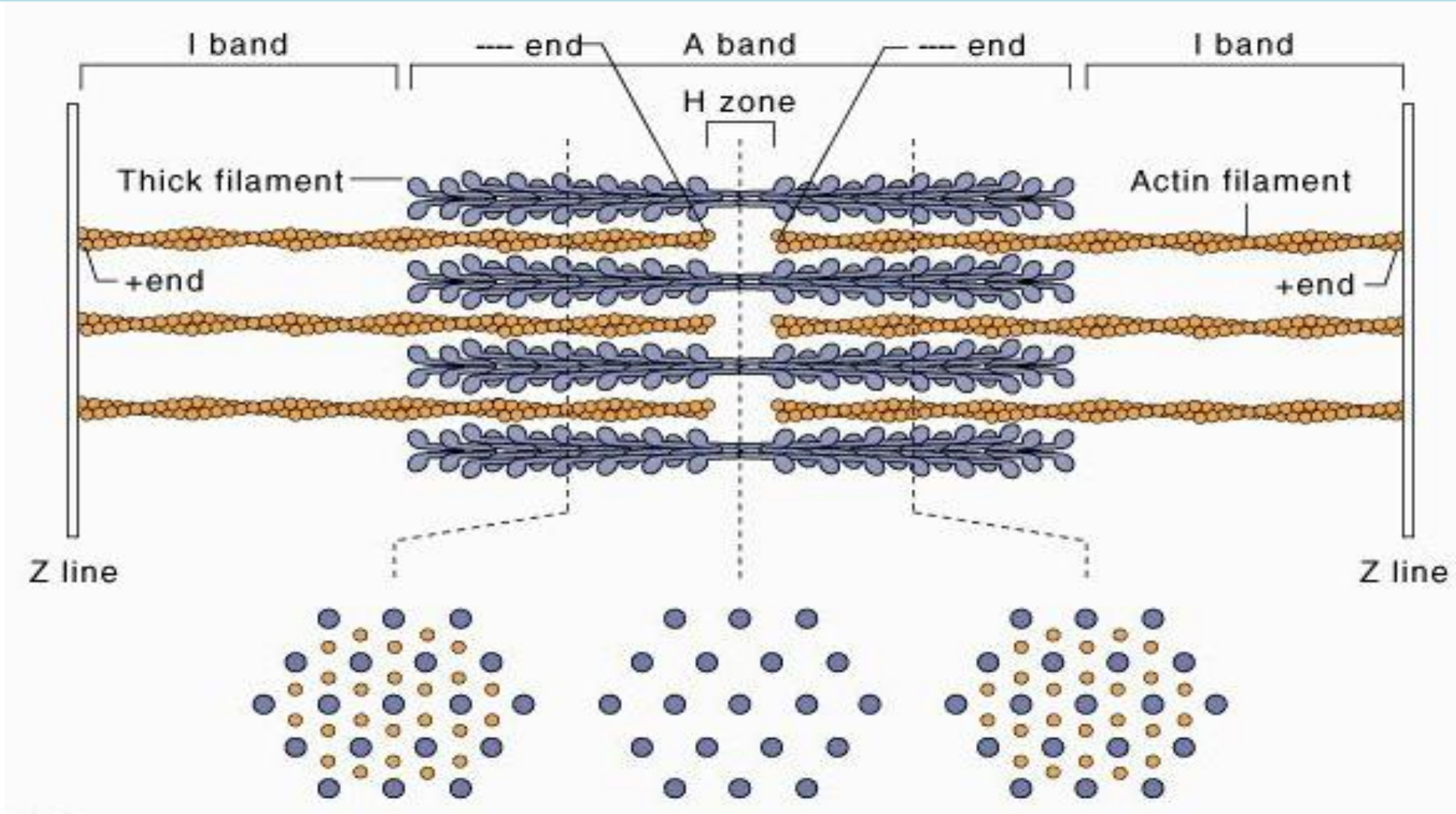
~~Contrôle~~



Le sarcomère



Le sarcomère



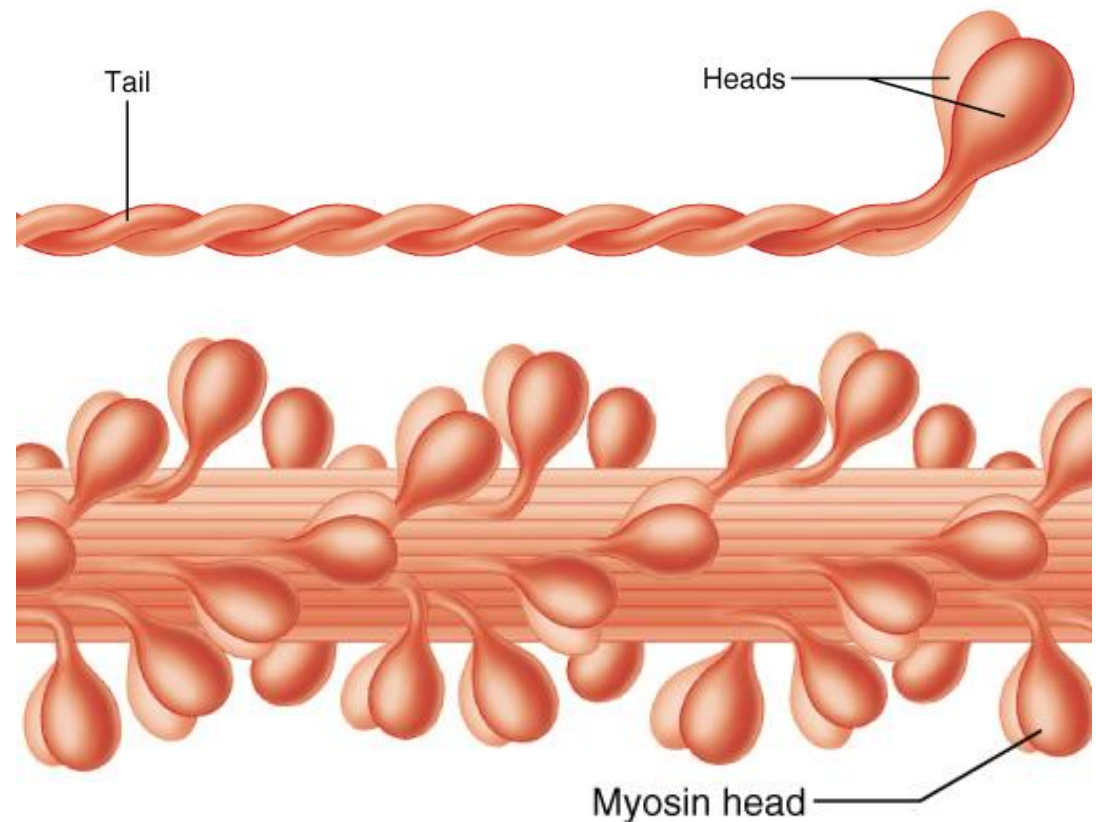
- au milieu des filaments fins d'actine, s'intercalent les filaments épais de myosine
- Les filaments d'actine sont solidement fixés aux stries Z
- Les filaments épais sont formés par l'assemblage de plusieurs molécules de myosine

III. Mécanisme de la contraction

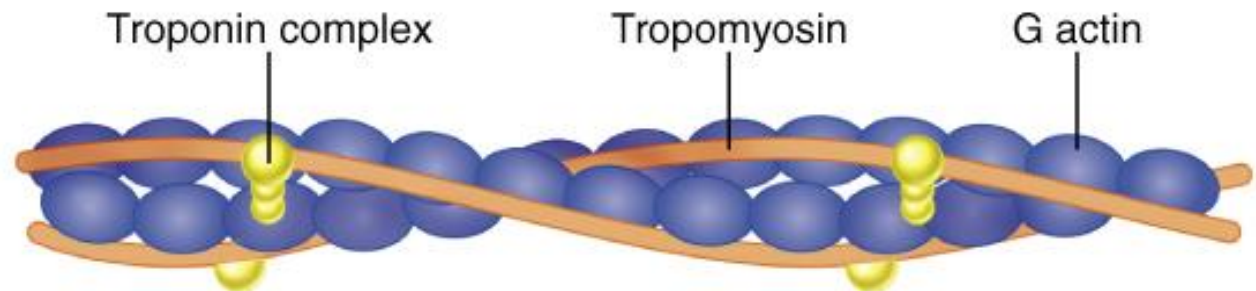
A – Les myofilaments

- Propriétés des têtes de myosine :
 - 1 = dégrader l'ATP,
 - 2 = se lier avec les filaments d'actine

Au repos, les liaisons entre actine et myosine sont empêchés par l'inhibition exercée par 2 protéines : la **troponine** et la **tropomyosine**.



Portion of a thick filament



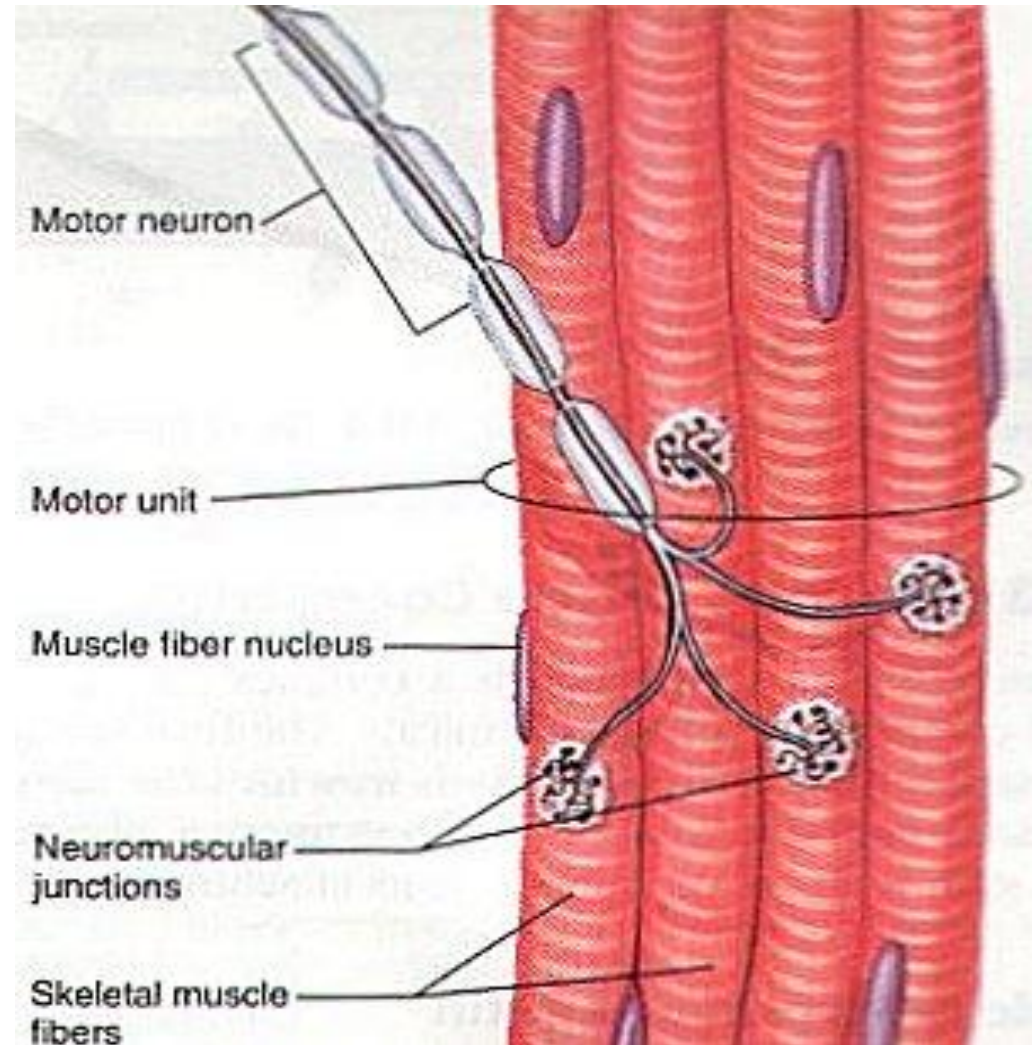
III. Mécanisme de la contraction

B – La commande neuromusculaire : couplage excitation-contraction

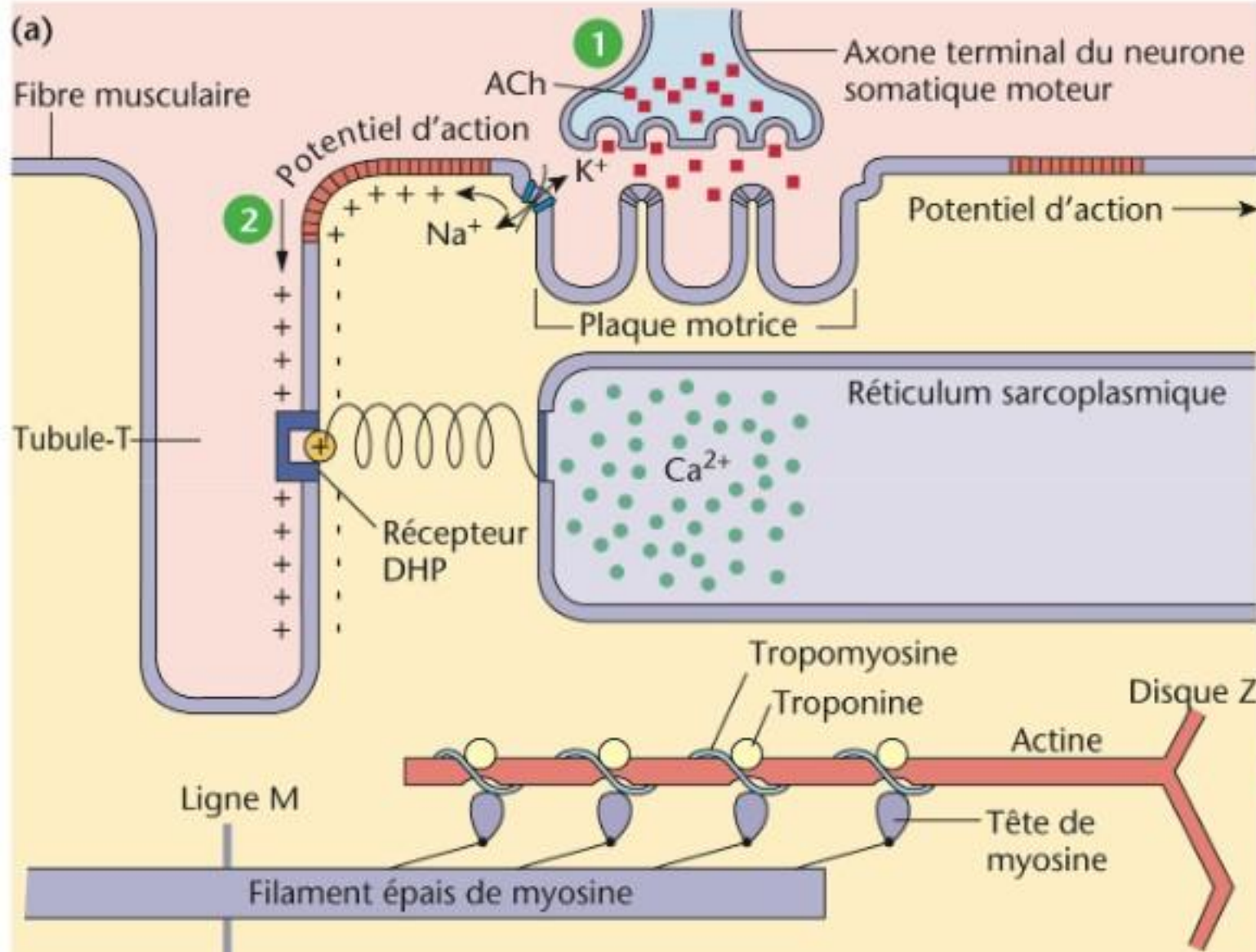
- Pour qu'une FM se contracte, un potentiel d'action PA doit être appliqué sur le sarcolemme
 - → augmentation la concentration intracellulaire d'ions Ca^{2+} → contraction
- Conduction des influx nerveux du SNC : nerfs moteurs, constitués de motoneurones α
- Le motoneurone α est un neurone dont le corps cellulaire se situe dans la moelle épinière, et la terminaison sur le sarcolemme.

III. Mécanisme de la contraction

- Liaison entre Motoneurone α et sarcolemme : **la jonction neuromusculaire**.
 - En général, chaque FM ne possède qu'1 JNM
 - axone du motoneurone α :
 - pénètre sous l'enveloppe conjonctive du muscle
 - se divise en plusieurs branches
 - chacune de ces branches se dirige vers 1 FM
 - Synapse chimique : **fente synaptique**
-
- Neurotransmetteur : l'**Acétylcholine** (Ach).
 - **La plaque motrice** = partie du sarcolemme de la FM où se trouve la JNM



III. Mécanisme de la contraction

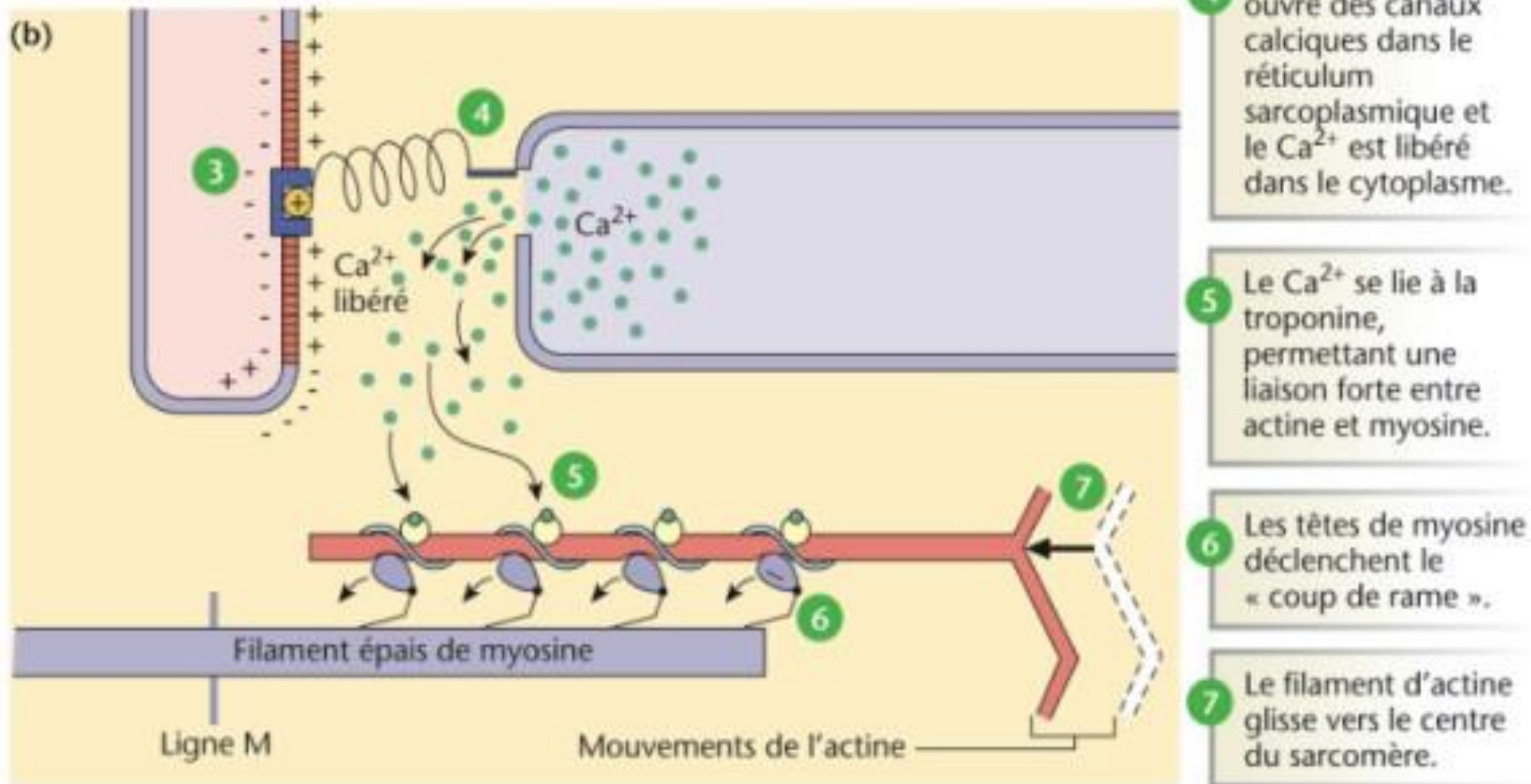


1 Le motoneurone libère de l'ACh au niveau de la plaque motrice.

2 L'entrée de Na⁺ à travers le canal-récepteur ACh déclenche un potentiel d'action musculaire.

3 Le potentiel d'action dans les tubules-T modifie la conformation du récepteur DHP.

III. Mécanisme de la contraction



III. Mécanisme de la contraction

- Lorsqu'une cellule musculaire se contracte, chacun de ses sarcomères raccourcit et les stries Z se rapprochent.

Aucun des filaments ne change de longueur pendant que les sarcomères se contractent.

- La contraction se fait par un glissement des filaments d'actine le long des filaments de myosine

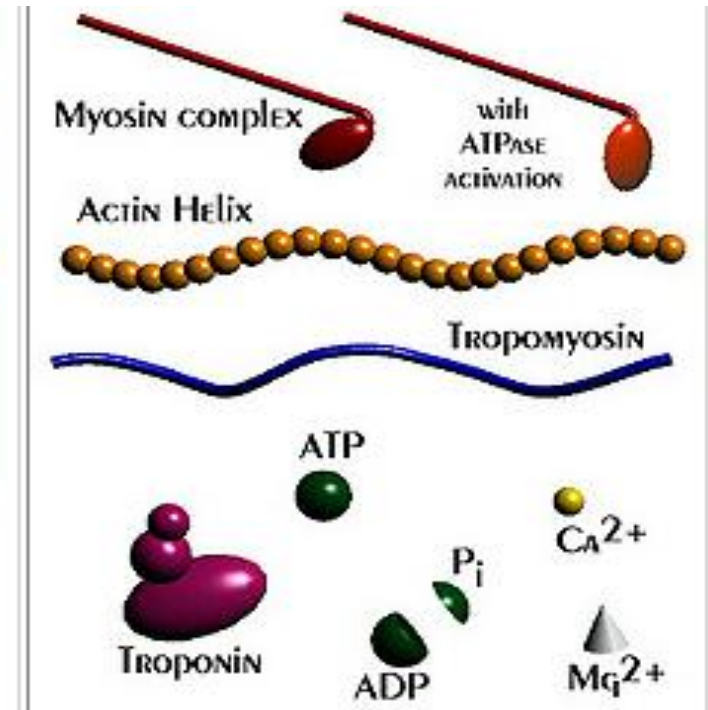
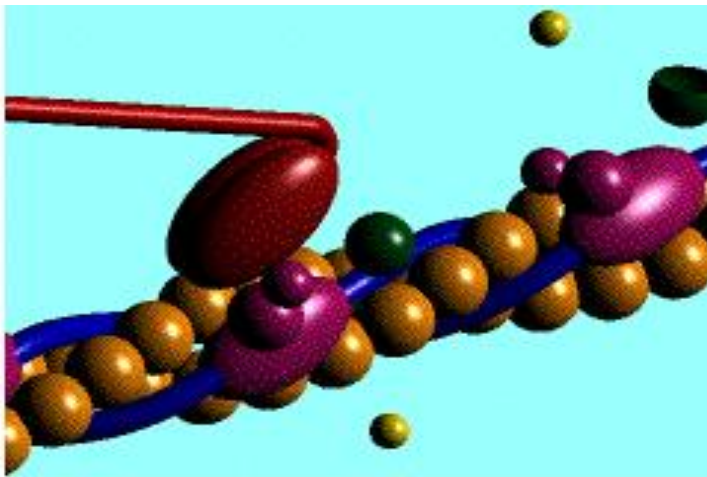
III. Mécanisme de la contraction

a - Excitation :

lorsque le PA membranaire, qui parcourt le sarcolemme, arrive au niveau des citernes → la membrane des citernes devient perméable au calcium.

b - Couplage Calcium-troponine

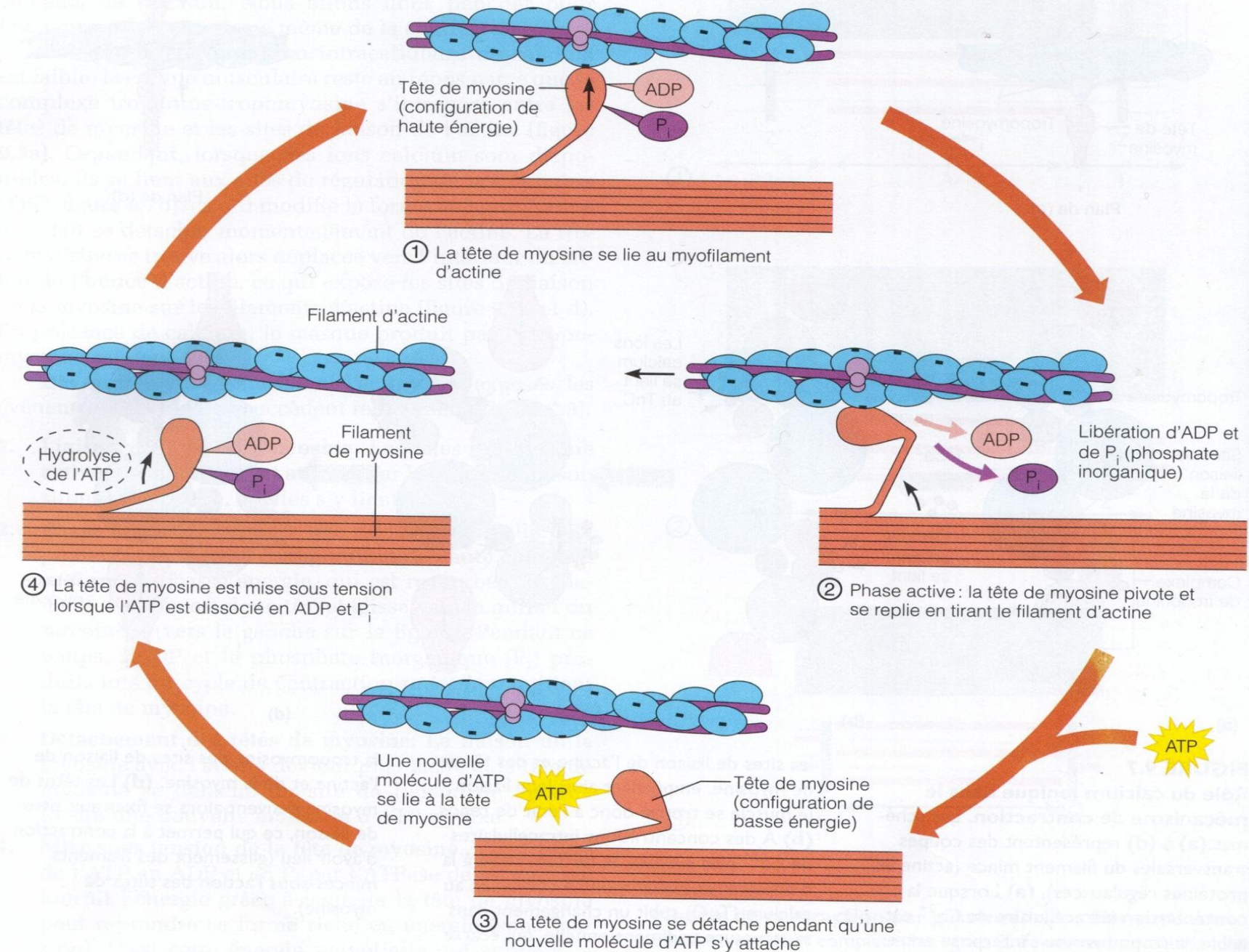
- le Ca^{2+} massivement libéré dans le sarcoplasme se fixe sur les sites calciques de la troponine
- Cette affinité pour le calcium a pour effet de faire pivoter sur elles-mêmes les molécules de troponine et de tropomyosine



c - Pontage actomyosine

- la molécule de tropomyosine, qui au repos s'intercalait entre l'actine et la myosine, est alors déplacée, et ne s'oppose plus au contact spontané des têtes des molécules de myosine et d'actine.
- Un pont acto-myosine se forme alors.

III. Mécanisme de la contraction



III. Mécanisme de la contraction

d- Mouvement de glissement des myofilaments

- l'accouplement de l'actine et de la myosine → dégradation d'ATP → production d'énergie
- Cette énergie est convertie en mouvement de la tête de chaque molécule de myosine, qui, ensembles, donnent un micromouvement de glissement des filaments d'actine vers le centre du sarcomère.
- Sur leur lancée, les têtes de myosine se détachent des sites où elles étaient fixées et vont chercher d'autres sites voisins pour à nouveau les faire glisser

e - Le relâchement

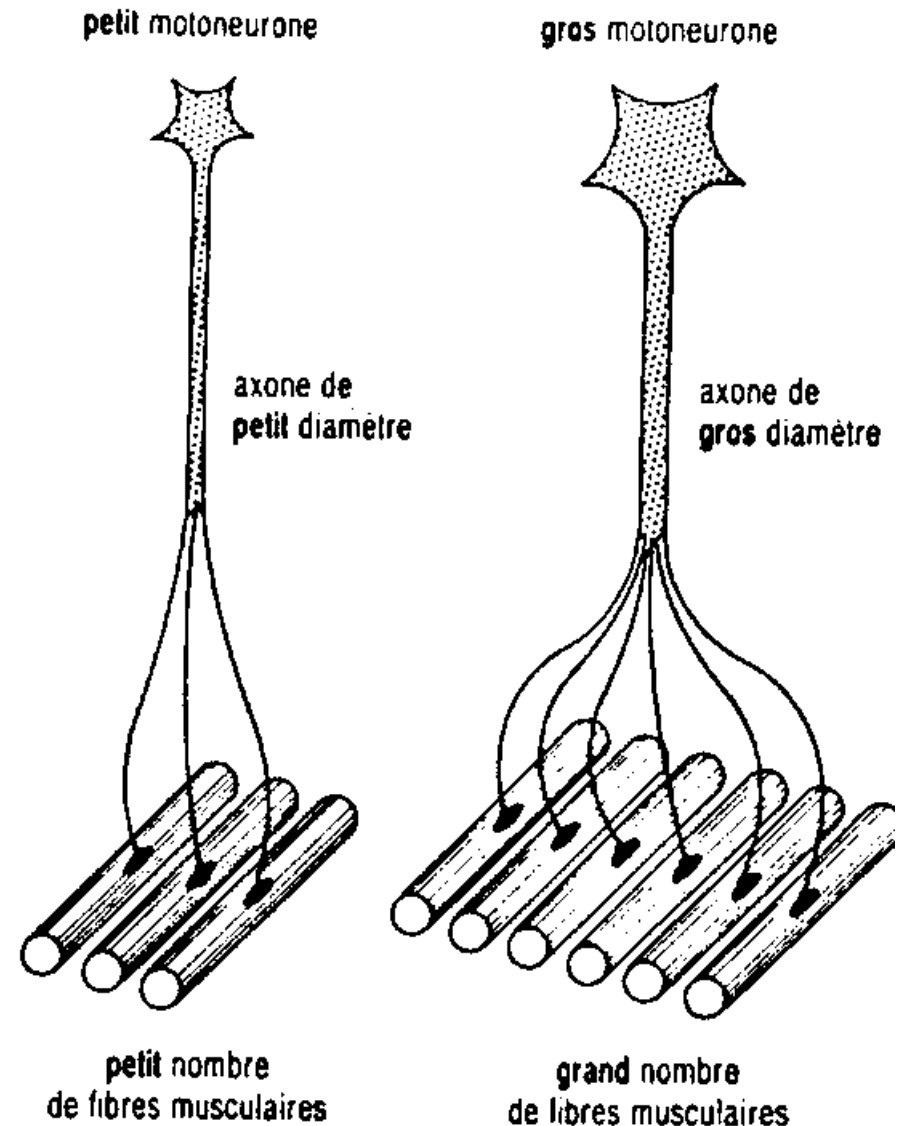
- Tant que durent les influx nerveux, ces mécanismes se répètent.
- Lorsque les PA cessent, le Ca^{2+} est aspiré par les citernes (pompes à Ca^{2+}).
 - tropomyosine vient se replacer en position initiale.

III. Mécanisme de la contraction

IV – Le muscle squelettique à l'exercice

A- L'unité motrice

- Chaque FM → un nerf moteur
- Un même neurone peut régir plusieurs fibres musculaires
- L'ensemble formé par un neurone moteur et toutes les fibres musculaires qu'il dessert est appelé **Unité Motrice**





PHYSIOLOGIE ANIMALE I

Endocrinologie Générale

Introduction à la physiologie endocrinienne

1. Système endocrine/ Système nerveux

Dans l'organisme, Il existe deux grands systèmes de communication.

1.le système nerveux (SN), son rôle:

- Gère les informations sensorielles,
- Coordonne les mouvements musculaires
- Permet la compréhension, la mémorisation etc..

2. Le système endocrinien (SE) intervient:

- Lors du développement (croissance)
- Pour le bon le fonctionnement des grandes fonctions (reproduction, digestion, excrétion rénale..)
- Dans le maintien de l'homéostasie (maintien relatif de la constance du milieu intérieur).

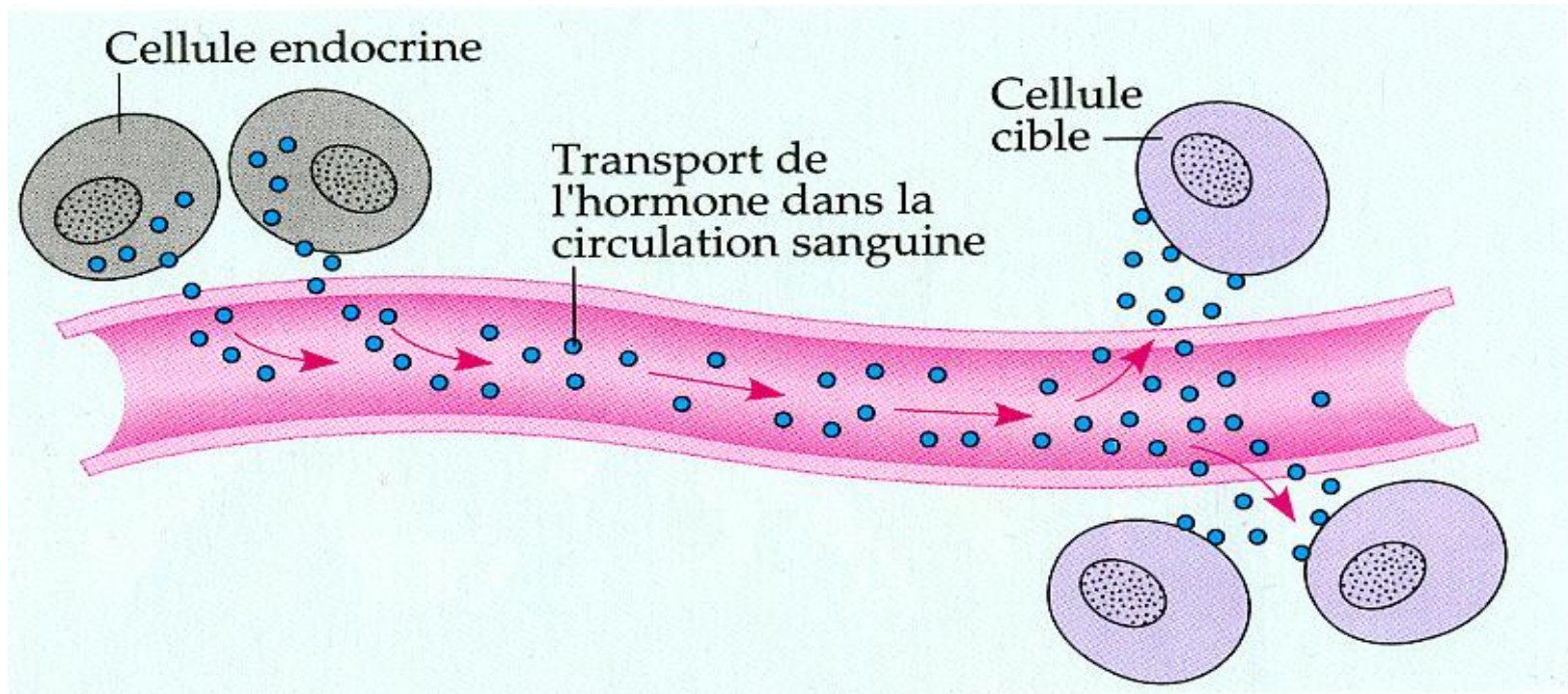
Composantes du système endocrinien

- **Glande** = Organe qui synthétise, stocke et sécrète une substance chimique (hormone).
- **Hormone** = Substance chimique élaborée par une cellule qui agit spécifiquement sur une autre cellule.
- **Organe ou cellule cible** = Organe ou cellule affecté par l'action d'une hormone spécifique.

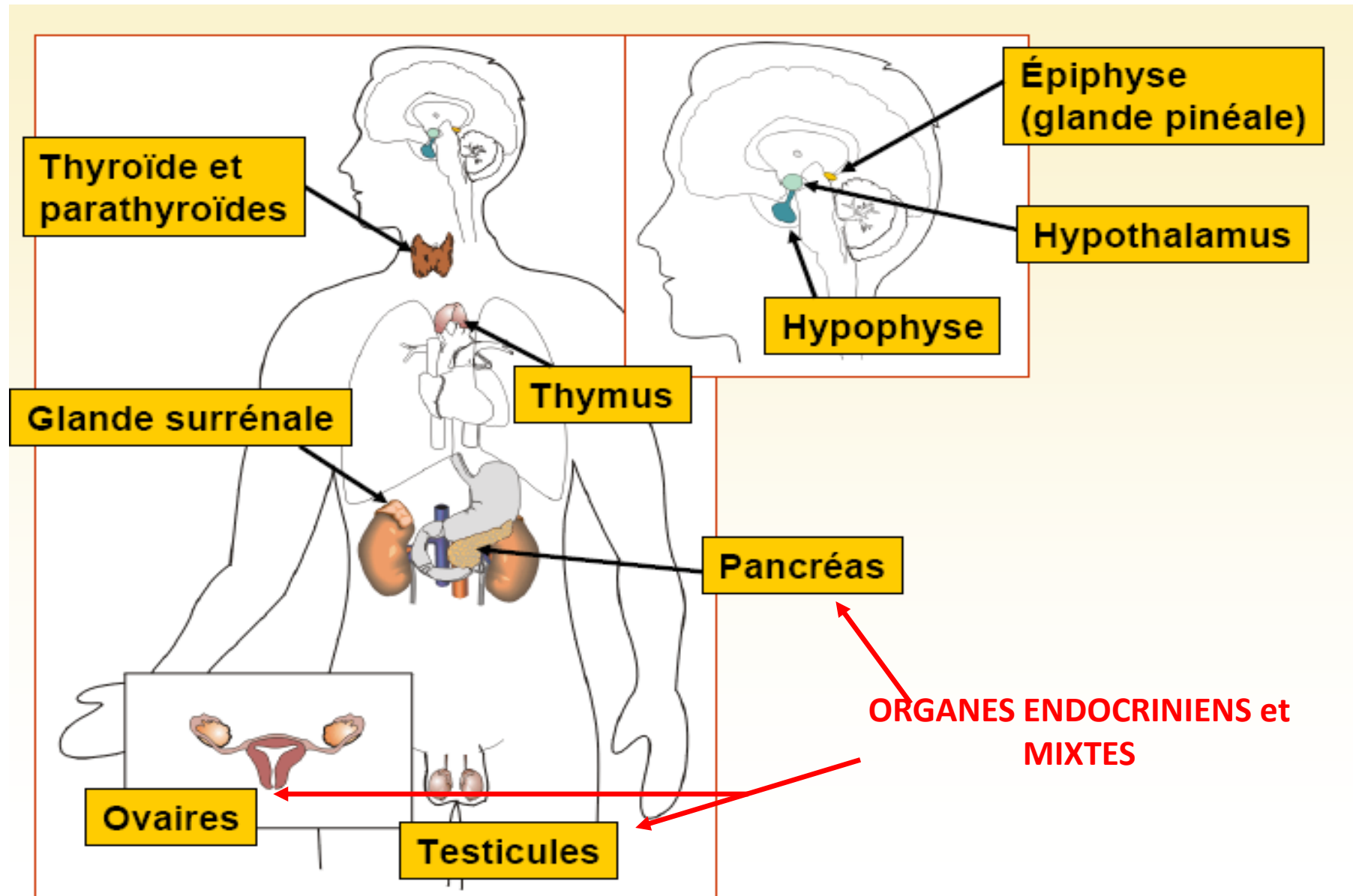
Le tout étant mis en relation par
le système circulatoire (sang)

Glandes endocrines

- ❑ Sécrètent leurs hormones dans la circulation sanguine



Principales glandes endocrines



Les différents types d'hormone

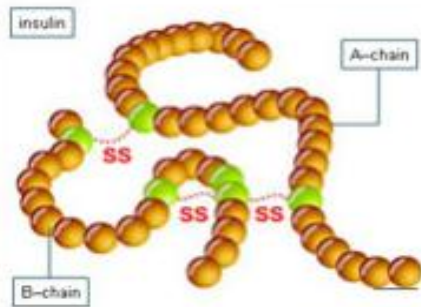
Les hormones sont classées en fonction de leur **nature biochimique** en 3 classes:

1. les hormones peptidiques (HP): protéines constituées d'un nombre $\pm$ important d'acides aminés (de 3 à 300, et même plus)

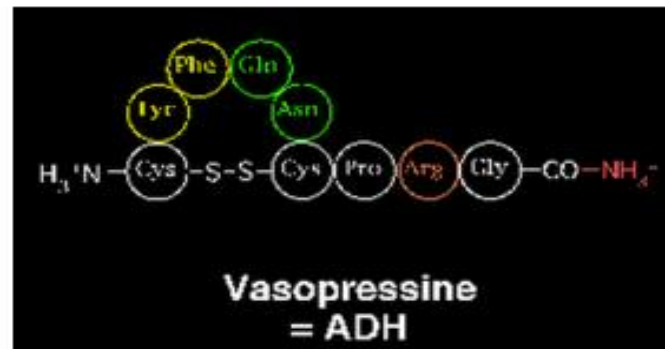
2. Les hormones stéroïdes (HS): de nature lipidique, synthétisées à partir du cholestérol

3. les hormones monoaminées : Dérivées d'un acide aminé

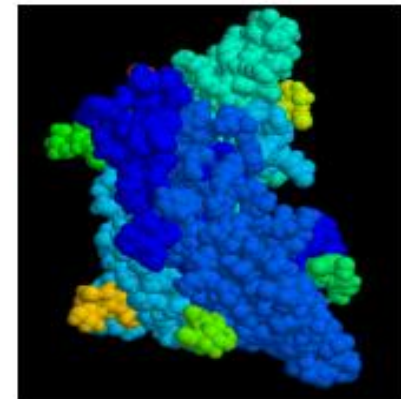
1. les hormones peptidiques (HP): protéines constituées d'un nombre important d'acides aminés (de 3 à 300, et même plus)



L'insuline : 53 AA

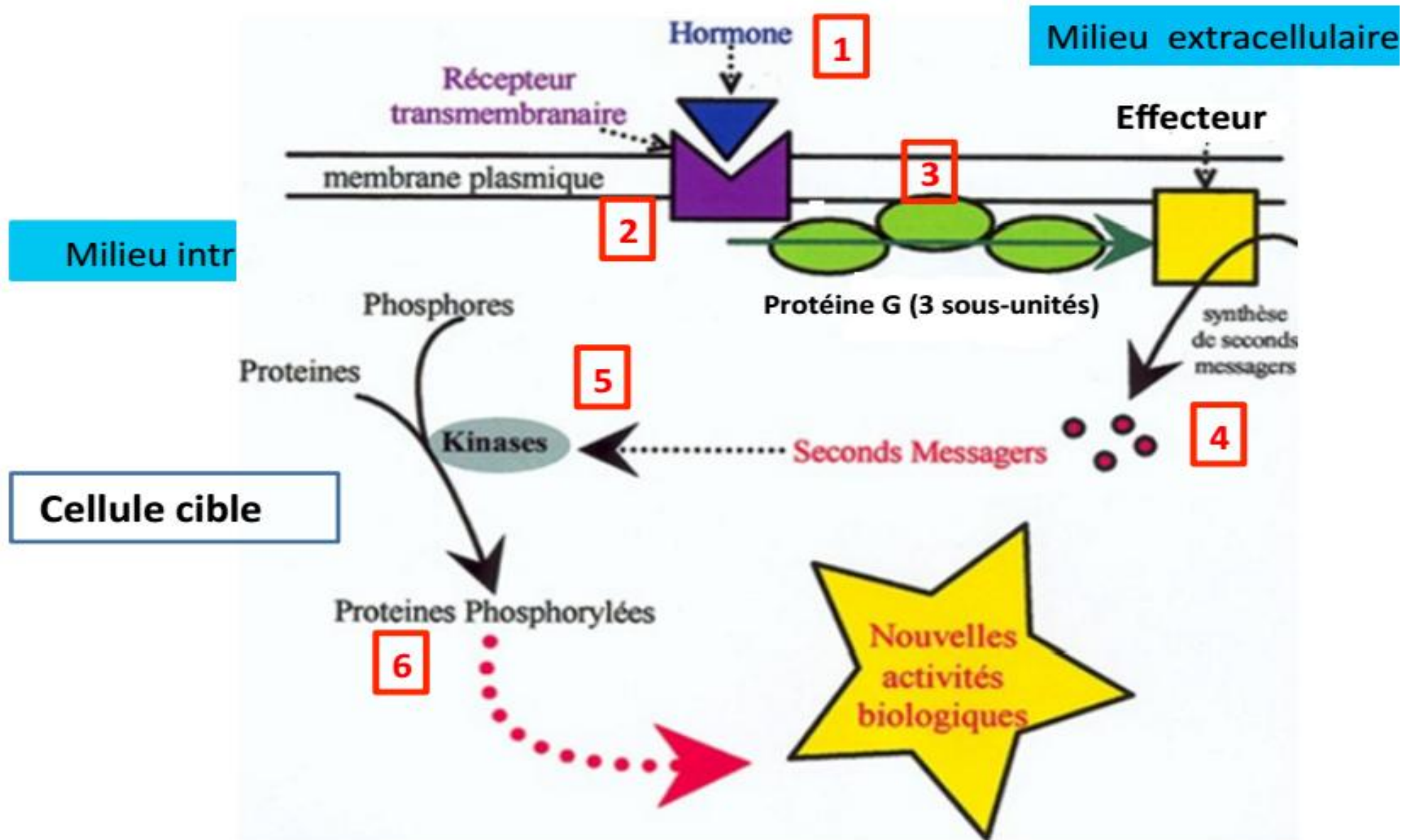


L'ADH: 9 AA



FSH: Chaîne α : 99AA et chaîne β : 111 AA

Schéma général du mode d'action des hormones peptidiques



Mode d'action des Hormones peptidiques

Les HP possèdent des **récepteurs spécifiques sur les membranes** .

Lorsque l'hormone se fixe au récepteur, Le récepteur transmet l'information à travers la membrane plasmique par l'intermédiaire d'une protéine **transductrice** que l'on appelle **protéine G trimérique (3 sous-unités)**.

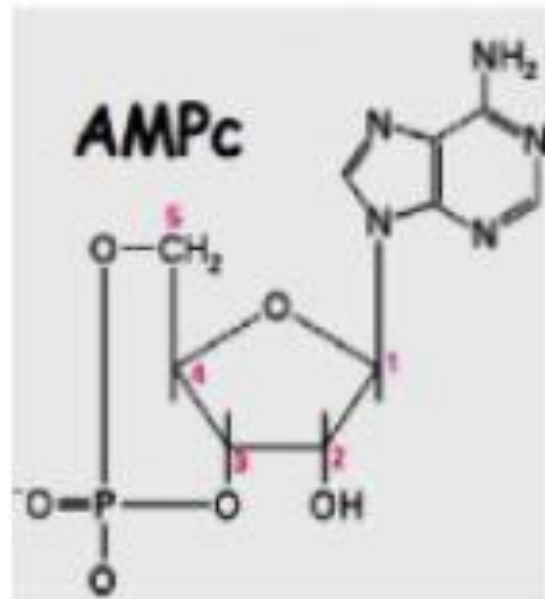
Cette protéine G stimule **un effecteur** qui est en général une enzyme située sur la face interne de la membrane. L'activation de cette enzyme (effecteur) conduit à la production **du second messenger** (exemple: l'APMc). Ce dernier va phosphoryler (par l'intermédiaire des kinases) des protéines responsables de la réponse cellulaire.

Les différents types de seconds messagers

Les seconds messagers sont généralement de plusieurs types, mais ils conduisent à des réactions physiologiques et biochimiques très diverses. Ces seconds messagers peuvent être soit :

1. – les nucléotides cycliques (exemple : L'AMP cyclique)
2. – les phosphoinositides membranaires (exemple : L'inositol triphosphate et le diacyl glycérol (DG))
- 3.- L'ion calcium Ca^{2+}

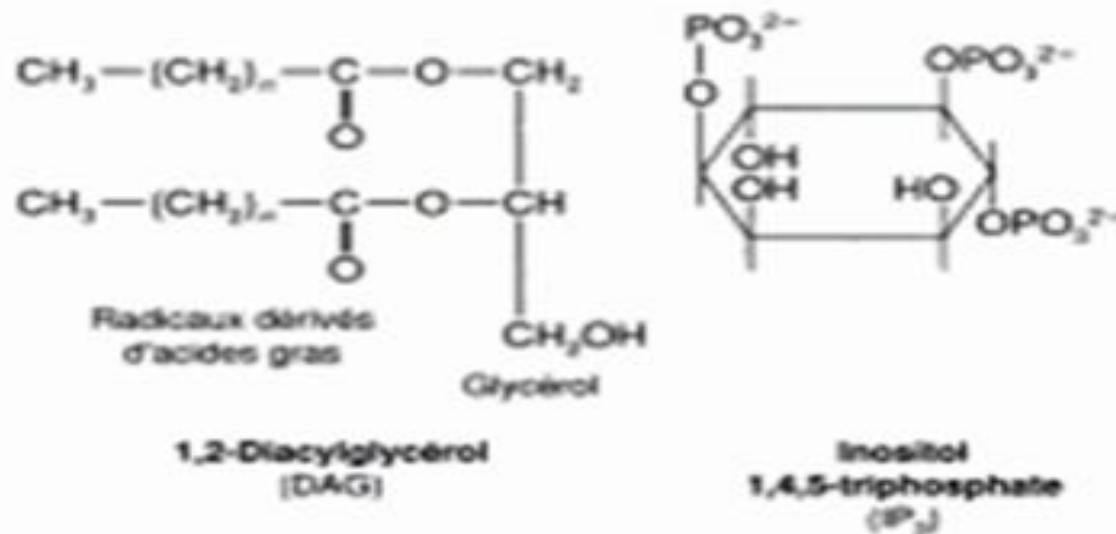
1. L'AMPc est synthétisée à partir de l'ATP



La 3', 5'-AMP cyclique

de

2. Les phosphoinositides membranaires

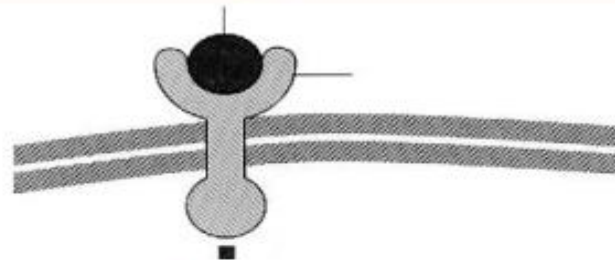


DAG et IP₃ sont synthétisées à partir d'un phospholipide membranaire, le PIP₂

3. Le Ca²⁺ intracellulaire lié à une protéine; la calmoduline (CaM) active les CaM-kinases qui phosphorylent de nombreuses protéines

Récepteurs membranaires: les seconds messagers intracellulaires

Amplification du signal
hormonal

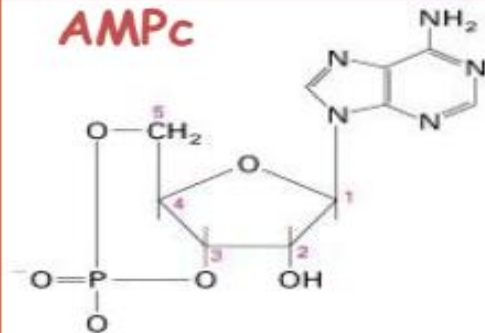


Second
messenger

Cascade

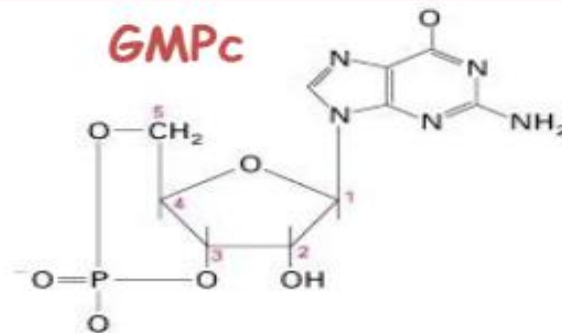
Réponse cellulaire

AMPC



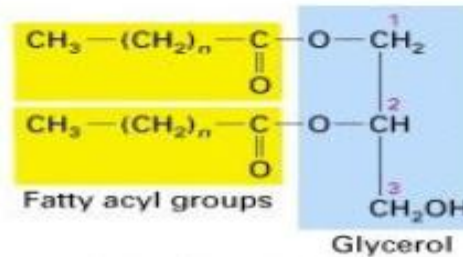
3',5'-Cyclic AMP
(cAMP)

GMPc



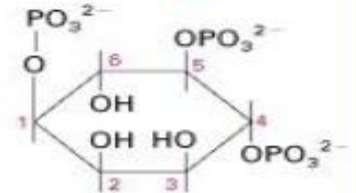
3',5'-Cyclic GMP
(cGMP)

DAG



1,2-Diacylglycerol
(DAG)

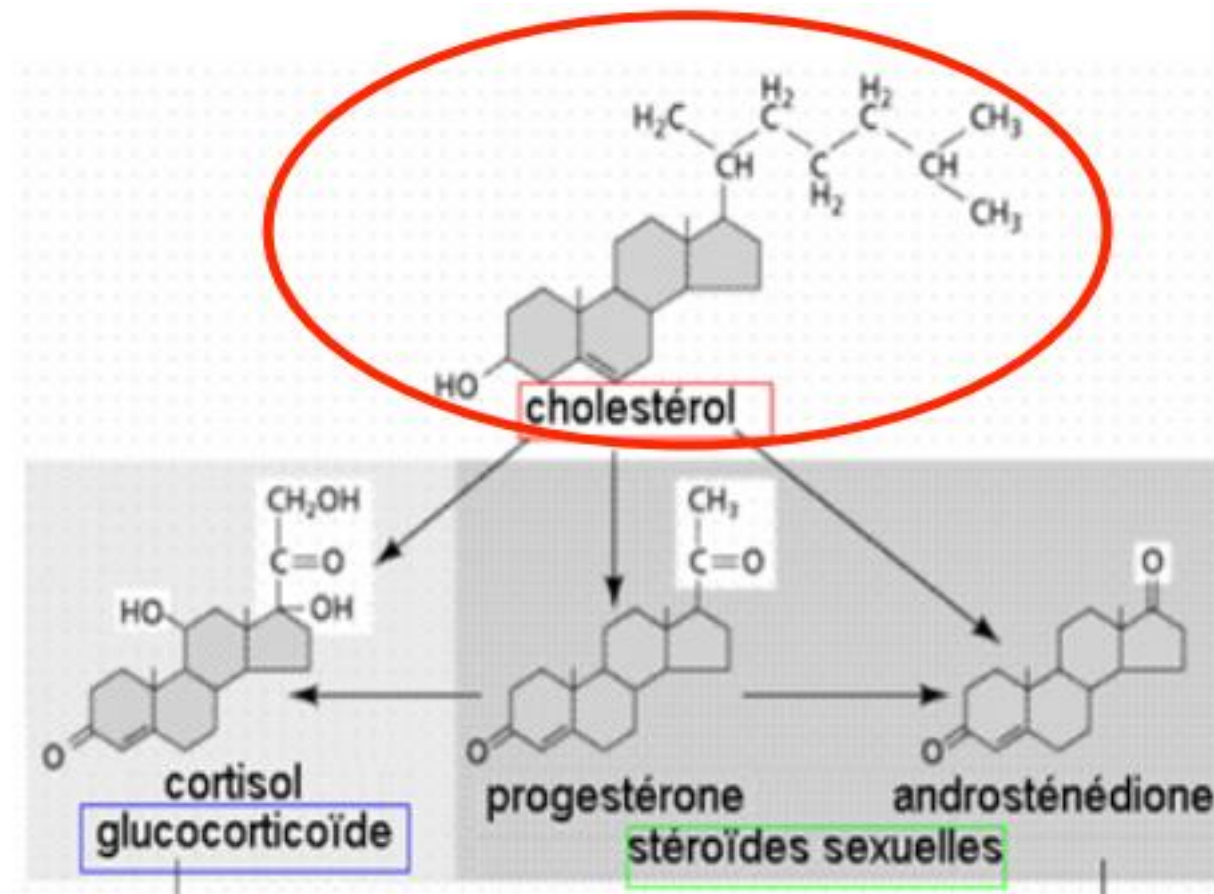
IP₃



Inositol
1,4,5-trisphosphate
(IP₃)

2. Les hormones stéroïdes (HS)

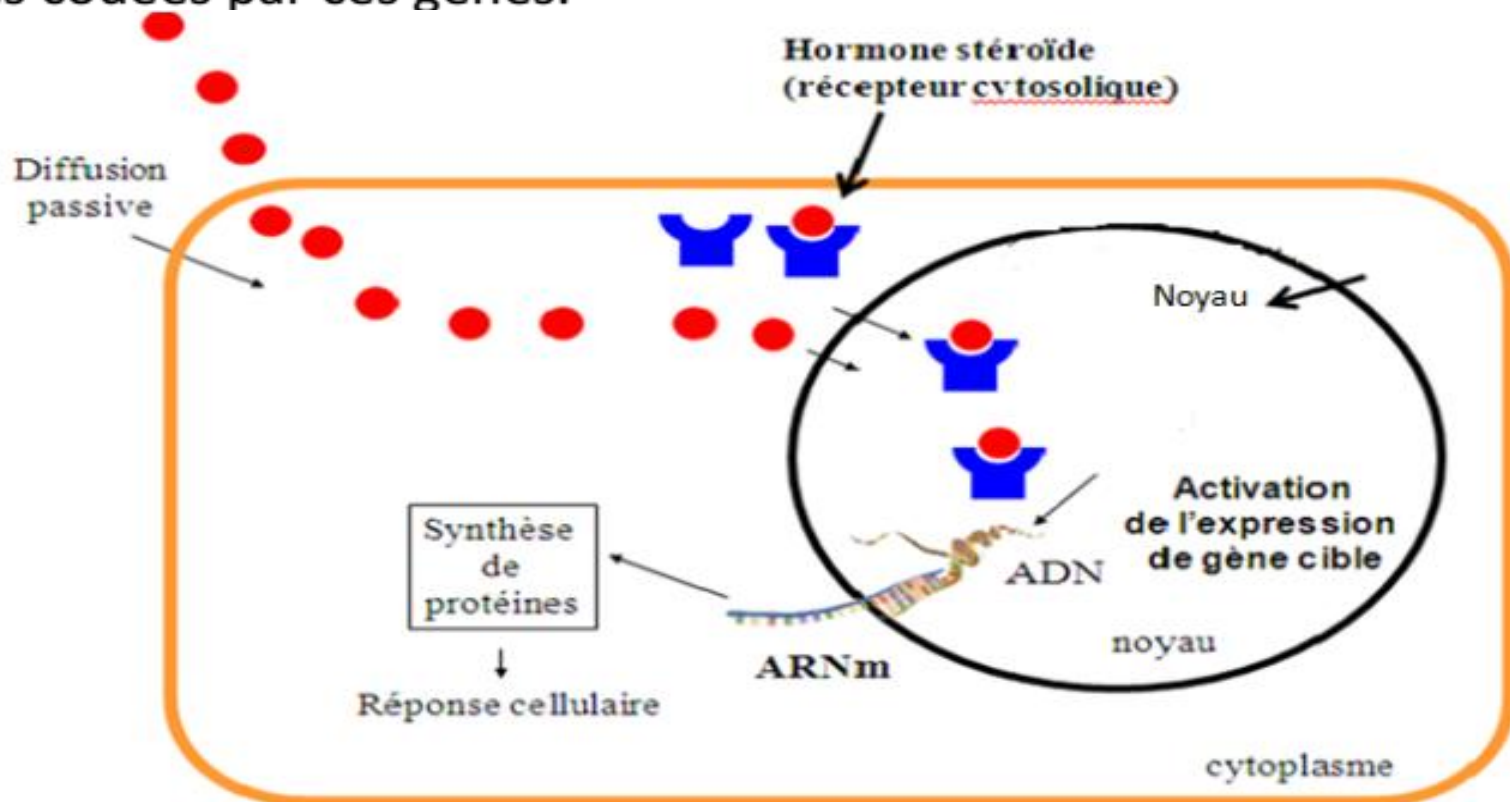
- Sont en général de nature lipidique, synthétisées à partir du cholestérol, donc à caractère hydrophobe
- **Exemples: Œstrogènes, progestérone, testostérone, cortisol**



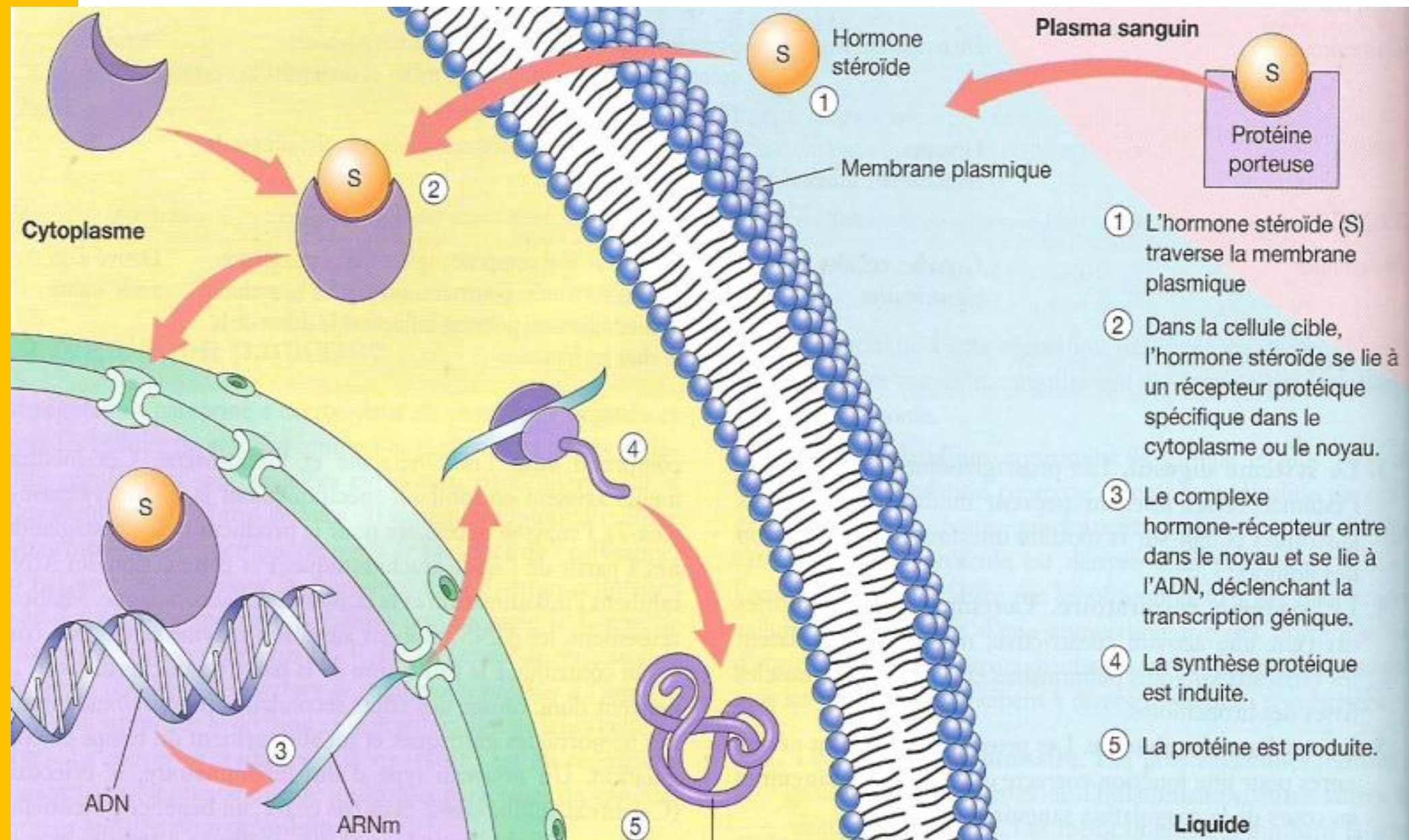
- Une fois synthétisées, ces HS quittent la cellule glandulaire en traversant la membrane par **simple diffusion**.
- Sont transportées dans le sang à l'aide de transporteurs (**protéines de transport**).
- Les hormones ne sont actives que lorsqu'elles sont libérées de leur protéines de transport

Mode d'action des Hormones stéroïdes

Les Hormones stéroïdes étant **lipophiles**, ils traversent la membrane plasmique des cellules cibles, se lient à des **récepteurs spécifiques cytoplasmiques**, le complexe hormone-récepteur migre vers le noyau à travers les pores nucléaires et régule la transcription de gènes spécifiques ce qui aboutit à la synthèse de protéines codées par ces gènes.

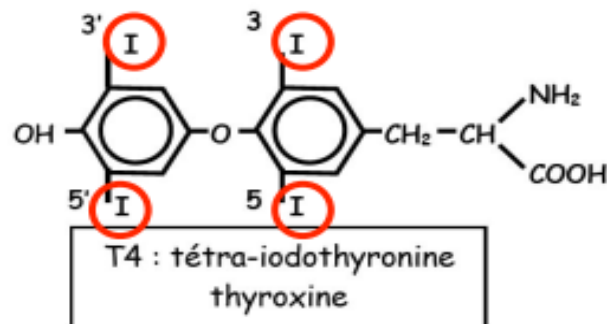


Mode d'action des Hormones stéroïdes

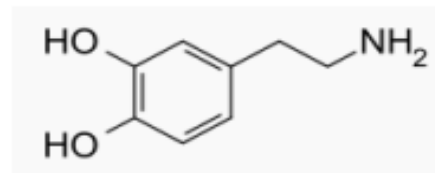


3. les hormones monoaminées

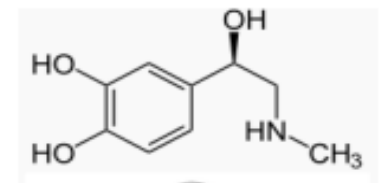
- Dérivées d'un acide aminé. Exemples: **les H thyroïdiennes (T3 et T4), l'adrénaline sécrétée par les glandes surrénales , la dopamine (hypothalamus)**
- Etant de petite taille, certaines d'entre elles traversent la membrane plasmique de la cellule cible (cas des hormones thyroïdiennes).
- Souvent transportées aussi dans la circulation par des protéines de transports (cas des H thyroïdiennes)



Thyroxine (T4)

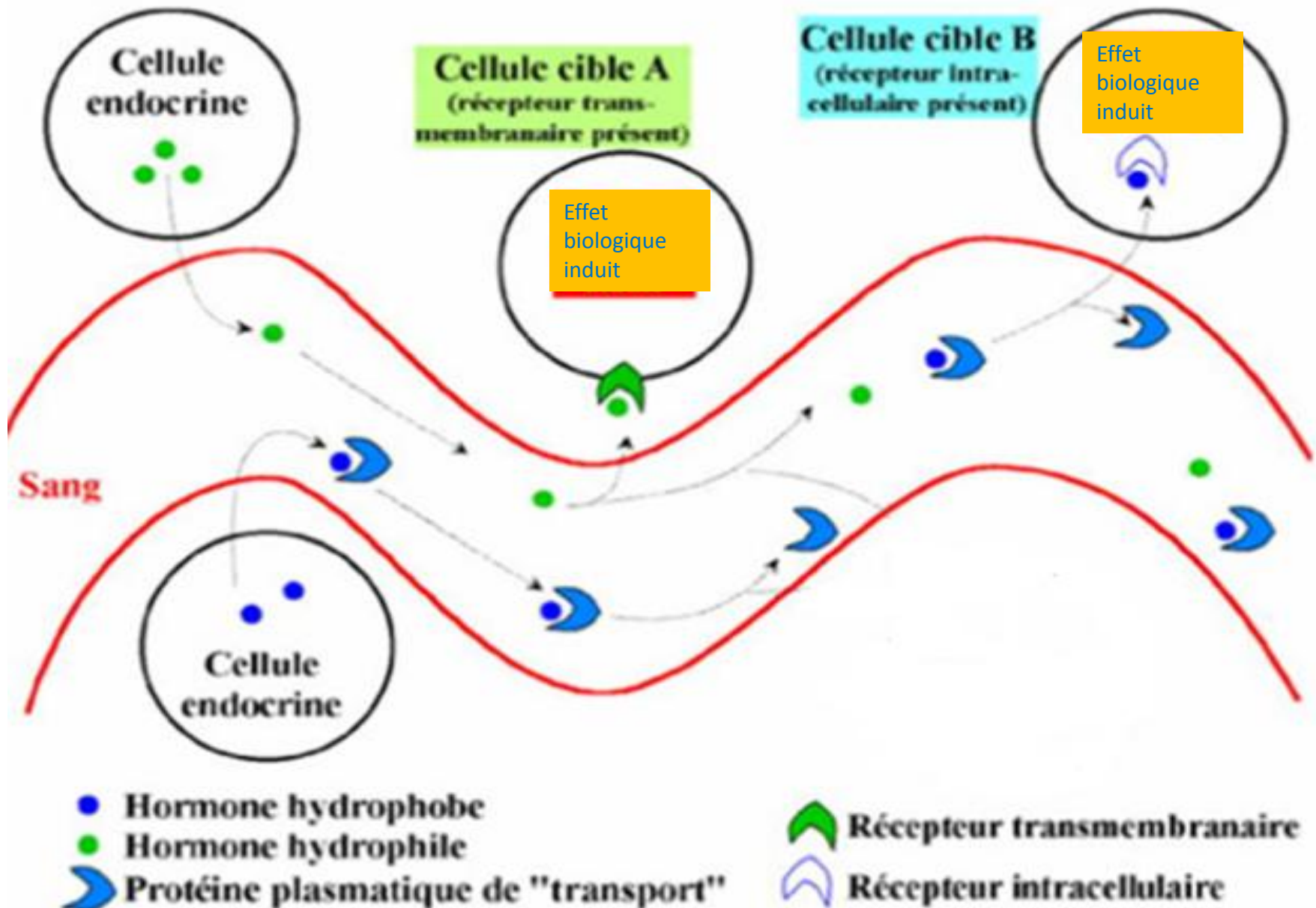


Dopamine



Adrénaline

Hormones hydrophobes et hydrophiles et leurs récepteurs



Biosynthèse des hormones peptidiques/protéiques

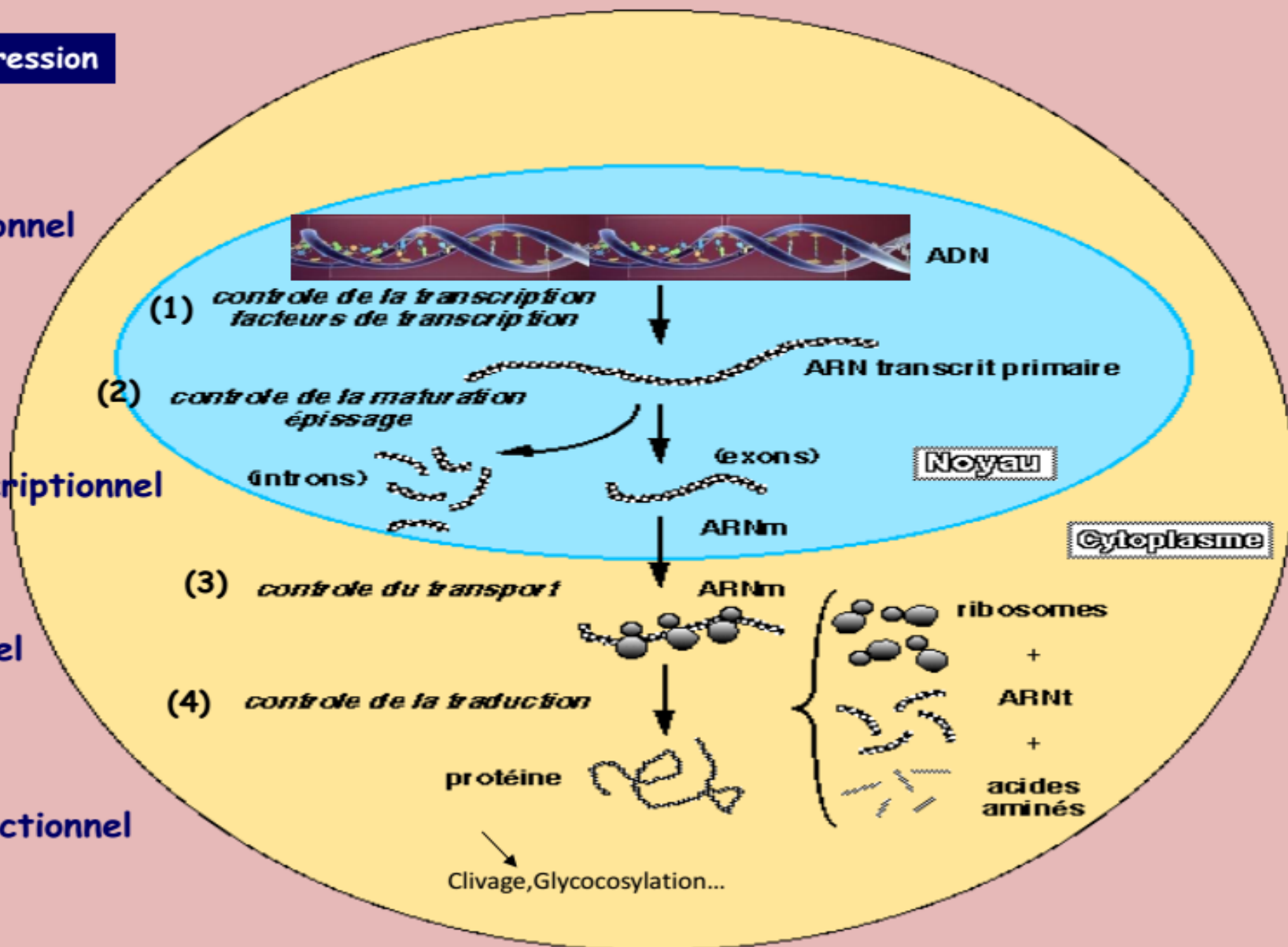
Niveau d'expression

Transcriptionnel

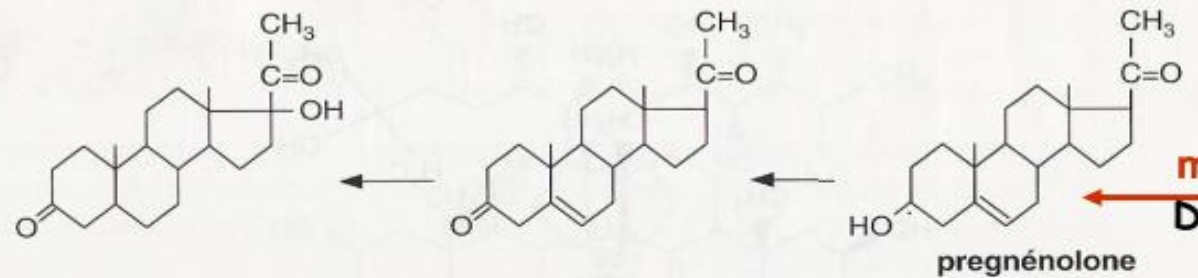
Post-transcriptionnel

traductionnel

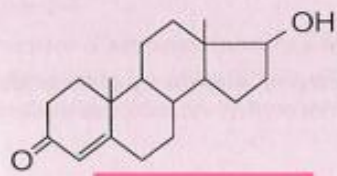
Post-traductionnel



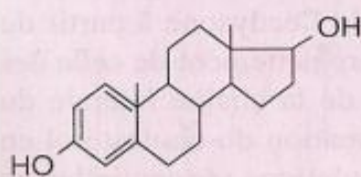
Biosynthèse des hormones stéroïdes



GONADES

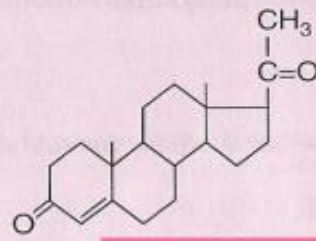


testostérone



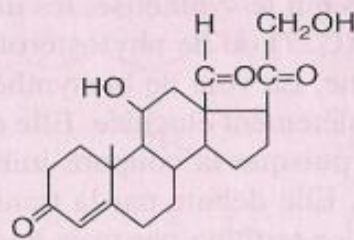
œstradiol

GONADES
MÉDULLO-
SURRENALES



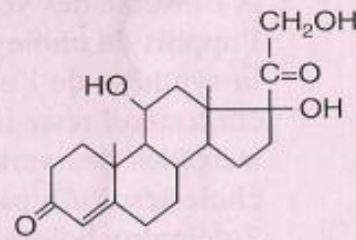
progestérone

MÉDULLO-
SURRENALES



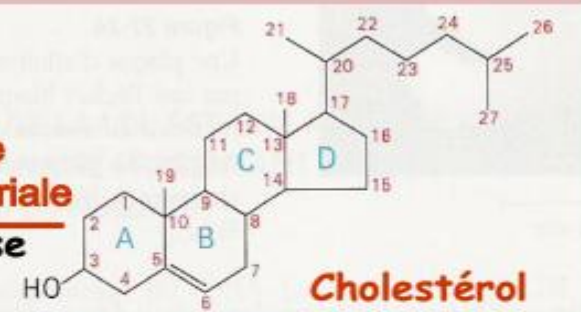
aldostérone

CORTICO-
SURRENALES



cortisol

Etape
mitochondriale
Desmolase

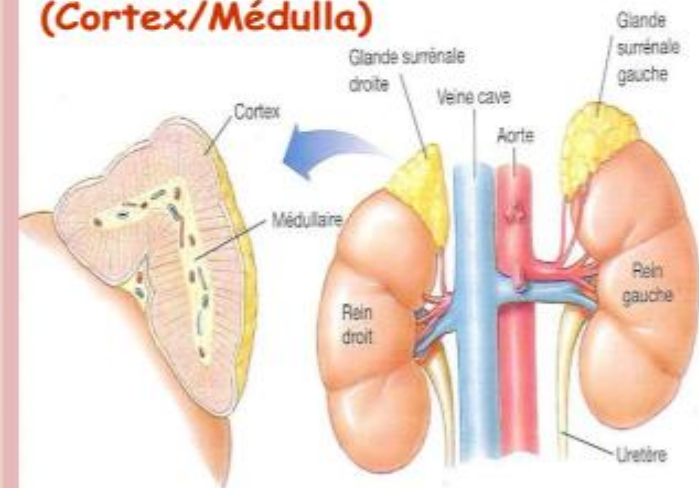


Cholestérol

Néosynthèse hépatique

Origine alimentaire

Glande surrénale
(Cortex/Médulla)

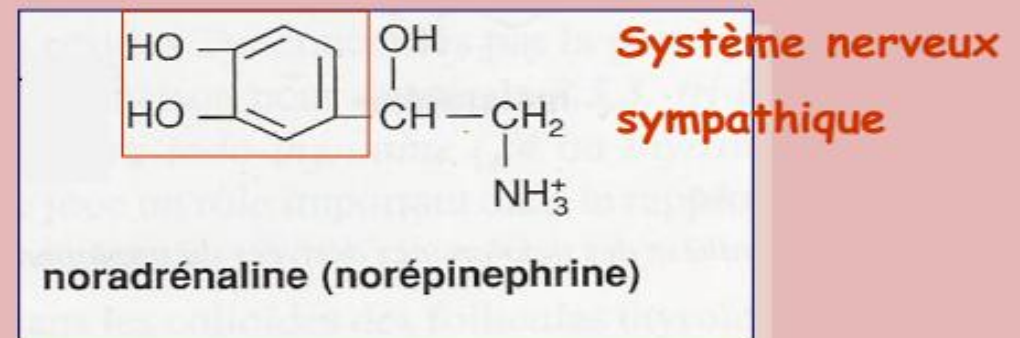
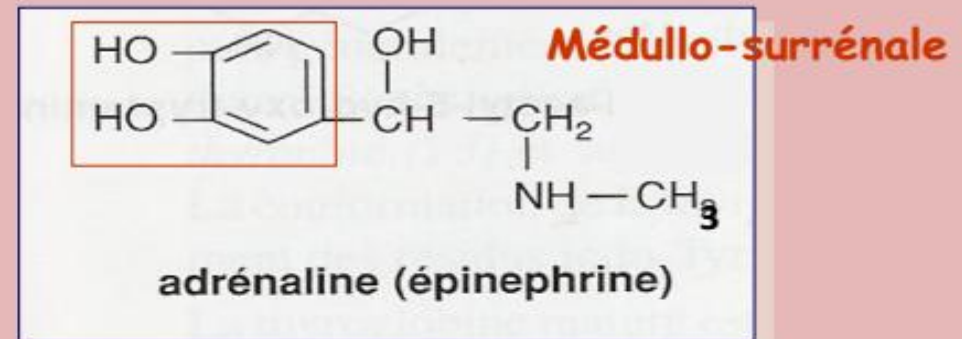
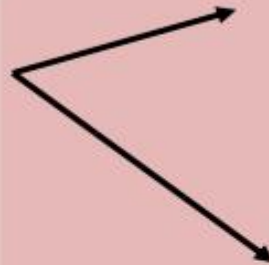


Gonades
(testicules/ovaires)

Biosynthèse des hormones amines

□ Cathécholamines:

Noyau catéchol + une amine



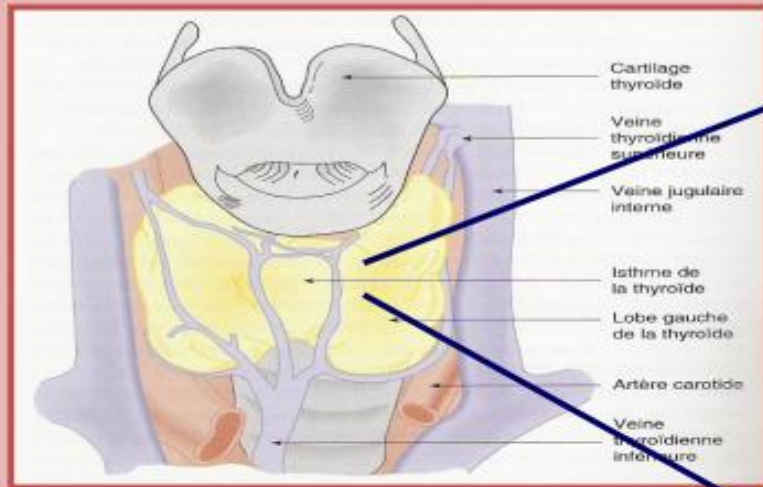
□ Mélatonine:

Dérivée du tryptophane

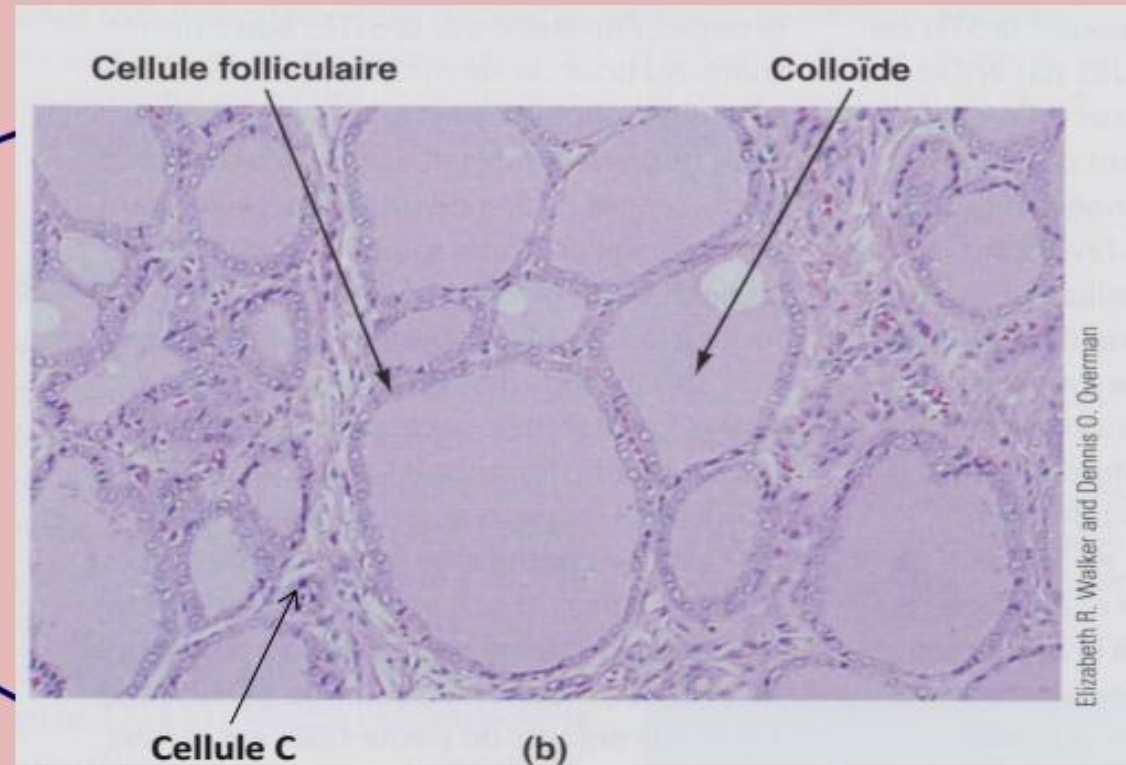
Glande pinéale (épiphyse)

Biosynthèse des hormones amines

❑ H. thyroïdiennes



Anatomie de la glande thyroïde

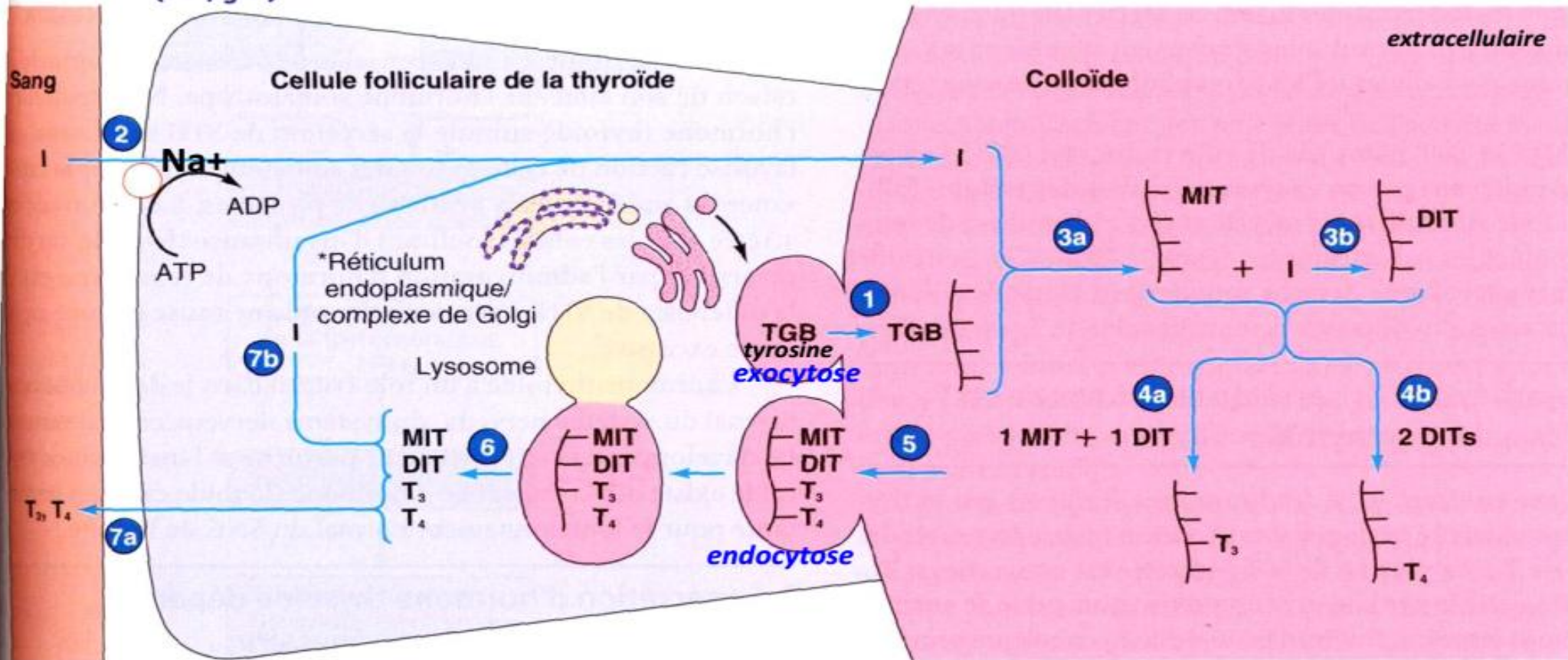


- ❖ Les cellules sécrétant les hormones thyroïdes forment des follicules sphériques contenant une substance colloïde.
- ❖ La cellule folliculaire produit 2 hormones dérivées de la tyrosine:
 - La tétraiodothyronine, T4 ou thyroxine
 - La triiodothyronine ou T3
 - Le principal constituant du colloïde est la thyroglobuline.
- ❖ Les cellules C sécrètent une hormone peptidique, la calcitonine
→ métabolisme du calcium

Synthèse et stockage des hormones thyroïdiennes

Iode alimentaire

(30 $\mu\text{g}:\text{J}$)



TGB = Thyroglobuline
 I^- = Iode
 MIT = Monoiodotyrosine

DIT = Diiodotyrosine
 T_3 = Triiodothyronine
 T_4 = Tétraiodothyronine

*Les organites ne sont pas reproduits à l'échelle. Le réticulum endoplasmique et le complexe de Golgi sont trop petits.

Biosynthèse des amines

□ H. thyroïdiennes

1/ la thyroglobuline (600KDa) contenant la tyrosine est synthétisée dans la cellule folliculaire et exportée par exocytose dans le colloïde

2/ l'iode d'origine alimentaire est transporté du sang vers le colloïde grâce à un transport actif via une pompe Iode/Na⁺-ATPase

3/ dans le colloïde l'iode réagit avec la tyrosine de la thyroglobuline.
La liaison d'un atome d'iode donne la monoiodotyrosine (MIT)
Celle de deux atomes d'iode donne la diiodotyrosine (DIT).

4/ le couplage des tyrosines iodées donne naissance aux hormones thyroïdiennes.

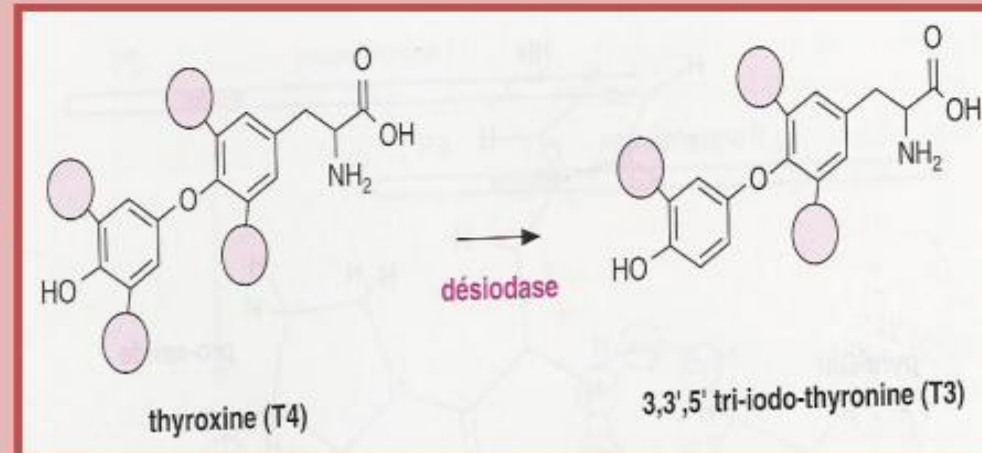
DIT + MIT → triiodothyronine ou T3

DIT + DIT → tétraiodothyronine ou T4 ou thyroxine

- Stockage (2-3 mois) sous forme de thyroglobuline (colloïde)

- Par jour: 80 µg de T4 et 4 µg de T3

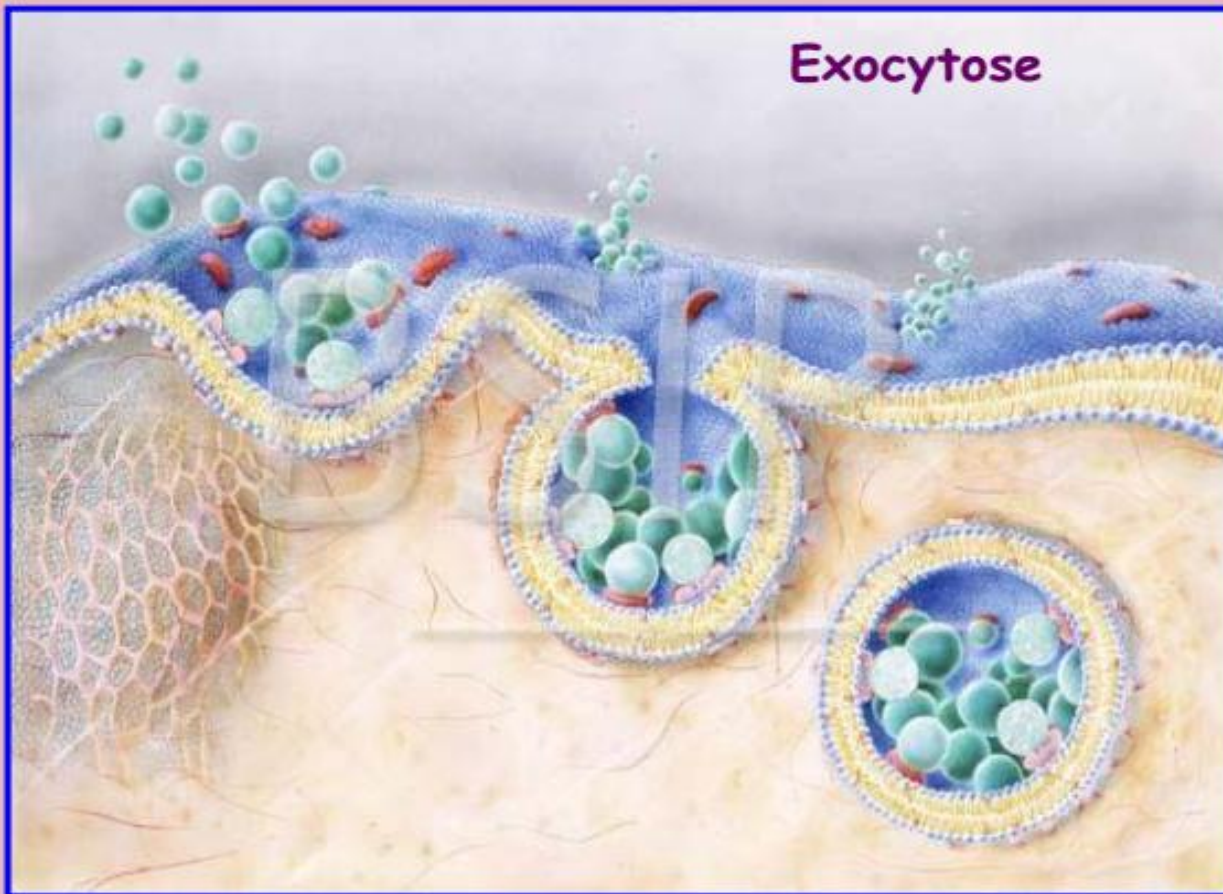
➔ Désiodation de la T4 en T3
au niveau des cellules cibles



Régulation du taux hormonal

Sécrétion des hormones

① H. Peptidiques/Protéiques; Catécholamines

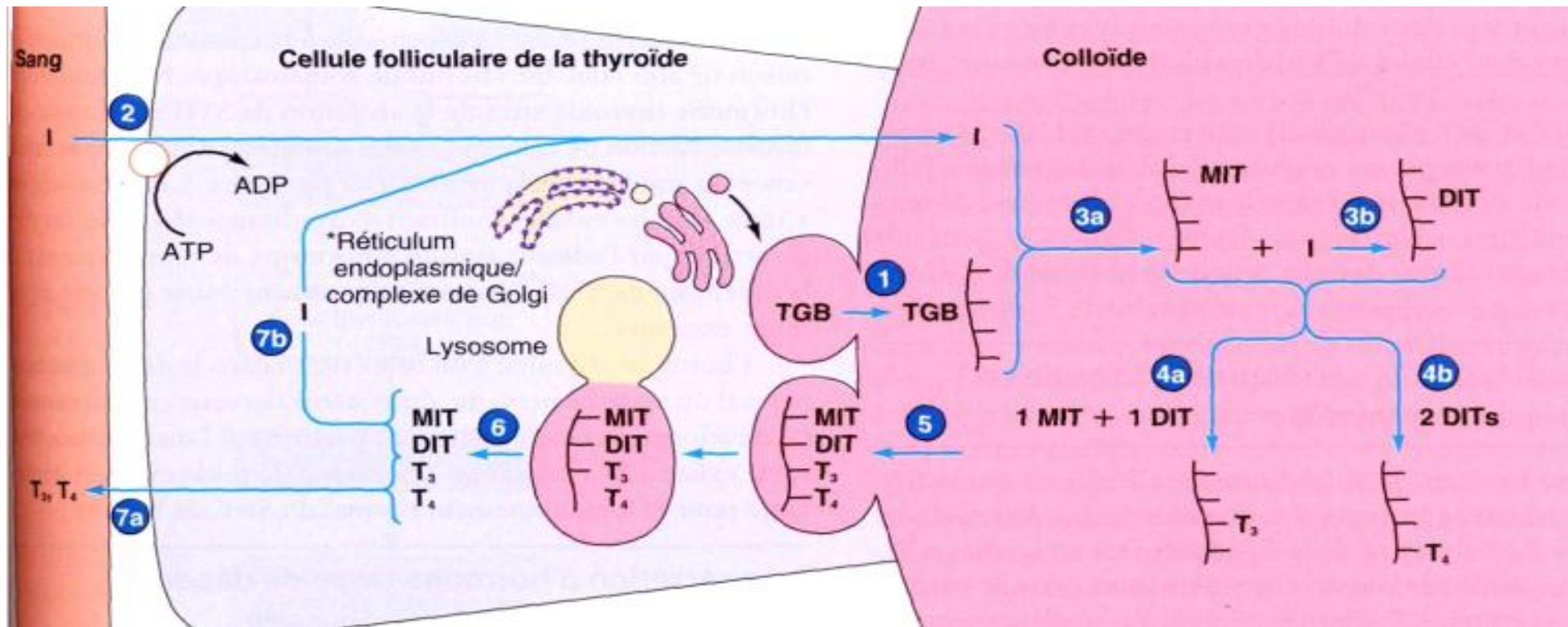


② H. Stéroïdiennes

Diffusion
membranaire

Sécrétion des H. Thyroïdiennes

- 5/ En cas de stimulation appropriée, les cellules folliculaires captent par endocytose une portion de colloïde contenant de la thyroglobuline.
- 6/ La protéolyse enzymatique libère des hormones, T3 et T4 ainsi que les iodotyrosines inactives MIT et DIT
- 7/ Les T3 et T4 sont liposolubles ou lipophiles et traversent la membrane des cellules folliculaires pour gagner la circulation sanguine.
- 8/ L'iode est détaché des MIT et DIT et l'iode libre est réutilisé pour la synthèse d'hormone.



Transport dans le sang

Les différentes familles d'hormones sont transportées dans le sang

☐ **Peptides et Stéroïdes**
(ou liées)



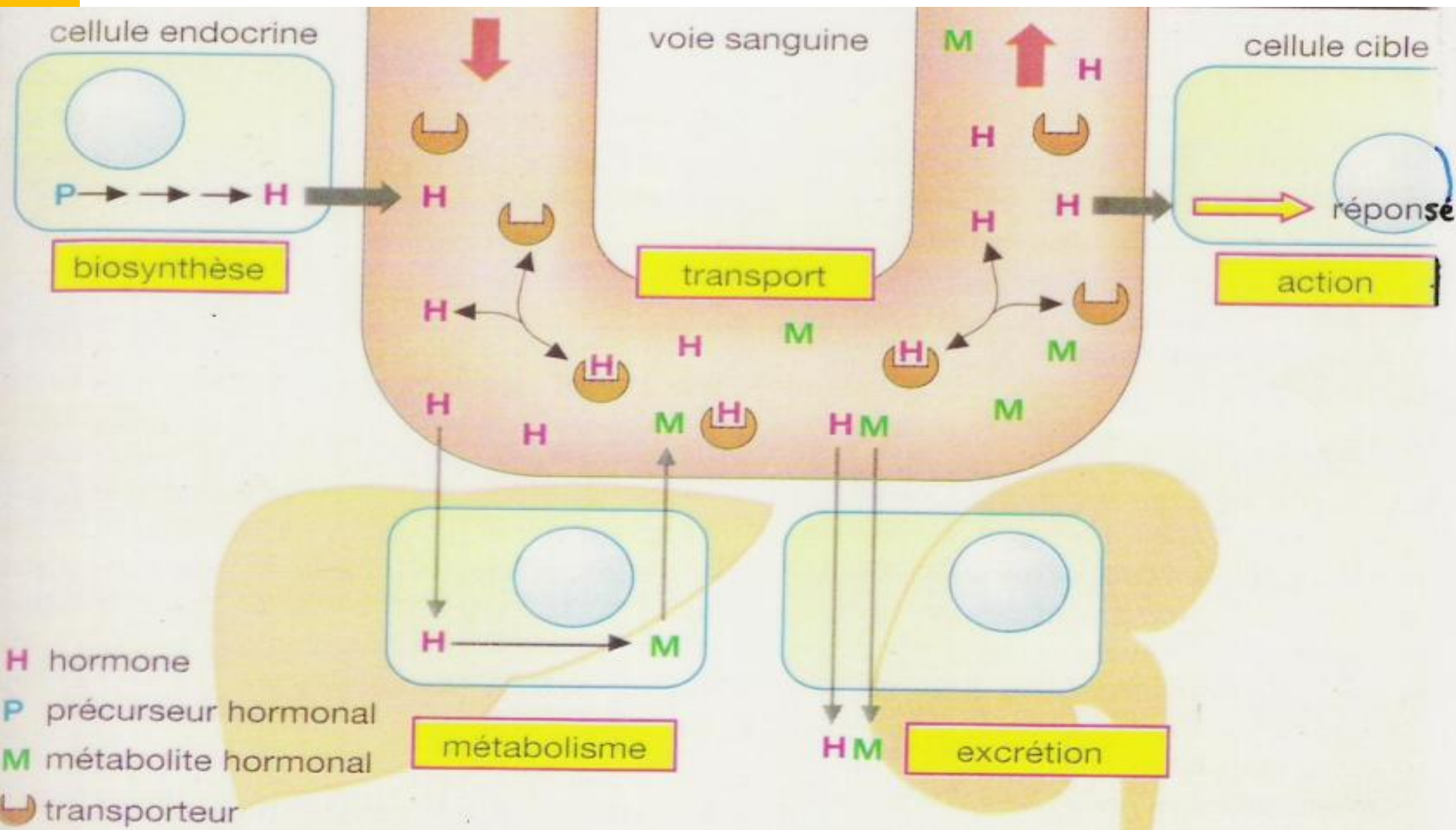
Solubles dans le plasma



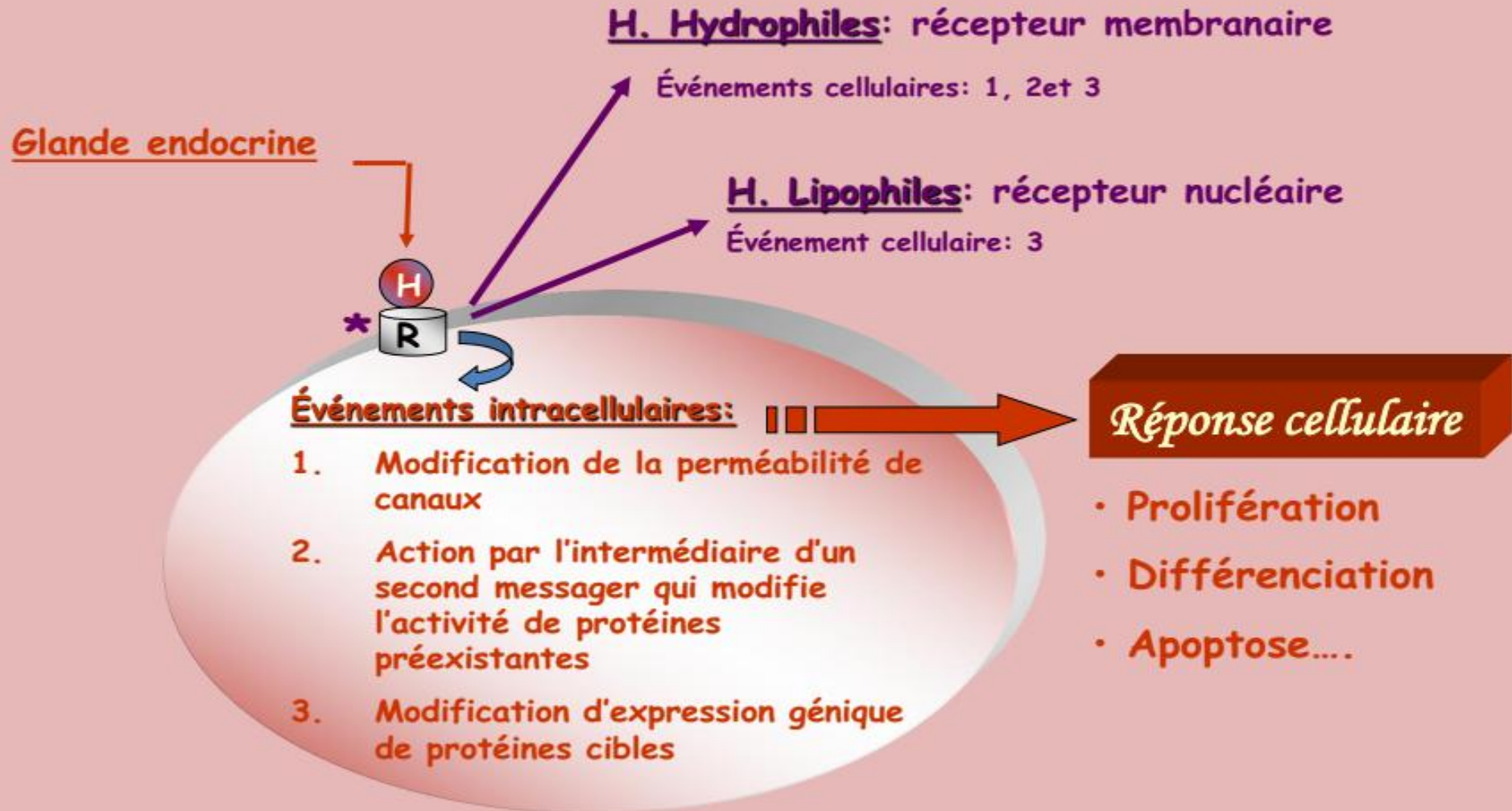
☐ **Catécholamines et Hormones thyroïdes**
des protéines plasmatisques ou à des protéines transporteur
spécifiques

Liées à

Circulation et métabolisme des hormones



Récepteurs hormonaux

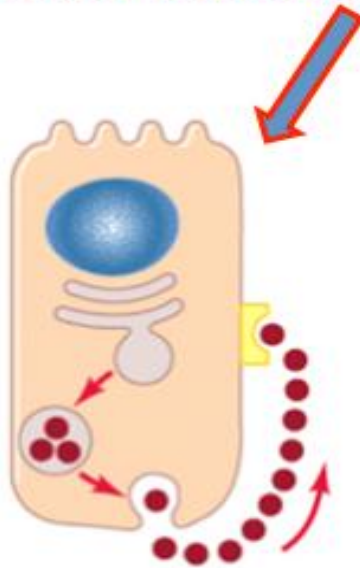


La complexité du SE

- 1- La même glande endocrine peut **sécréter plusieurs hormones**.
- 2- Une hormone donnée peut avoir des **effets différents** sur différentes cellules cibles.
- 3- Un processus physiologique peut être **contrôlé par plusieurs hormones**.
- 4- Il est fréquent que différentes structures endocrines **agissent les unes sur les autres** afin de moduler leurs fonctionnements.

.Particularités et complexité du système endocrinien

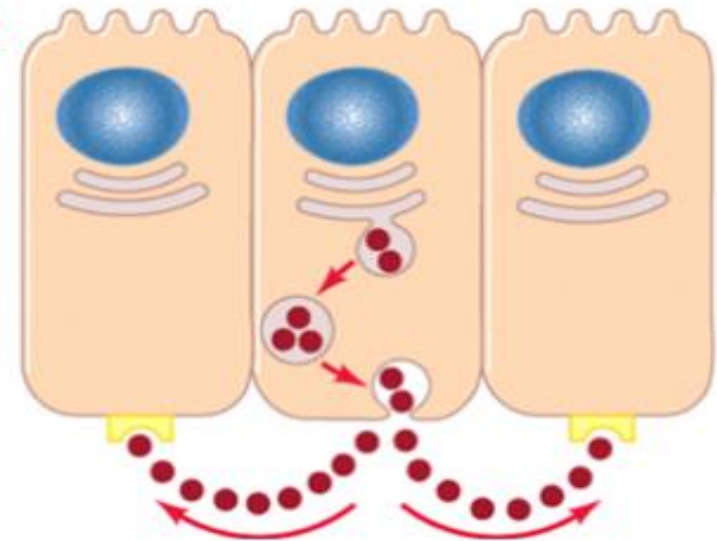
Notion d'autocrinie et de paracrinie



Autocrines

Hormones agissant sur cellules qui les produisent.

Exple d'autocrinie: L'insuline, hormone hypoglycémiante sécrétée par la cellule β du pancréas stimule sa propre sécrétion.

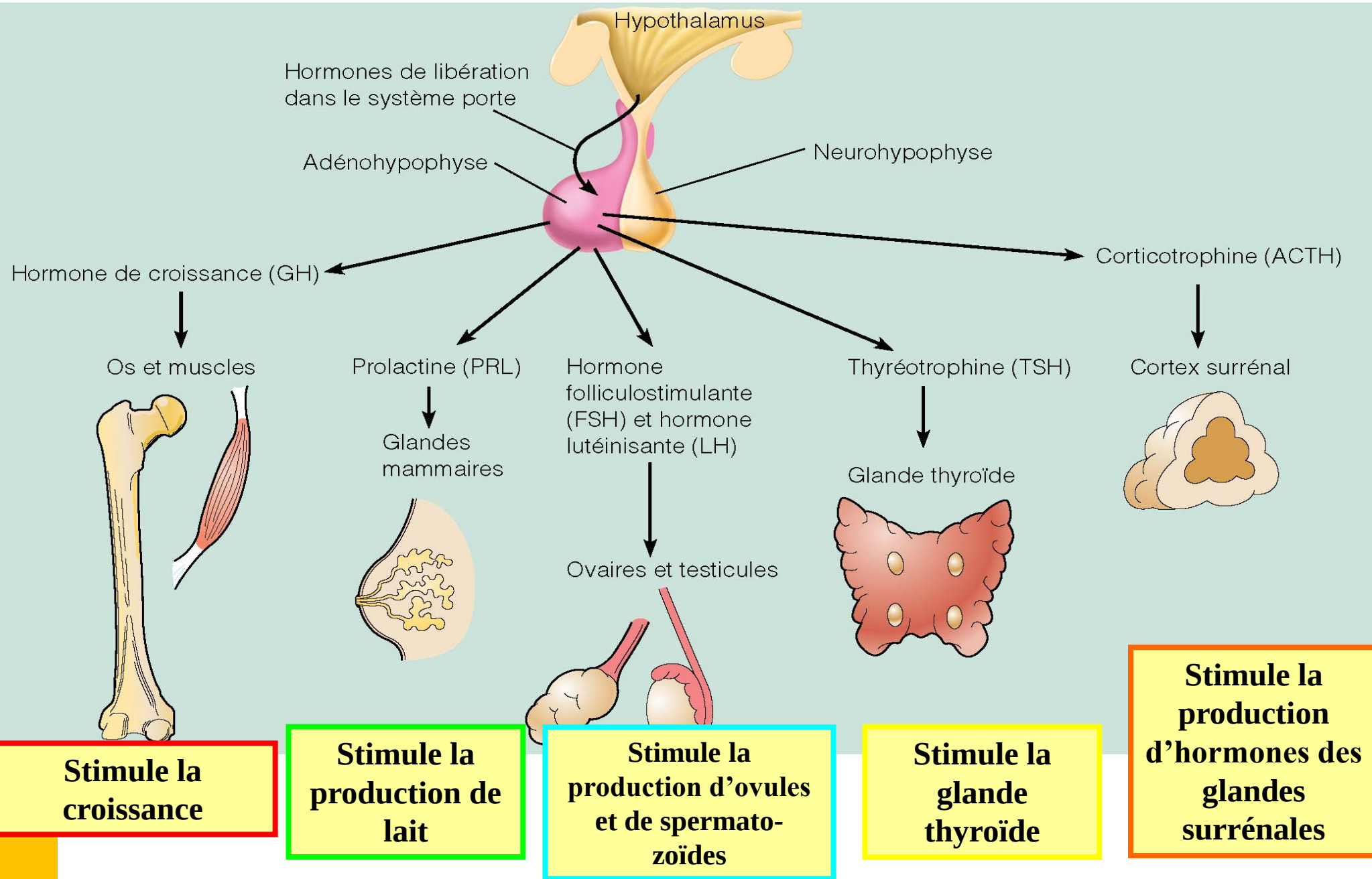


Paracrines

Hormones qui agissent sur cellules voisines.

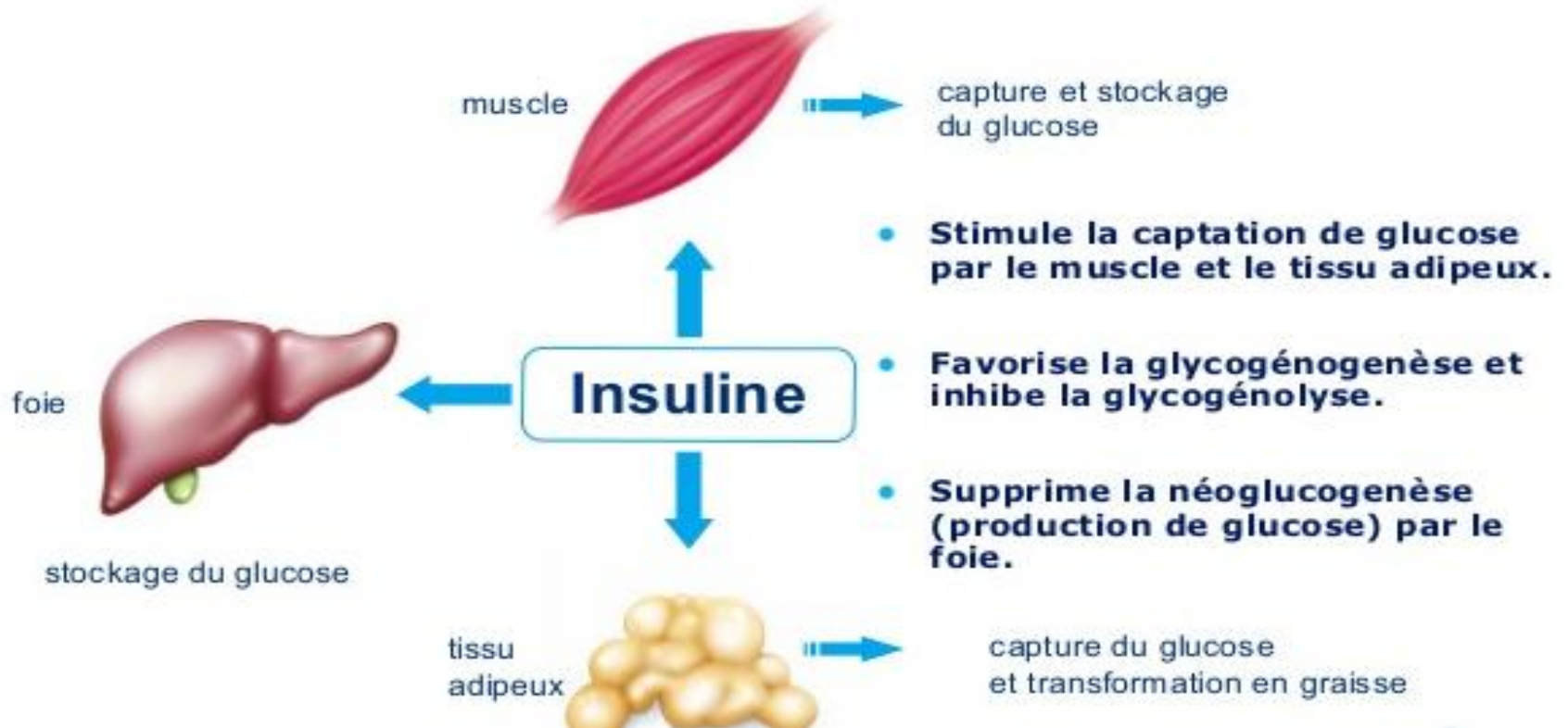
Exple de paracrinie: L'insuline sécrétée par la cellule β agit sur les cellules α avoisinantes pour inhiber leur sécrétion de glucagon (Hormone hyperglycémiante)

- Une même glande endocrine peut sécréter plusieurs hormones différentes (hypophyse : GH, TSH , ACTH, FSH, LH,, etc.)



Particularités et Complexité du SE (suite...)

- ❑ Une même hormone peut avoir des effets différents sur plusieurs cellules cibles.



l'insuline , - **Dans le muscle strié squelettique** et dans le foie, elle stimule la synthèse du glycogène

- **Dans le tissu adipeux**, Elle stimule la conversion des glucides en acides gras pour permettre leur stockage.

Particularités et Complexité du SE « suite »

Un processus physiologique peut être contrôlé par **plusieurs hormones**.

Exemple 1: La régulation de la glycémie fait intervenir,

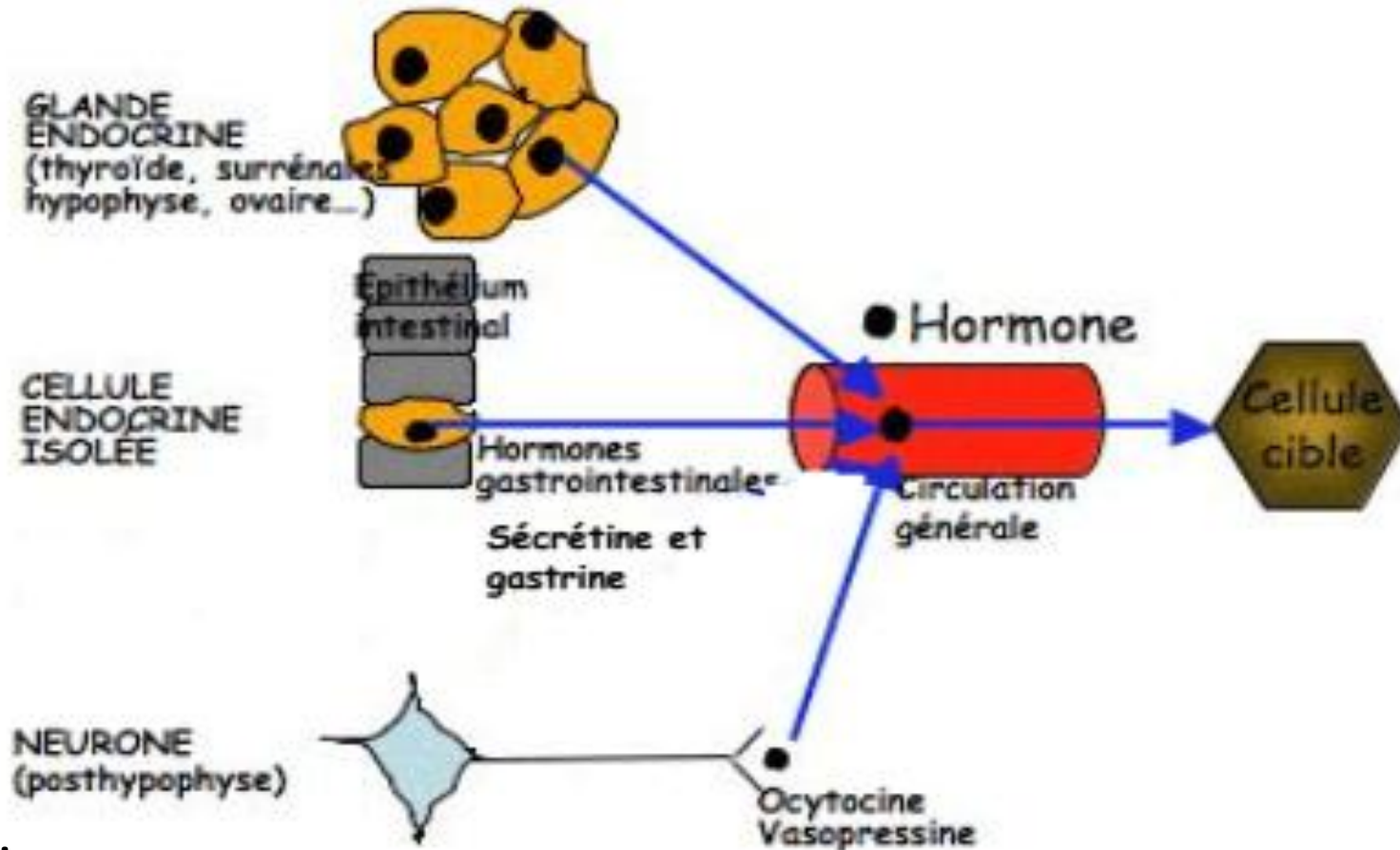
- **l'insuline** : (Hormone **hypoglycémiante**),
- **le glucagon, le cortisol et la noradrénaline** (Hormones **hyperglycémiantes**)

Exemple 2: La croissance des os longs se fait sous l'action

- **T3 et T4**: Des hormones thyroïdiennes
- **GH**: De l'hormone de croissance

Particularités et Complexité du SE « suite »

Les hormones **ne sont pas toujours** sécrétées par les glandes endocrines. Ils peuvent être sécrétées par des **cellules endocrines isolées** ou bien par des neurones appelés **neurones neuro-endocrines**



Exemples:

La **gastrine** : sécrétée par les **cell G** de la muqueuse gastrique, elle stimule la sécrétion d'HCL

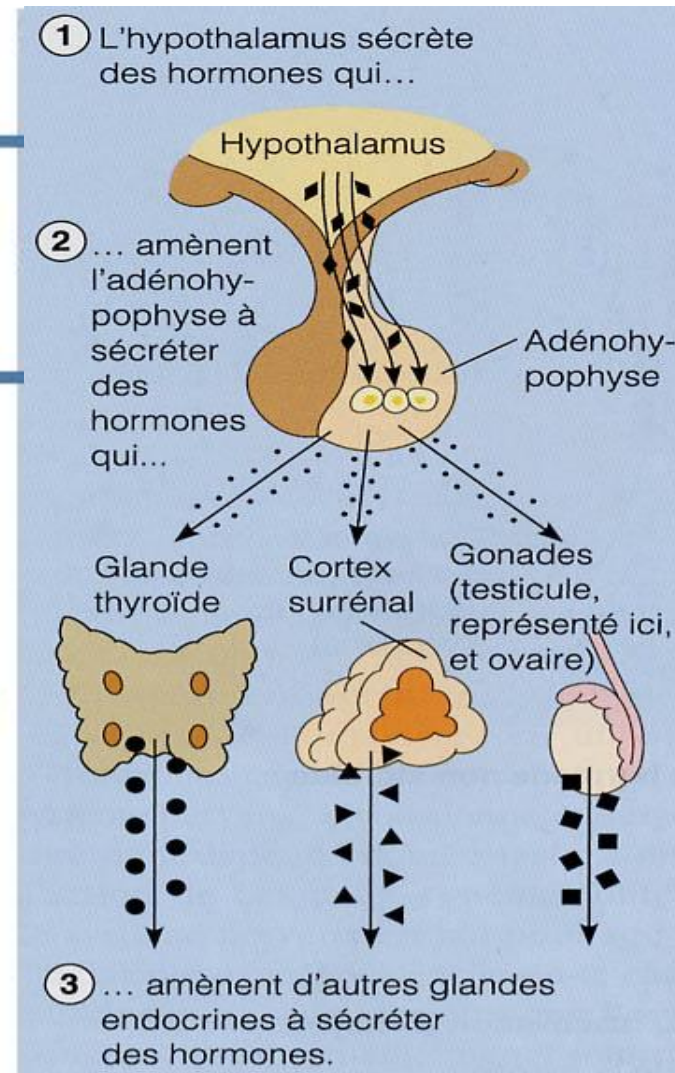
Particularités et Complexité du SE « suite »

- Différentes structures endocrines peuvent agir les unes sur les autres, afin de moduler leurs fonctionnement: Axes endocriniens
- Ils s'organisent généralement en 3 niveaux

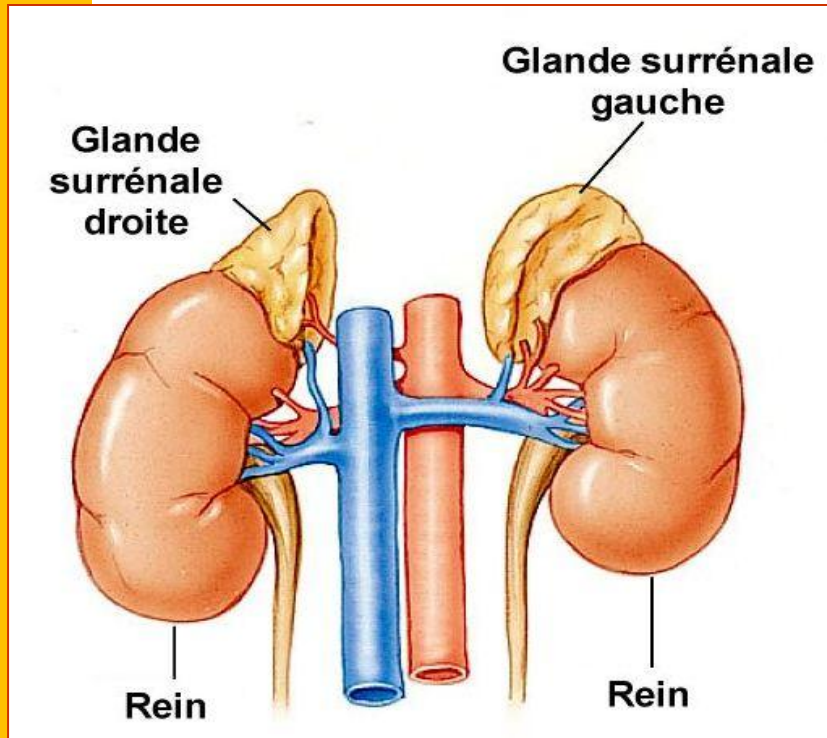
Niveau hypothalamique

Niveau hypophysaire

Niveau périphérique:
Thyroïde, gonades, Cortex surrénalien



Les glandes surrénales



Les surrénales sont constituées de deux parties:

Cortex surrénal (corticosurrénale):

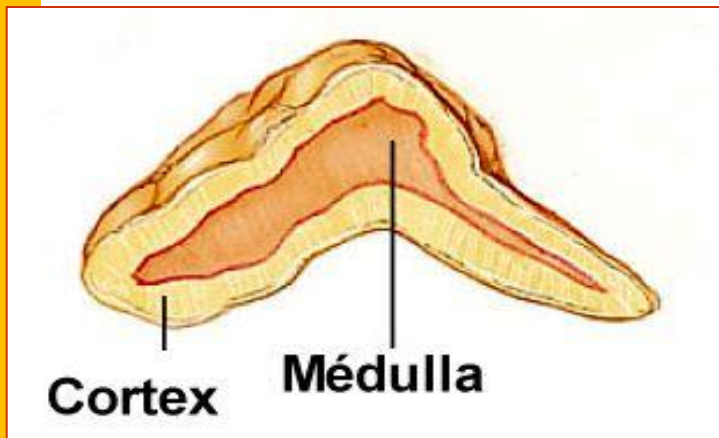
Aldostérone

Cortisone et cortisol

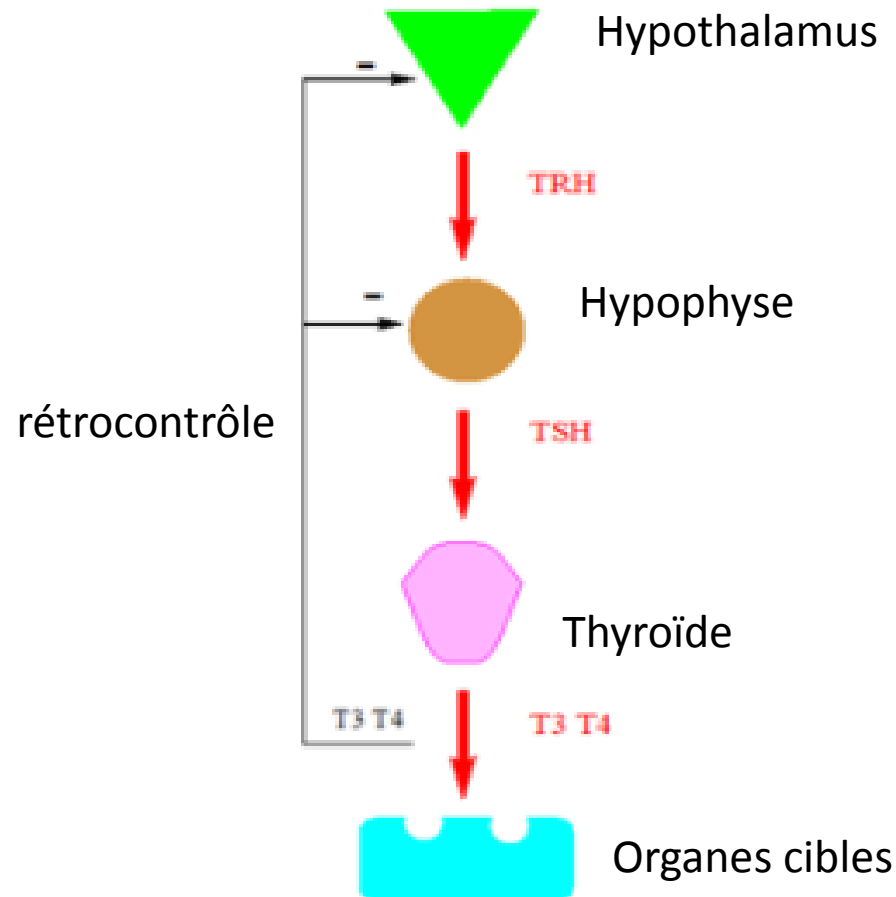
Hormones sexuelles

Médulla surrénale (médullosurrénale)

Adrénaline et noradrénaline

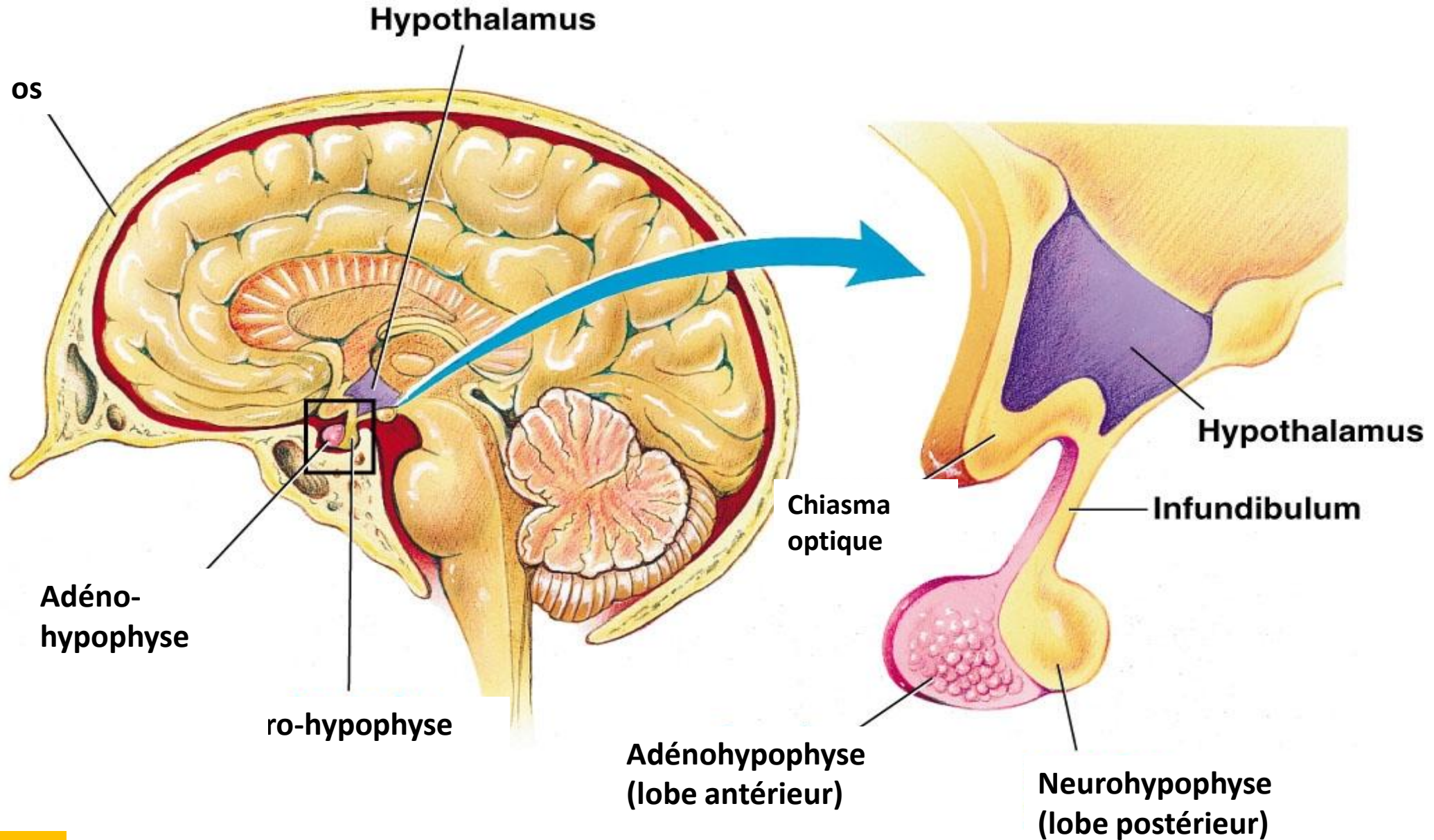


- Exemple d'axe endocrinien: L'axe thyroïdote: Hypothalamus, hypophyse, thyroïde).



- **Notion de feed back ou rétrocontrôle** : Lorsqu'une hormone est sécrétée en quantité suffisante, elle agit sur le système qui a déclenché sa sécrétion pour le freiner (Boucles de régulation).

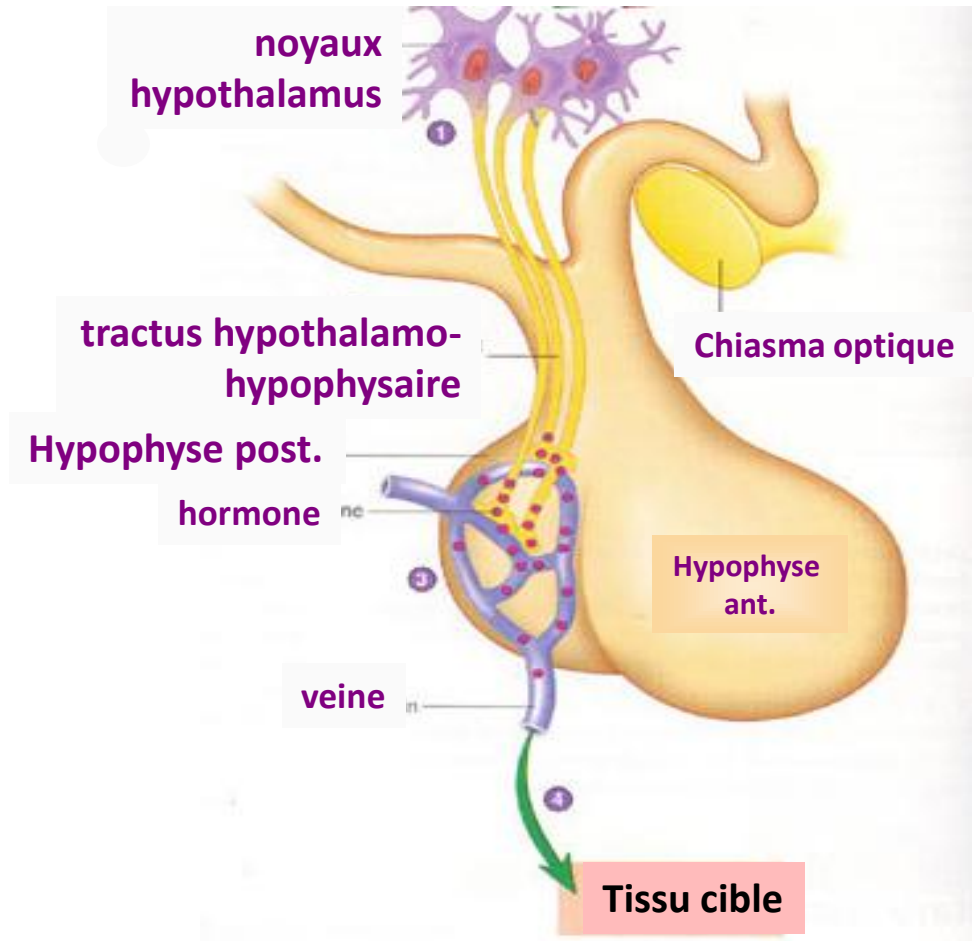
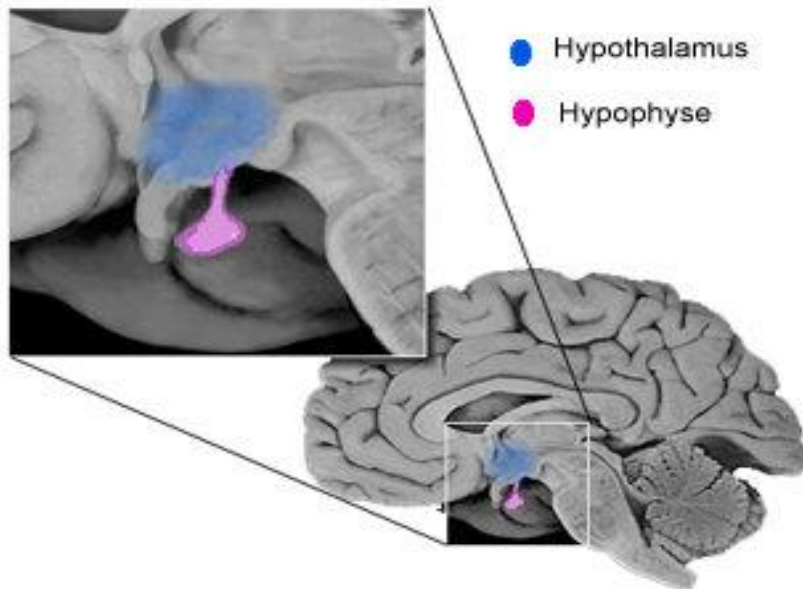
hypophyse

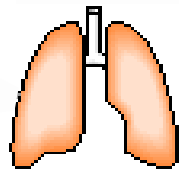


Hormone anti-diurétique, ADH (vasopressine)

↪ Synthèse dans hypothalamus, sécrétion dsns hypophyse post.

↪ 2 actions → rétention rénale d'eau
→ vasoconstriction artériolaire





enzyme de
conversion

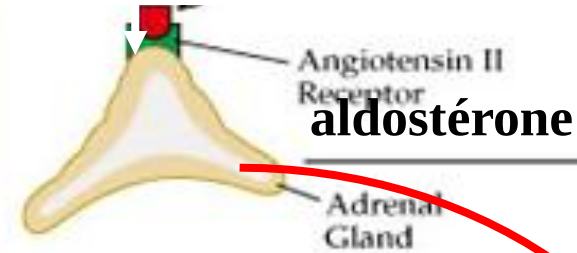
angiotensine I

angiotensine II

ERS

ANGIOTENSIN-CONVERTING ENZYME
INHIBITORS

aldostérone



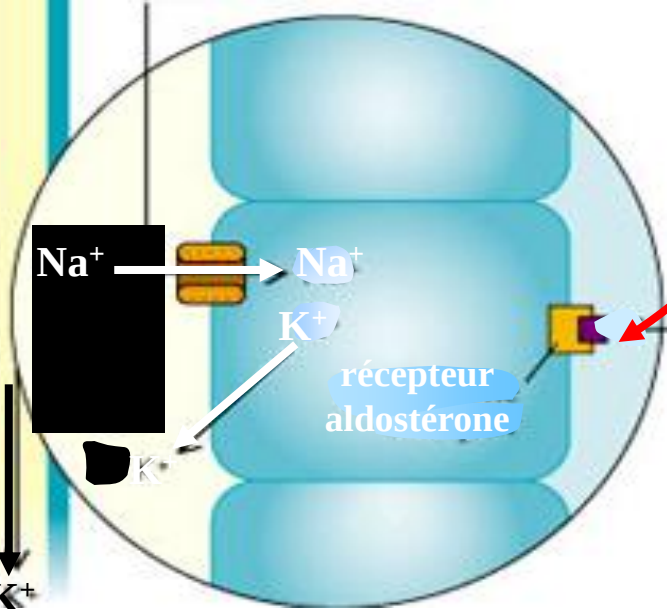
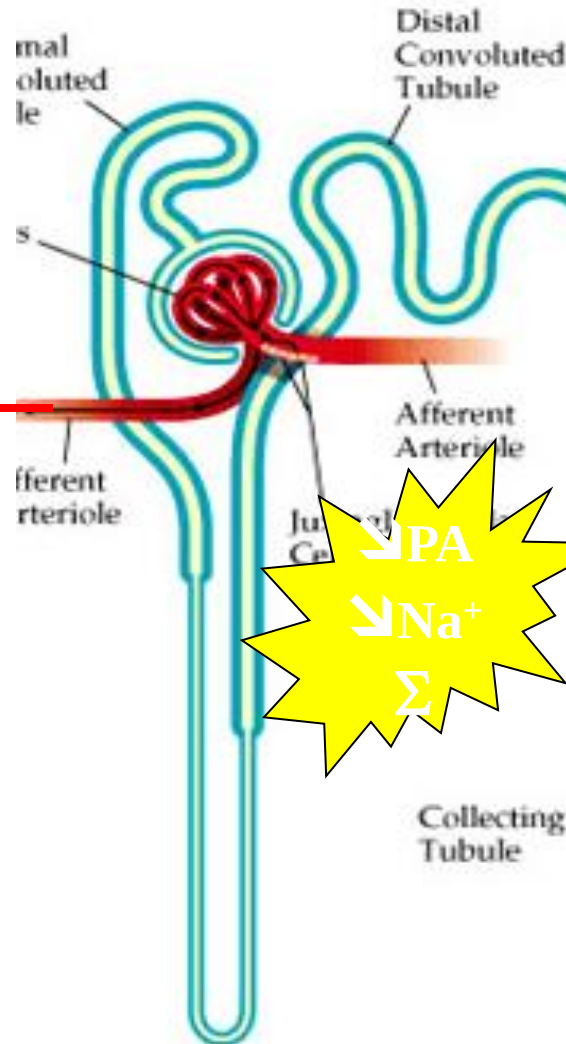
SODIUM CHANNEL
BLOCKERS

Amiloride
Triamterene
Trimethoprim
Pentamidine

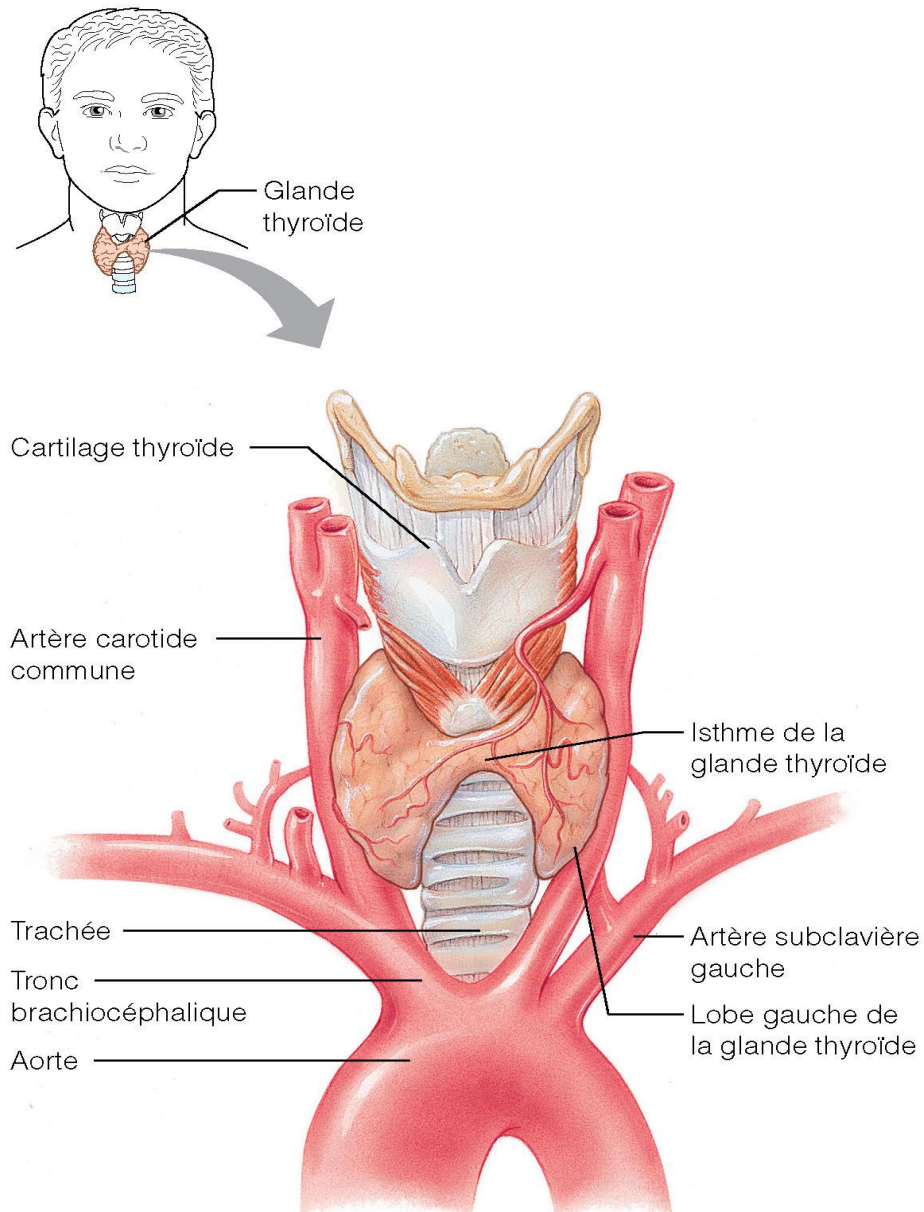
→ In

rénine

angiotensinogène



La thyroïde



Hormone Thyroïdienne (T3 et T4):

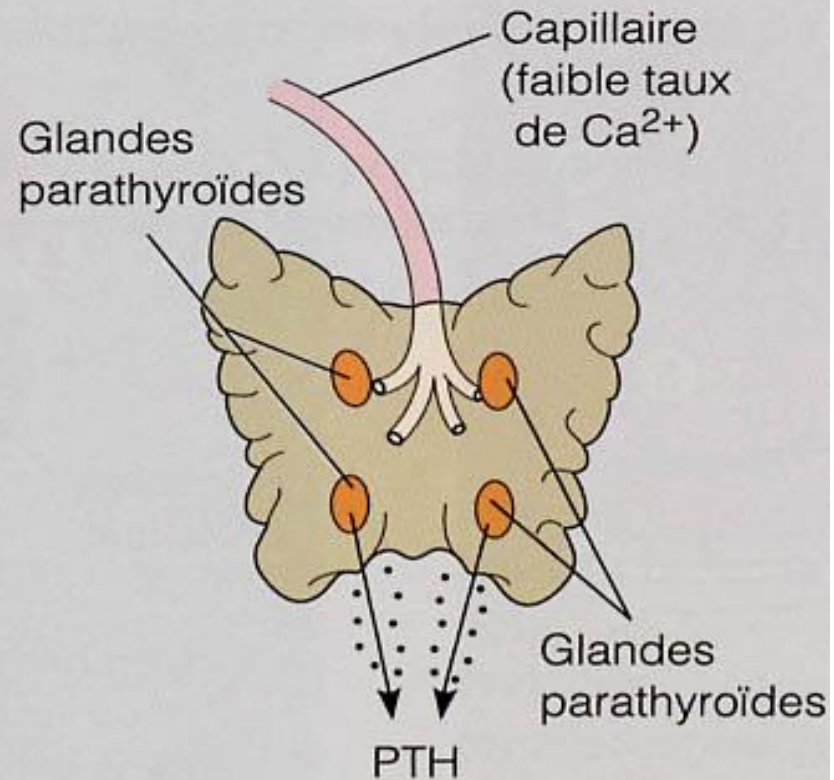
Contient de l'iode Contrôle la vitesse à laquelle le glucose est dégradé en énergie et en chaleur (métabolisme)

Calcitonine :

Abaisse le taux de calcium sanguin

Active le dépôt de calcium dans les os

- ① La diminution du taux de Ca^{2+} dans le sang capillaire provoque...



- ② ... la sécrétion de parathormone (PTH).

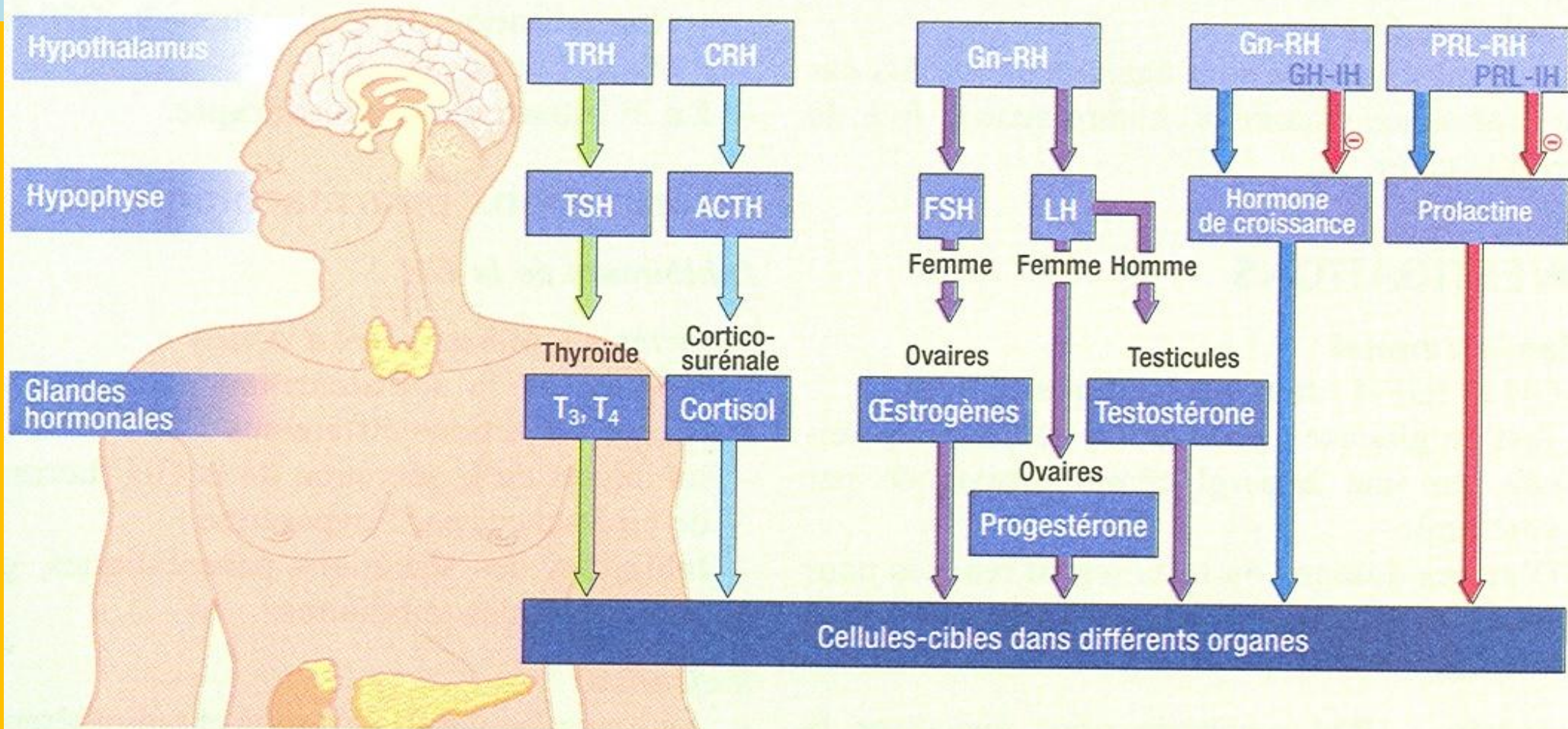
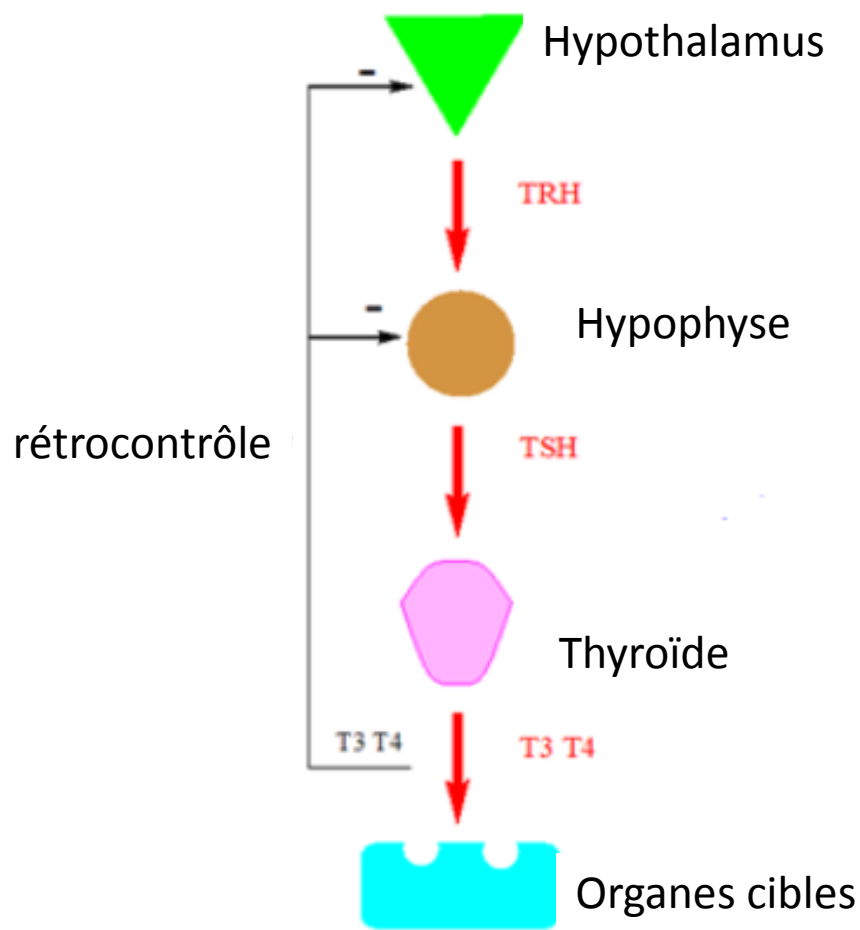


Figure 6.2 : Les axes hormonaux de l'hypothalamus en passant par l'hypophyse jusqu'aux glandes hormonales périphériques.

L'axe thyroïdienne

Il permet la régulation de la sécrétion des hormones thyroïdiennes (HT). Il comporte 3 niveaux d'organisation:



L'hypothalamus : sécrète la **TRH** (thyrotropin releasing hormone)

L'antéhypophyse : sécrète la **TSH** (thyro-stimulating hormone) . Celle-ci stimule la sécrétion des **HT**

La thyroïde: sécrète les hormones thyroïdiennes: **T₃** et **T₄** qui vont agir sur les tissus cibles.

T₃ et T₄ sécrétées par la thyroïde freinent par **rétrocontrôle négatif** la sécrétion de TRH et de TSH.

- **le TRH** Tripeptide : pyroGlu-His-Pro-NH₂
- Il possède sur les cellules thyroïdiques un récepteur couplé aux protéines G
- Stimule la synthèse de la TSH par l'hypophyse
- Rétro-contrôlé par la T3 et la T4

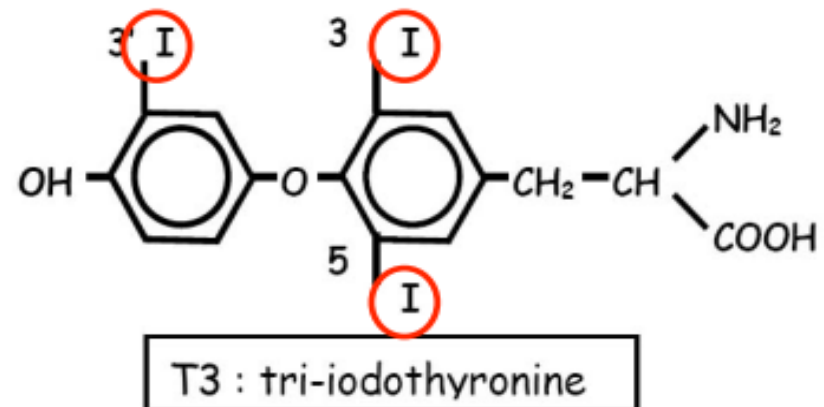
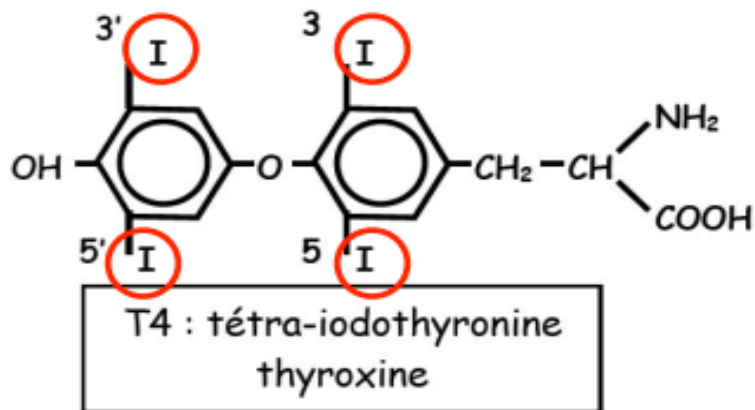
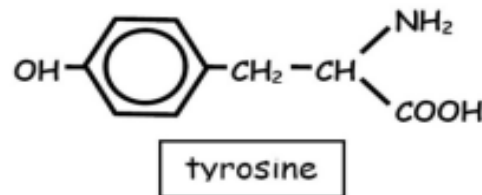
La TSH: Glycoprotéine hypophysaire. (35 kDa)

- Possède une sous unité β et une sous unité α
- Synthétisée par les cellules thyroïdiques
- Un récepteur couplé aux protéines G exprimé à la surface des thyrocytes.
- Régule la synthèse de T3 et T4
- Rétro-contrôlée par la T3 et la T4

Les hormones thyroïdiennes

Biochimiquement, les HT possèdent une même structure de base qui résulte de la condensation **de deux molécules de tyrosine**.

Les hormones se différencient entre elles par le nombre et la place variable des atomes d'iode qu'elles portent.



Effets biologiques des hormones thyroïdiennes

A - Effets sur la croissance et le développement du SNC et du squelette

A. 1. Sur la croissance et développement du système nerveux central:

Durant les premiers mois de la vie, les HT participent aux mécanismes de mise en place des connexions neuronales et de leur maturation ainsi qu'à la myélinisation.

A.2. Croissance et développement du squelette

Pendant la période fœtale, et durant la période postnatale

les HT sont nécessaires à la différenciation et à la maturation osseuse (nanisme dysharmonieux). les HT permettent la maturation et une ossification du cartilage.



B. Effets métaboliques

1 - Métabolisme basal

Les HT augmentent la thermogenèse obligatoire et la consommation d'O₂

l'hypothyroïdie → frilosité

l'hyperthyroïdie → thermophobie

2 - Métabolisme glucidique et lipidique

Les HT sont hyperglycémiantes (elles augmentent l'absorption intestinale de glucides et favorisent la production du glucose). Elles permettent l'augmentation de lipogénèse

3- Métabolisme protéique

Les hormones thyroïdiennes augmentent la synthèse protéique au niveau du foie et du muscle.

4 - Métabolisme hydro-minéral

Les hormones thyroïdiennes augmentent le débit sanguin rénal.

Ainsi l'hypothyroïdie → œdème

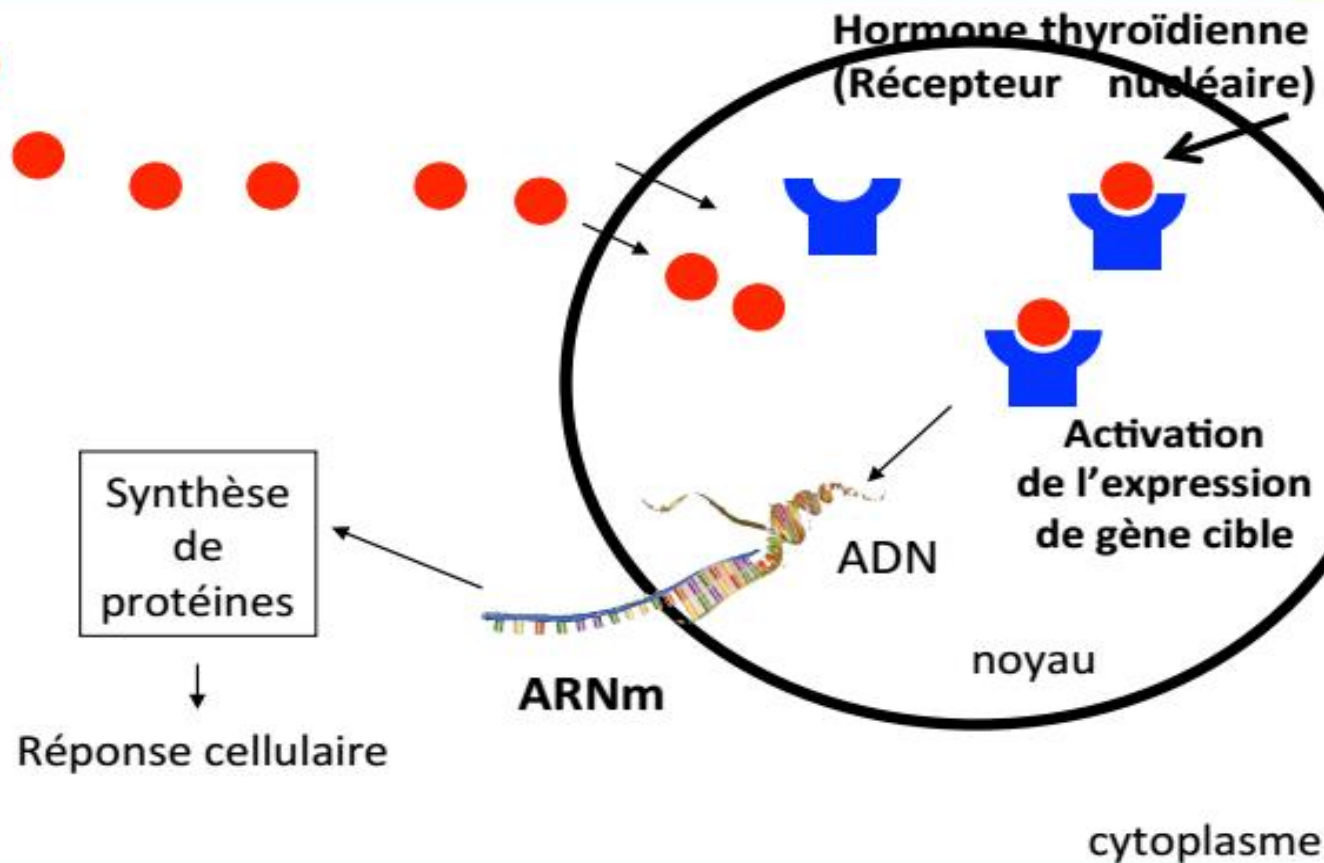
C - Effets tissulaires

Par leur action ubiquitaire,

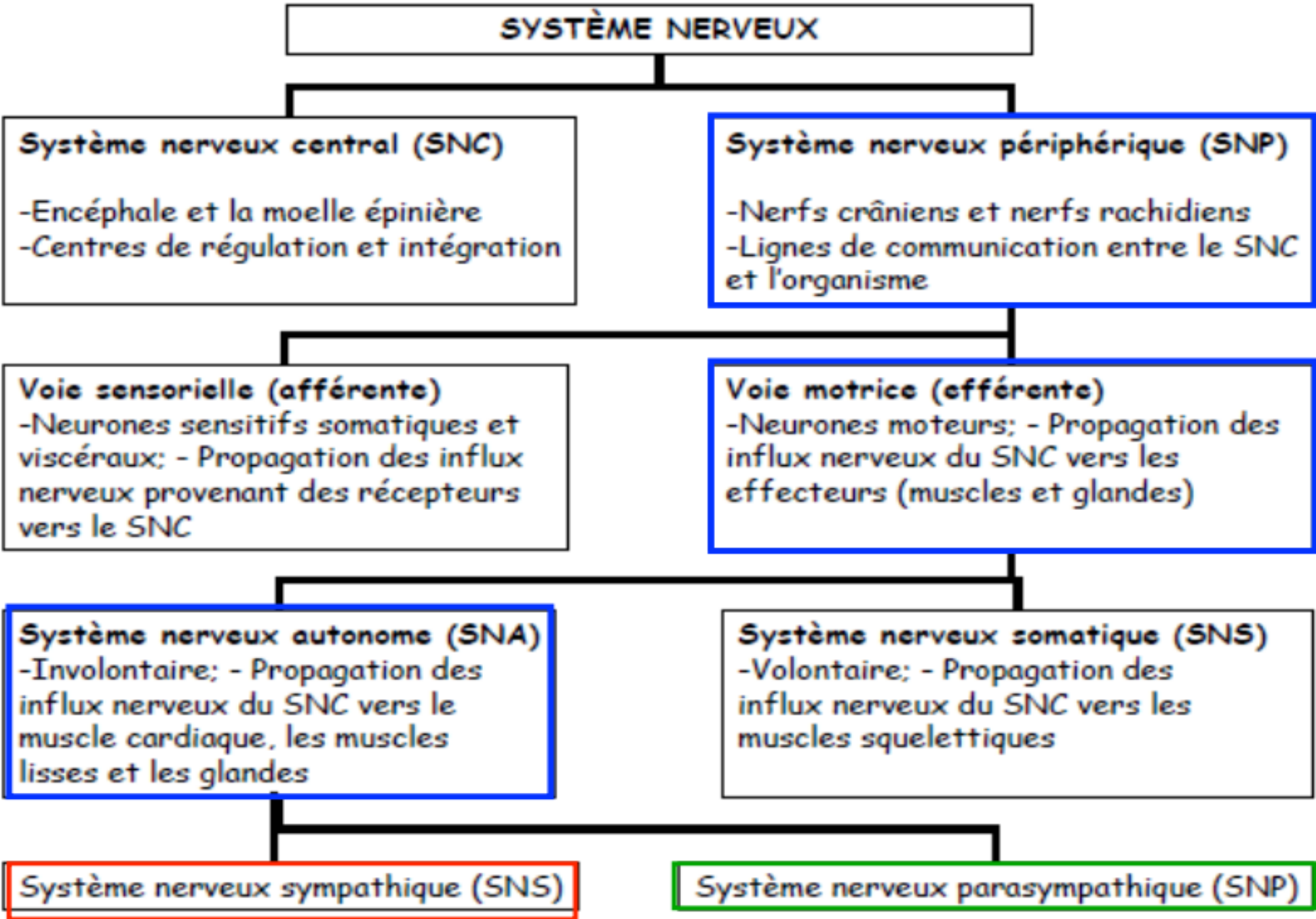
- Au niveau cardiaque, les HT renforcent l'effet de la noradrénaline sur le cœur (↗ le rythme cardiaque..)
L'hypothyroïdien souffre de bradycardie
l'hyperthyroïdien souffre de tachycardie.
- Au niveau musculaire, les HT contrôlent la contraction
- Sur le tube digestif, les hormones thyroïdiennes favorisent le transit intestinal.
L'hypothyroïdie (constipation)
- Les HT participent à la régulation de l'hématopoïèse
l'hypothyroïdie s'accompagne d'une anémie.

Mode d'action des hormones stéroïdes et thyroïdiennes

Diffusion
passive



SYSTÈME NERVEUX



```
graph TD; A[SYSTÈME NERVEUX] --> B[Système nerveux central (SNC)  
-Encéphale et la moelle épinière  
-Centres de régulation et intégration]; A --> C[Système nerveux périphérique (SNP)  
-Nerfs crâniens et nerfs rachidiens  
-Lignes de communication entre le SNC et l'organisme]; C --> D[Voie sensorielle (afférente)  
-Neurones sensitifs somatiques et viscéraux; - Propagation des influx nerveux provenant des récepteurs vers le SNC]; C --> E[Voie motrice (efférente)  
-Neurones moteurs; - Propagation des influx nerveux du SNC vers les effecteurs (muscles et glandes)]; E --> F[Système nerveux autonome (SNA)  
-Involontaire; - Propagation des influx nerveux du SNC vers le muscle cardiaque, les muscles lisses et les glandes]; E --> G[Système nerveux somatique (SNS)  
-Volontaire; - Propagation des influx nerveux du SNC vers les muscles squelettiques]; F --> H[Système nerveux sympathique (SNS)]; F --> I[Système nerveux parasympathique (SNP)];
```

Système nerveux central (SNC)

- Encéphale et la moelle épinière
- Centres de régulation et intégration

Système nerveux périphérique (SNP)

- Nerfs crâniens et nerfs rachidiens
- Lignes de communication entre le SNC et l'organisme

Voie sensorielle (afférente)

- Neurones sensitifs somatiques et viscéraux; - Propagation des influx nerveux provenant des récepteurs vers le SNC

Voie motrice (efférente)

- Neurones moteurs; - Propagation des influx nerveux du SNC vers les effecteurs (muscles et glandes)

Système nerveux autonome (SNA)

- Involontaire; - Propagation des influx nerveux du SNC vers le muscle cardiaque, les muscles lisses et les glandes

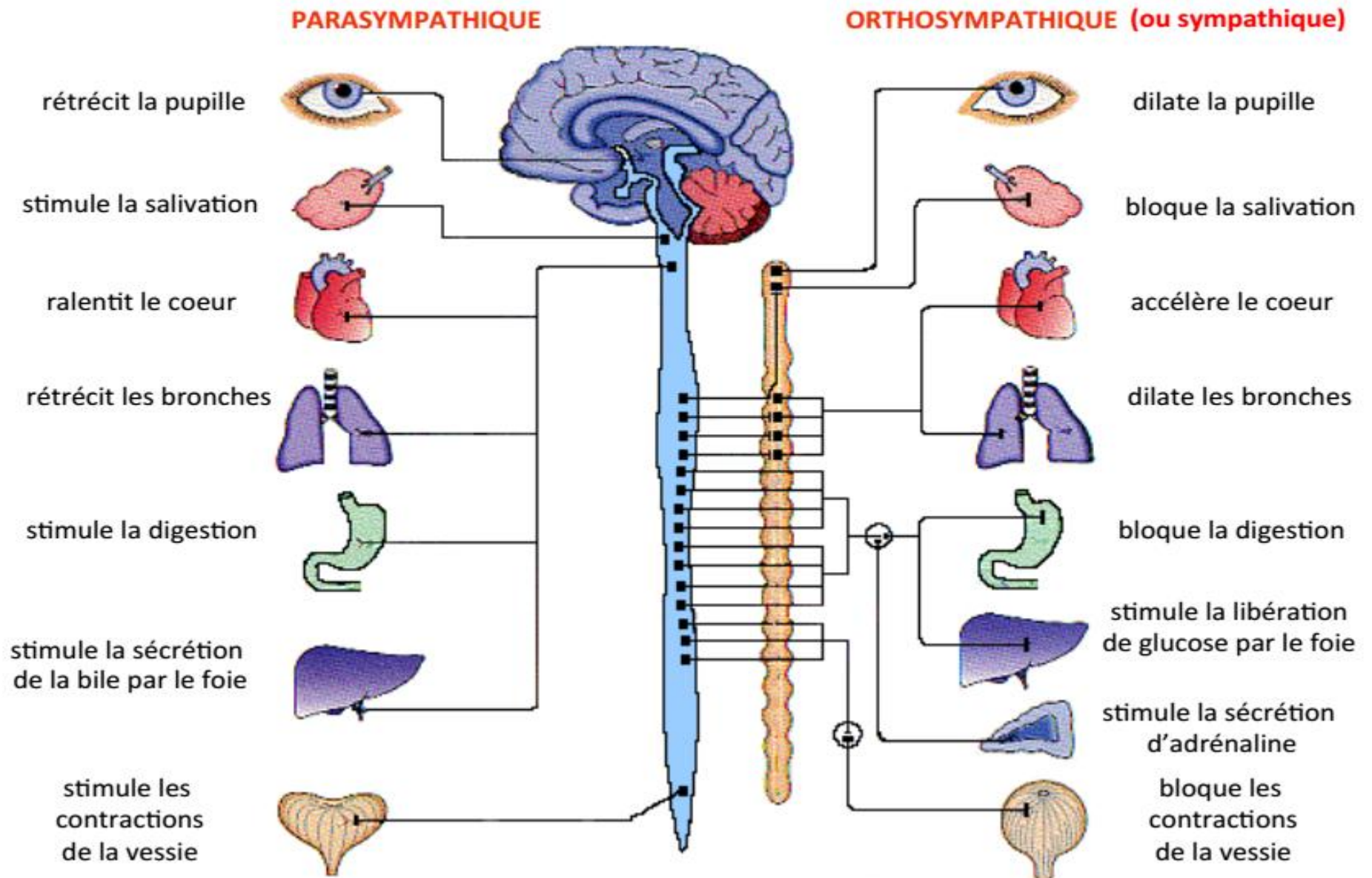
Système nerveux somatique (SNS)

- Volontaire; - Propagation des influx nerveux du SNC vers les muscles squelettiques

Système nerveux sympathique (SNS)

Système nerveux parasympathique (SNP)

Le système nerveux végétatif



Composantes du SNA: le SN parasympathique et le SN sympathique

Le SN parasympathique

- Joue un rôle dans le maintien des grandes fonctions physiologiques donc un rôle de stockage et d'économie d'énergie
- Assure un processus **anabolique**

Parmi ses effets:

- Constriction pupillaire,
- La sécrétion glandulaire exocrine, l'accroissement de la motilité gastro-intestinale (mécanismes musculaires menant à la défécation et à la miction).

Versant parasympathique

organisation anatomique

schéma anatomique de l'innervation végétative

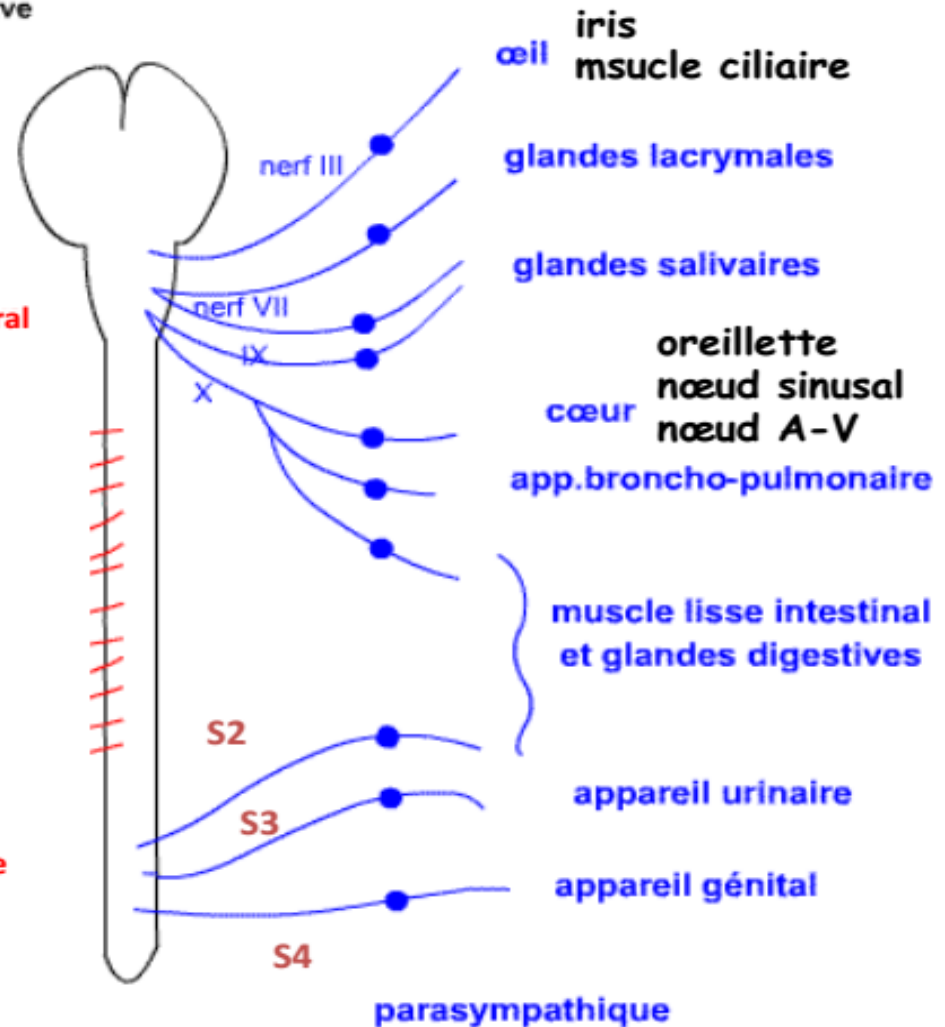
nerfs crâniens (III, VII, IX, X)

Tronc
cérébral

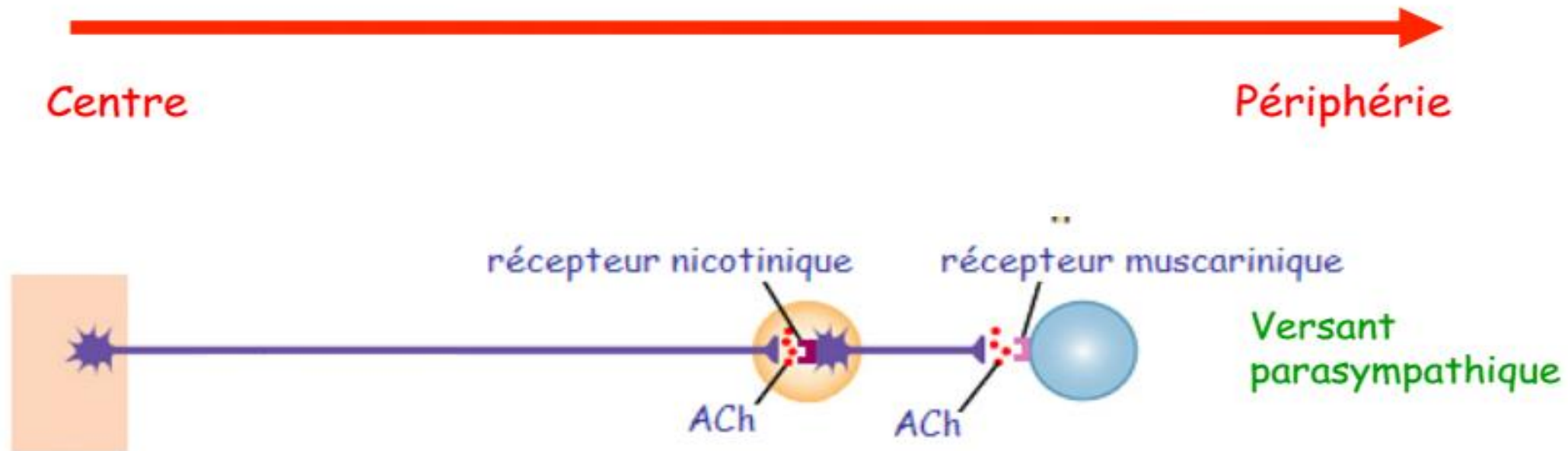
2 Neurones: premier neurone long
deuxième neurone court
relais ganglionnaire proche des organes

nerfs sacrés (racines S2, S3, S4)

Région sacrée de
moelle épinière



Le neurotransmetteur impliqué dans le système parasympathique est l' **Aétylcholine** uniquement



Composantes du SNA: le SN parasympathique et le SN sympathique

Le SN sympathique

- Joue un rôle dans l'adaptation du corps aux urgences et à l'activité musculaire intense: stress de fuite ou de lutte
- Assure donc un processus catabolique

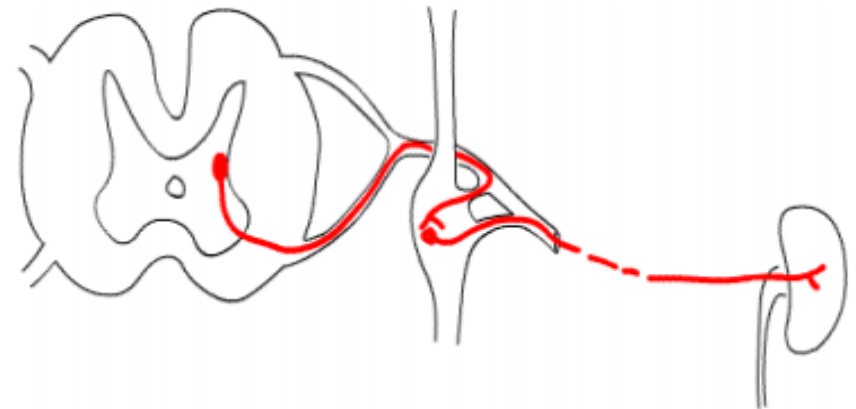
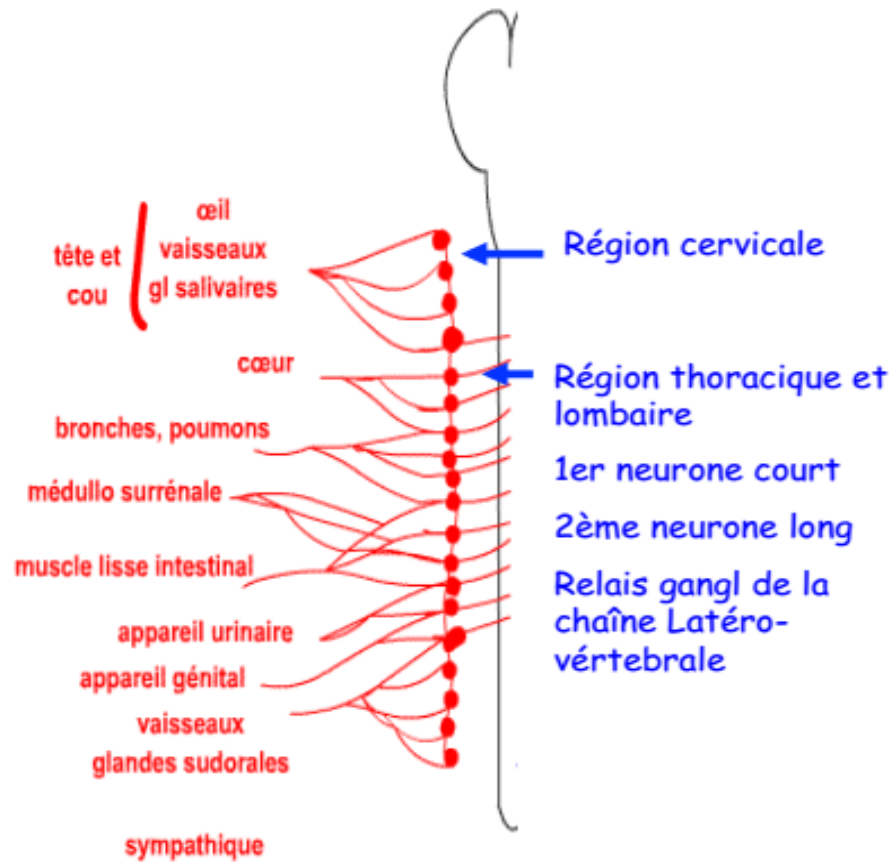
Parmi ses effets:

- L'augmentation de la fréquence cardiaque et respiratoire.
- L'élévation de la pression artérielle.
- L'augmentation du taux de glucose et de la transpiration.
- La dilatation des pupilles et des bronchioles.

Versant sympathique

organisation anatomique

schéma anatomique de l'innervation végétative



voie efférente sympathique

voie efférente sympathique

2 neurones: premier neurone court
deuxième neurone long

Les neurotransmetteurs impliqués dans le système sympathique sont: l' **acétylcholine** par le neurone préganglionnaire et la **noradrénaline** par le neurone postganglionnaire)



Comparaison des systèmes endocrine et nerveux

Caractéristiques	Système endocrine	Système nerveux
Anatomie	dispersion des organes endocrines pas de lien anatomique avec cellules cibles	"câblé"; lien fonctionnel entre les neurones et les cellules cibles; continuité fonctionnelle
Messenger chimique	Hormone sécrétée dans le sang	Neurotransmetteur libéré dans la fente synaptique
Diffusion	longue; transportées par le sang	très court; diffusion dans la fente synaptique
Spécificité d'action	récepteurs spécifiques au niveau de cellules cibles	récepteurs spécifiques au niveau de cellules cibles
Vitesse de réponse	lente - minutes à heures	rapide - millisecondes
Durée d'action	longue-minutes à jours	brève (millisecondes)
Fonctions	Contrôles inscrits dans la durée	Coordination de réponses rapides et précises

IV Effets physiologiques des hormones.

Les différents modes d'actions cellulaires présentés ci-dessus permettent aux hormones d'influer sur les grandes fonctions physiologiques.

Les principales influences hormonales sont répertoriées à l'aide du tableau suivant (tableau 2) :

Hormones	Principales cibles	Principales Actions
Ocytocine	Utérus et glandes mammaires	Contractions utérines et excrétion du lait
Vasopressine	Reins	Stimule la réabsorption de l'eau
CRH	Adénohypophyse	Stimulation de la sécrétion d'ACTH
GnRH	"	Stimulation de la sécrétion de FSH et LH
GHRH	"	Stimulation de la sécrétion de GH
GHIH	"	Inhibition de la sécrétion de GH et TRH
TRH	"	Stimule la sécrétion de TSH et prolactine
ACTH	Cortico-surrénales	Stimulation de la sécrétion des stéroïdes

Hormones	Principales cibles	Principales Actions
FSH	Gonades	Stimule la reproduction et la sécrétion des hormones sexuelles
LH	"	"
TSH	Thyroïde	Stimulation de la sécrétion de T3 et de T4
GH	Os et autres tissus	Stimule la croissance et le métabolisme énergétique
MSH	Mélanocytes	Pigmentation cutanée
Prolactine	Seins	Développement des seins et synthèse du lait
Insuline	Muscles, foie, tissu adipeux	Stimule le stockage et l'utilisation cellulaire du glucose
Glucagon	Nombreux type cellulaires	Stimule le déstockage du glucose
Parathormone	Os et reins	Homéostasie Ca ⁺⁺
Calcitonine	Os	Calcification, homéostasie Ca ⁺⁺

Hormones	Principales cibles	Principales Actions
CCK	Appareil digestif	Stimule la sécrétion de bile
Entégastrone	"	Inhibe la sécrétion de suc pancréatique
Sécrétine	"	Stimule la sécrétion de suc pancréatique
Gastrine	"	"
NAF	Reins	Contrôle la sécrétion de Na ⁺
EPO	Moelle osseuse	Production de globules rouges
Angiotensine	Reins, surrénales	Contrôle la pression artérielle
Facteurs de croissances	Multiples types cellulaires	Survie, prolifération et différenciation
Minéralocorticoïdes	Reins	Homéostasie Na ⁺ , K ⁺ et H ⁺
Glucocorticoïdes	Muscles, foie, tissu adipeux...	Stimule le métabolisme énergétique
Androgènes	Gonades	Stimule la fonction reproductrice

Hormones	Principales cibles	Principales Actions
Progestérone	Appareils reproducteurs	Maturation et fonctionnement des organes sexuels, caractères sexuels secondaires
Oestrogènes	"	"
Testostérone	"	"
T3	Cerveau, muscles, foie...	Stimule le développement cérébral et le métabolisme énergétique
T4		
Dopamine	Adénohypophyse	Contrôle la production de prolactine
Adrénaline	Muscles, foie, cœur, artères...	Stimule le métabolisme énergétique et la fonction cardiovasculaire
Noradrénaline	"	"
Mélatonine	Cerveau	Rythmes biologiques