

4. HOMÉOSTASIE, SYSTÈME NERVEUX AUTONOME ET SYSTÈME ENDOCRINIEN

- 4.1 Définir et identifier les principales caractéristiques de l'homéostasie (pp. 10-14 [9-12])***
- 4.2 Décrire le système nerveux autonome, et comparer ses divisions sympathique et parasympathique (pp. 603-607 [615-618], 616-625 [626-633])**
- 4.3 Décrire les caractéristiques générales du système endocrinien et des mécanismes hormonaux, et présenter les principales fonctions de l'axe hypothalamo-hypophysaire (pp. 685-702 [695-708])**

* *Les pages entre crochets sont celles de la 5^{ème} édition de Marieb.*

4.1 L'HOMÉOSTASIE

4.1.1 Définition et exemples

Homéostasie (*homoios* = semblable; *stasis* = position)

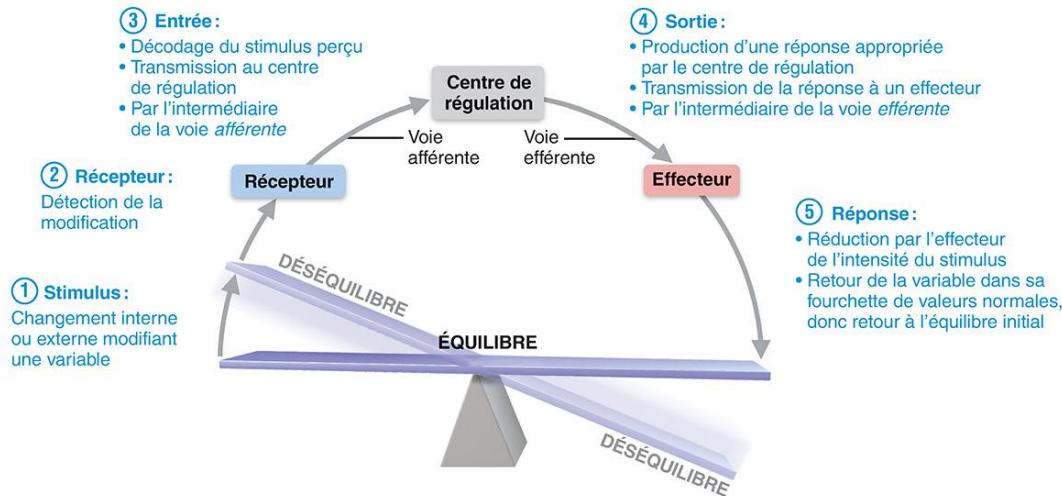
Capacité de maintenir le *milieu interne* relativement stable en dépit des variations de *l'environnement externe* et de l'activité du sujet.

- État d'équilibre dynamique qui fait intervenir des mécanismes complexes de régulation du milieu interne : chimiques, neurologiques, thermiques.
- Exemples de régulation homéostatique :
 - Contrôle de la température corporelle
 - Maintien d'une concentration adéquate des nutriments dans le sang, tel le glucose (*glycémie*: concentration sanguine de glucose)
 - Contrôle de la pression artérielle pour assurer une irrigation adéquate de tous les tissus
 - Maintien des concentrations sanguines des électrolytes (Na^+ , Cl^- , K^+ , Ca^{2+} , ...)
 - Contrôle de la respiration pour assurer une oxygénation adéquate du sang et le maintien du pH sanguin

4.1.2 Décrire les éléments essentiels qui participent aux mécanismes de régulation homéostatique

Variables internes (Facteurs contrôlés)	Représentation schématique de l'homéostasie	Stimulus internes ou externes	Facteurs influant sur les valeurs normales
Exemples Température corporelle Glycémie Pression artérielle Concentration sanguine de différents ions Gaz sanguins artériels (rapport O ₂ /CO ₂)	Équilibre dans une fourchette de valeurs normales (minimales à maximales) 	Exemples Manque d'O ₂ (hypoxémie) Hausse ou baisse de la température corporelle Faim ou soif Excès ou manque de sels minéraux Blessure Stress	Exemples Âge Sexe Hérédité Sédentarité Habitudes de vie Problèmes de santé préexistants

(a) Paramètres de l'homéostasie : variables internes dont les valeurs normales fluctuent selon les stimulus reçus par l'organisme.



(b) La communication entre les éléments d'un mécanisme de régulation permet de maintenir la stabilité d'une variable interne dont la valeur a été modifiée.

Figure 1.5 Régulation de l'homéostasie.

- **Variable** : facteur à contrôler
- Trois éléments interdépendants assurent le contrôle de la variable :
 - (i) **Récepteur** : répond aux changements (**stimulus**) de la variable en envoyant l'information au centre de régulation.
 - (ii) **Centre de régulation** :
 - Détermine la **valeur de référence** de la variable contrôlée.
 - Compare cette valeur à l'information reçue (**entrée** = “*input*”).
 - Détermine la réaction appropriée en envoyant un signal (**sortie** = “*output*”) à l'effecteur.
 - (iii) **Effecteur** : système qui peut ramener la variable au niveau souhaité.
- **Voie afférente** : voie des informations du récepteur au centre de régulation
- **Voie efférente** : voie des informations du centre de régulation à l'effecteur

4.1.3 Distinguer entre rétro-inhibition et rétroactivation

RÉTROACTION (“rétrocontrôle”, “feed-back”): système de réactions en boucle dont la réponse modifie la variable contrôlée (c'est-à-dire dont la sortie modifie l'entrée).

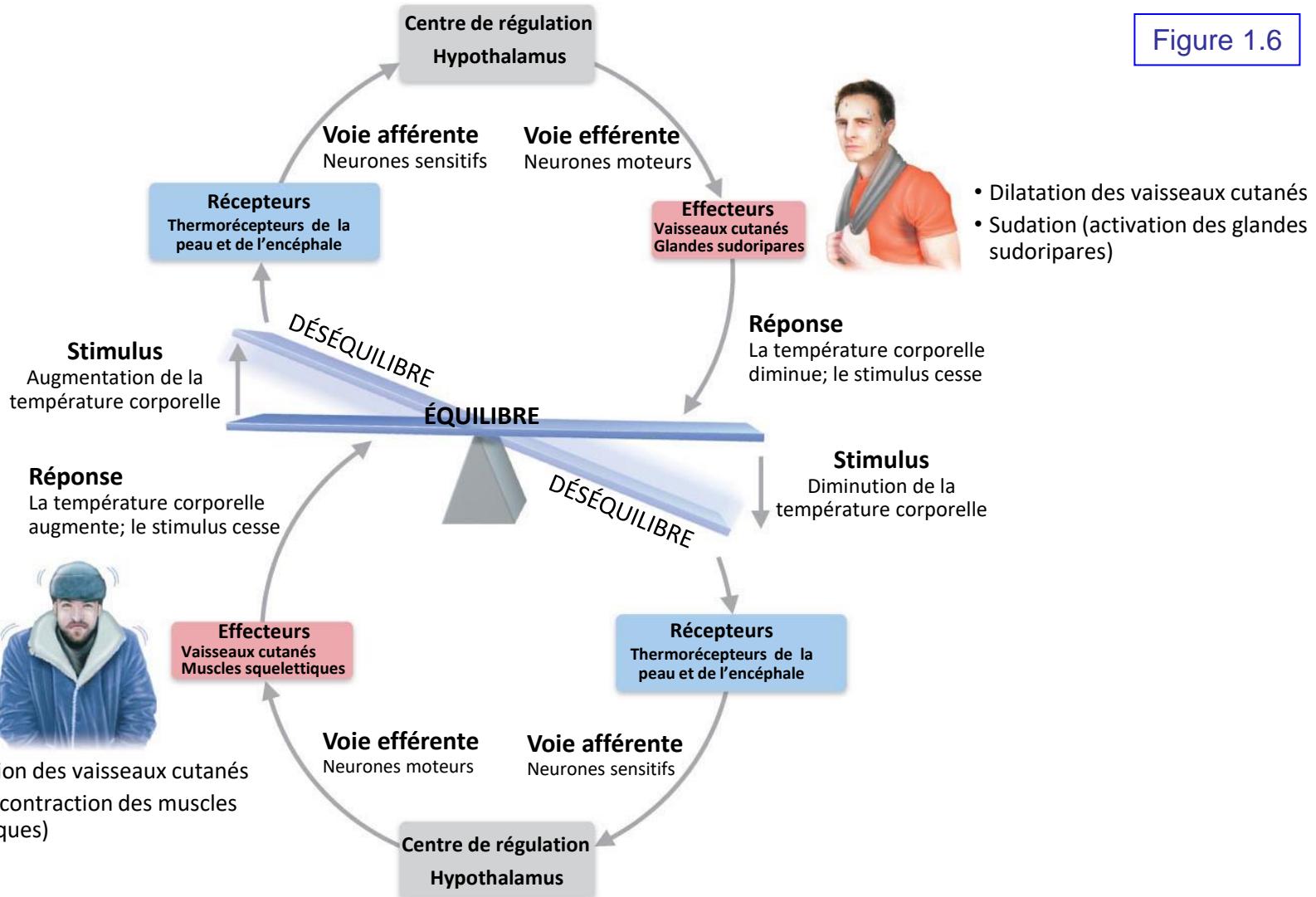
La rétroaction peut être négative (*rétro-inhibition*) ou positive (*rétroactivation*).

i) **RÉTRO-INHIBITION**

- Lorsque la réponse tend à inhiber le stimulus de départ.
⇒ La variable change dans une direction opposée à son changement initial.
- Objectif des systèmes de rétro-inhibition: maintenir le niveau d'une variable dans un intervalle donné; soit empêcher les changements majeurs au sein de l'organisme.
- Les systèmes de rétro-inhibition constituent la très grande majorité des systèmes de régulation homéostatique.
- Exemples :
 1. *Thermorégulation* (régulation de la température corporelle)
 2. *Régulation de l'érythropoïèse* (formation des érythrocytes)

Exemple 1 : Régulation de la température corporelle

Figure 1.6



Exemple 2 : Régulation de l'érythropoïèse

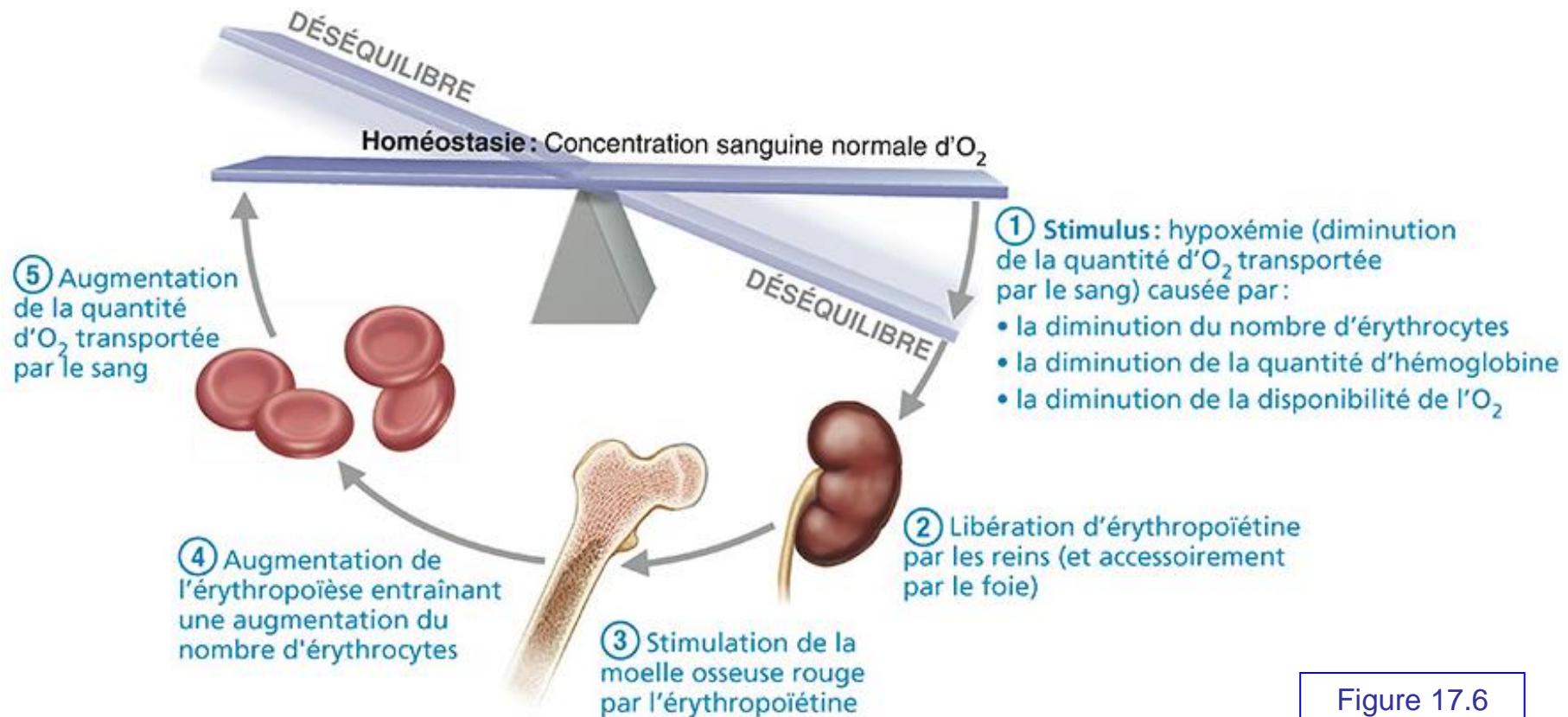


Figure 17.6

ii) RÉTROACTIVATION

- Dans les systèmes de rétroactivation, la sortie amplifie le stimulus initial.
 - ⇒ La variable change dans la même direction que celle du changement initial.
 - ⇒ La variable dévie davantage de sa valeur initiale.
- Très rarement utilisé parce que fondamentalement instable.
- Contrôle des phénomènes peu fréquents qui ne nécessitent pas d'ajustements continus.
- Exemple :
Coagulation sanguine

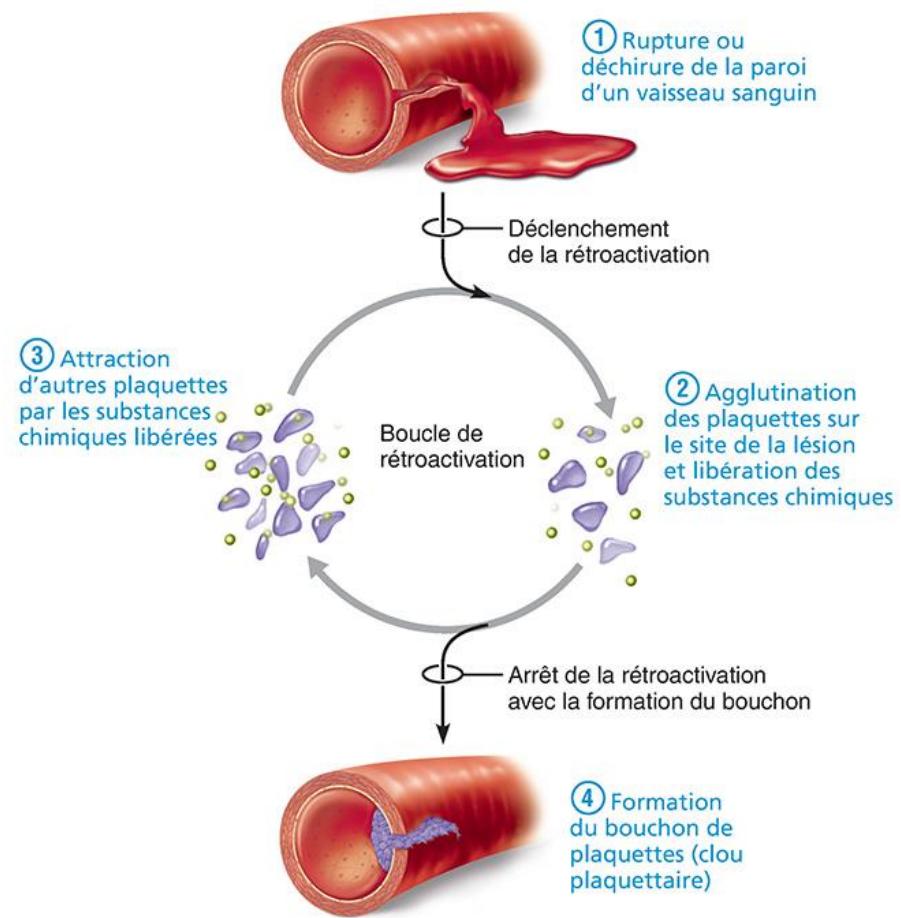


Figure 1.7 Description sommaire du mécanisme de rétroactivation qui régit la formation d'un bouchon de plaquettes (clou plaquettaire).

4.2 LE SYSTÈME NERVEUX AUTONOME

4.2.1 Comparer les systèmes nerveux somatique et autonome

- **Système nerveux somatique :**

- Composé de neurones moteurs qui régissent l'activité des muscles squelettiques.
- *Système nerveux volontaire*

- **Système nerveux autonome (SNA) :**

autos = soi-même; *nomos* = loi
(qui se gouverne avec ses propres lois)

- Composé de neurones moteurs qui régissent principalement l'activité des muscles lisses et cardiaque ainsi que certaines glandes
- Aussi appelé *système nerveux involontaire* (son activité étant généralement inconsciente)
- Divisé en deux parties :
 - Système nerveux sympathique
 - Système nerveux parasympathique

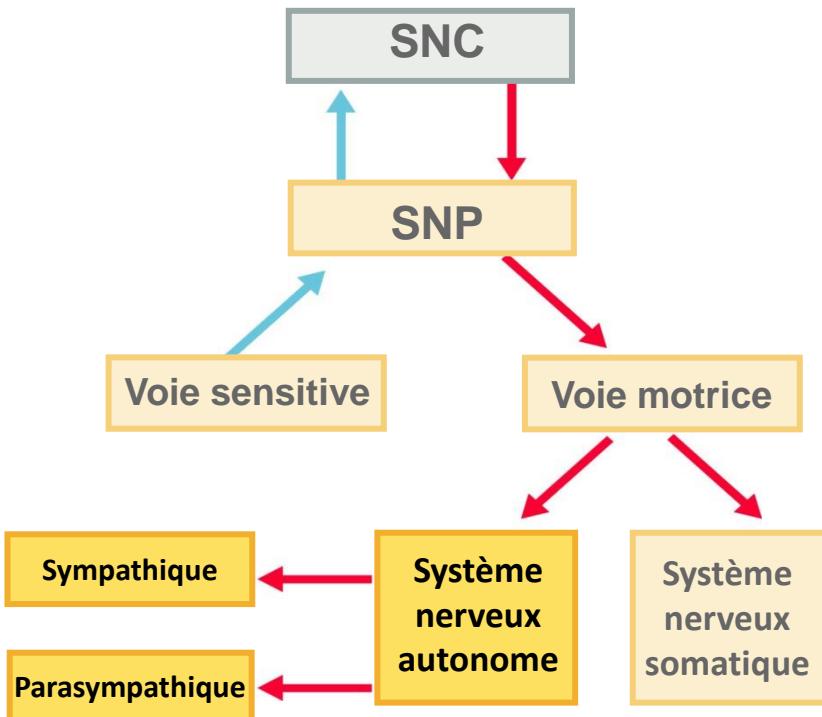
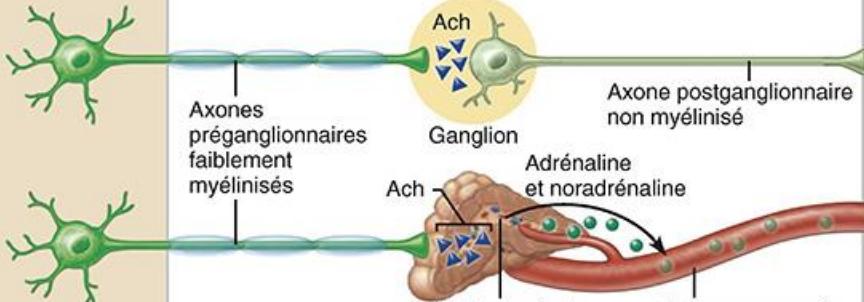
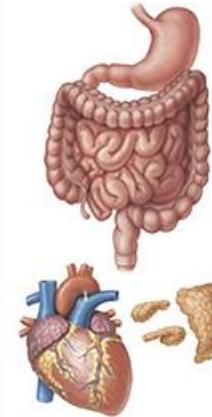
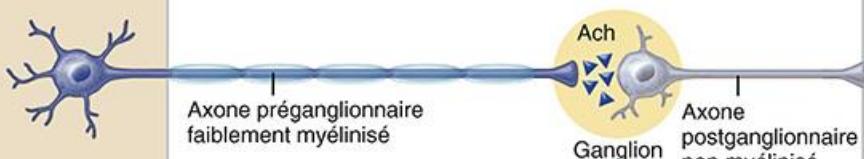
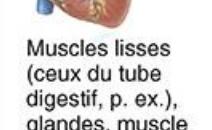


Figure 14.1

- Comparer les systèmes nerveux autonome et somatique en termes de :
 - effecteurs, ii) voies efférentes, iii) effets des neurotransmetteurs

Corps cellulaires dans le système nerveux central	Système nerveux périphérique	Neurotransmetteur de l'effecteur	Organes effecteurs	Effet
SYSTÈME NERVEUX SOMATIQUE	 <p>Neurone simple s'étendant du SNC aux organes effecteurs</p> <p>Axone fortement myélinisé</p>	Ach	 <p>Muscles squelettiques</p>	 Stimulant
SYSTÈME NERVEUX AUTONOME	 <p>Chaîne de deux neurones s'étendant du SNC aux organes effecteurs</p> <p>Axonos préganglionnaires faiblement myélinisés</p> <p>Ganglion</p> <p>Ach</p> <p>Axone postganglionnaire non myélinisé</p> <p>Adrérenaline et noradrénaline</p> <p>Médulla surrénale</p> <p>Vaisseau sanguin</p>	NA		 Stimulant ou inhibiteur, en fonction du neurotransmetteur et des récepteurs des organes effecteurs
PARASYMPATHIQUE	 <p>Axone préganglionnaire faiblement myélinisé</p> <p>Ganglion</p> <p>Ach</p> <p>Axone postganglionnaire non myélinisé</p>	Ach	 <p>Muscles lisses (ceux du tube digestif, p. ex.), glandes, muscle cardiaque</p>	

▲ Acétylcholine (Ach) ● Noradrénaline (NA)

Figure 14.2

i. Effecteurs :

- **Somatique** : muscles squelettiques
- **SNA** : muscles lisses, muscle cardiaque, glandes

ii. Voies efférentes et ganglions : (*ganglion* = regroupement de corps cellulaires dans le SNP)

- **Somatique**: neurone dont le corps cellulaire est situé dans le SNC, et l'axone fait synapse avec le muscle squelettique (absence de ganglions).
Axones généralement épais et fortement myélinisés → conduction rapide de l'influx nerveux.
- **SNA** : chaînes de deux neurones moteurs
 - **Neurone préganglionnaire** : corps cellulaire situé dans le SNC; axone fait synapse avec le 2^{ème} neurone (postganglionnaire) dans un ganglion autonome.
 - **Neurone postganglionnaire** : corps cellulaire situé dans le ganglion; axone fait synapse avec l'organe effecteur.

Conduction lente: axones minces qui ne sont que faiblement myélinisés (axones préganglionnaires) ou amyélinisés (axones postganglionnaires)

iii. Effets des neurotransmetteurs :

- **Somatique** : tous les neurones moteurs somatiques libèrent de l'ACh, et l'effet est toujours excitateur.
- **SNA** :
 - **Préganglionnaire**: toujours ACh (exciteur, récepteurs nicotiniques)
 - **Postganglionnaire**: généralement **NA** par les neurones **sympathiques**; toujours **ACh** par les neurones **parasympathiques** (récepteurs muscariniques); effets peuvent être excitateurs ou inhibiteurs selon le type de récepteurs sur l'organe cible.

4.2.2 Comparer les systèmes parasympathique et sympathique

A) Fonctions

- **Système nerveux parasympathique :**

- Stimule les fonctions qui économisent et restaurent l'énergie en situation de repos : favorise la digestion et l'absorption des aliments, ralentit les fonctions physiologiques associés à l'exercice.
- Favorise l'élimination des déchets (défécation, miction)
- Sa fonction est bien illustrée chez une personne qui relaxe après un repas :
 - Activité gastro-intestinale est élevée
 - Fréquences cardiaque et respiratoire lentes, pupilles en constriction
- «**Système D**» : détente, digestion, défécation, diurèse

- **Système nerveux sympathique :**

- Actif en période de stress physique ou psychologique; prépare les réactions “**de lutte ou de fuite**”, important aussi durant l'effort physique.
- Son activité est bien illustrée chez une personne qui est menacée :
 - Rythme cardiaque augmente, respiration devient rapide et profonde
 - La peau est froide et moite, les pupilles sont dilatées
- «**Système E**» : exercice, excitation, embarras

La muscarine est une toxine produite par certains types de champignon (dont les inocybes retrouvés dans nos régions !)
Prédisez et expliquez les principaux effets d'une intoxication à de tels champignons.

• Rôles exclusifs du système nerveux sympathique

- Plusieurs fonctions ne sont contrôlées que par le système sympathique (plusieurs organes étant dépourvus d'innervation parasympathique).
- Organes dont l'innervation parasympathique est minimale ou absente :
 - ✓ La médulla surrénale (qui libère de l'adrénaline et de la noradrénaline)
 - ✓ Les glandes sudoripares
 - ✓ Les reins, le foie, le tissu adipeux
 - ✓ La plupart des vaisseaux sanguins
- Fonctions dont l'influence du système nerveux autonome ne se fait que par le système sympathique :
 - ✓ La thermorégulation
 - ✓ La libération de rénine (une hormone qui élève la pression sanguine) des reins, des catécholamines de la médulla surrénale
 - ✓ Divers effets métaboliques

B) Tonus sympathique et parasympathique

- **Tonus sympathique :**

Activité soutenue de certaines voies sympathiques qui maintiennent les vaisseaux sanguins dans un état de constriction partielle.

→ Une **vasodilatation** est obtenue par une diminution du tonus sympathique

→ Une **vasoconstriction** est obtenue par une augmentation du tonus sympathique

- **Tonus parasympathique :**

Activité soutenue de voies parasympathiques qui assurent le maintien de certaines fonctions durant les périodes de repos, telles une faible fréquence cardiaque et l'activité du système digestif.

→ En absence de tonus parasympathique, le cœur bat plus rapidement et les fonctions digestives sont ralenties.

→ Les effets du tonus parasympathique peuvent être rapidement annulés par le système sympathique en situation d'urgence.

Qu'est-ce que le tonus vagal ? Pourquoi l'appelle-t-on ainsi ?

C) Niveaux de régulation du système nerveux autonome dans le SNC

Trois principaux niveaux de régulation :

i. Tronc cérébral et moelle épinière

Exemples de centres de régulation dans le tronc cérébral: **centre cardiovasculaire** ; **centres respiratoires**

ii. Hypothalamus

Hypothalamus = principal centre d'intégration du SNA

Il contient des centres qui coordonnent :

- Activité cardiaque et pression sanguine
- Température corporelle, équilibre hydrique, activités endocriniennes
- Émotions (colère, plaisir) et pulsions (faim, soif, sexe)
- Réactions de “lutte et fuite”

iii. Cortex cérébral (région de la volonté)

Ex. : méditation & méthodes de rétroaction permettent un certain contrôle conscient des activités viscérales

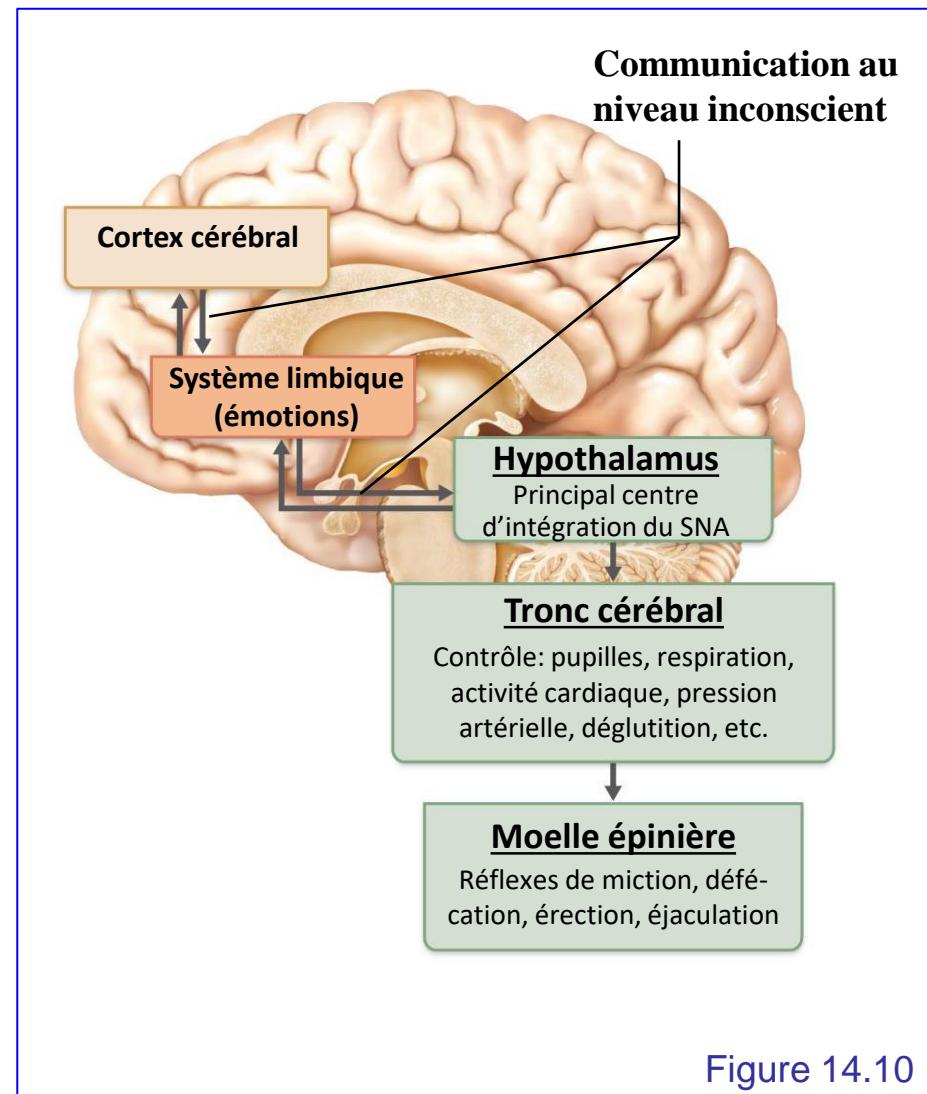


Figure 14.10

4.3 LE SYSTÈME ENDOCRINIEN

4.3.1 Glandes endocrines

Produisent et libèrent des *hormones* dans la circulation.

- **Glandes strictement endocrines :**

- Corps pinéal
- Hypophyse
- Glande thyroïde
- Glandes parathyroïdes
- Thymus
- Glandes surrénales

- **Glandes mixtes (endocrines et exocrines) :**

- Pancréas
- Gonades (ovaire, testicule)

- **Organe neuro-endocrinien :**

- Hypothalamus

- **Plusieurs autres tissus et organes libèrent aussi des hormones.** Ex. :

- Reins (rénine, érythropoïétine...)
- Cœur (facteur natriurétique auriculaire)
- Estomac, intestin
- Tissu adipeux, tissu endothérial
- etc...

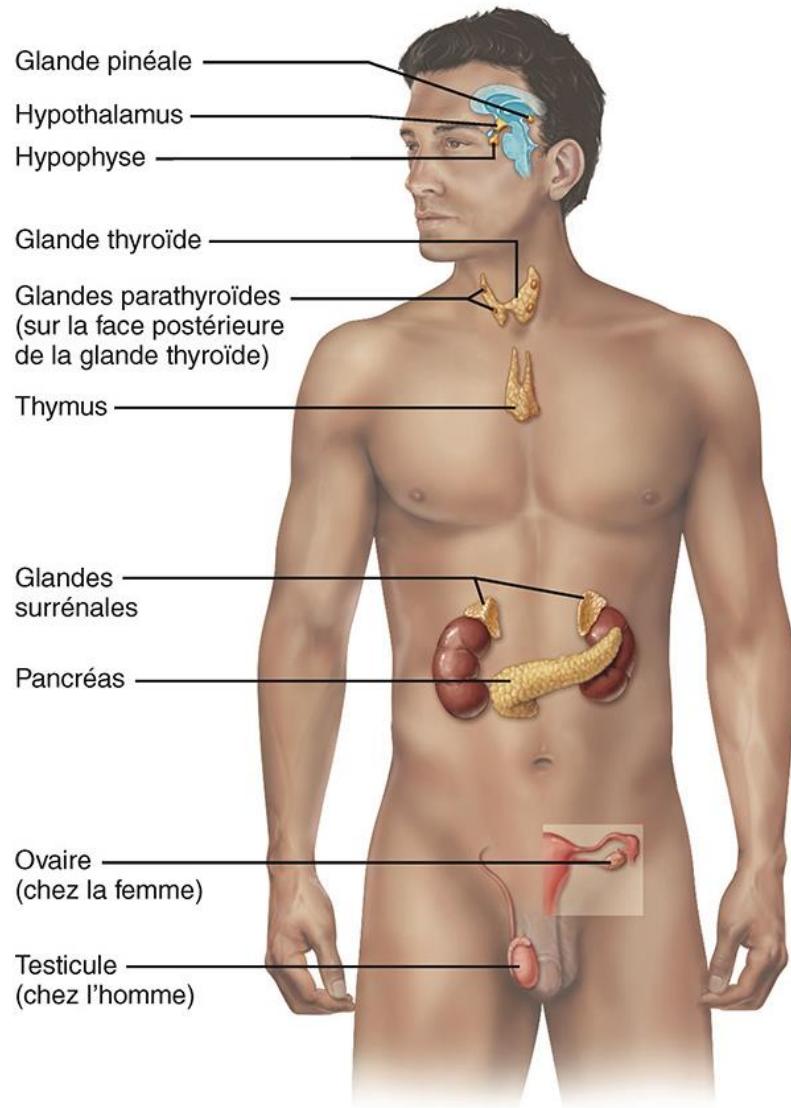


Figure 16.1

4.3.2 Les hormones

A) Définitions

B) Classification chimique des hormones

C) Mécanismes de l'action hormonale

- i. L'action des hormones hydrosolubles
- ii. L'action des hormones liposolubles

D) Régulation de la libération des hormones

E) L'axe hypothalamo-hypophysaire

- i. Anatomie de l'hypophyse
- ii. Hormones de la neurohypophyse
- iii. Hormones de l'adénohypophyse
- iv. Régulation des hormones de l'adénohypophyse

4.3.2 Les hormones

A) Définitions

- Hormones circulantes (endocrines)

Messagers chimiques déversés dans le sang et transportés dans tout l'organisme.

- Hormones locales

- *Hormones paracrines* : agissent localement sur des cellules situées près des cellules qui libèrent ces messagers. Ex.: le NO libéré par les cellules endothéliales agit sur les muscles lisses avoisinants.
- *Hormones autocrines* : ont pour cible la cellule même qui les a sécrétées.

B) Classification chimique des hormones

- Hormones dérivées d'acides aminés

- *Amines* (contiennent un groupement $-NH_2$)

Ex.: adrénaline, sérotonine, histamine, hormones thyroïdiennes.

- *Peptides* (3 à 49 acides aminés) et *protéines* (50 et plus acides aminés)

Ex.: Hormone antidiurétique (peptide), insuline, hormone de croissance (protéines).

– À l'exception des hormones thyroïdiennes, toutes ces hormones sont hydrosolubles.

- Hormones stéroïdes

- Synthétisées à partir du cholestérol. Toutes ces hormones sont liposolubles.

Ex.: hormones *gonadiques* (testostérone, œstrogènes, ...), certaines hormones des *glandes surrénales* (aldostérone, cortisol).

- Eicosanoïdes

- Hormones locales dérivées de phospholipides. Ex. : prostaglandines

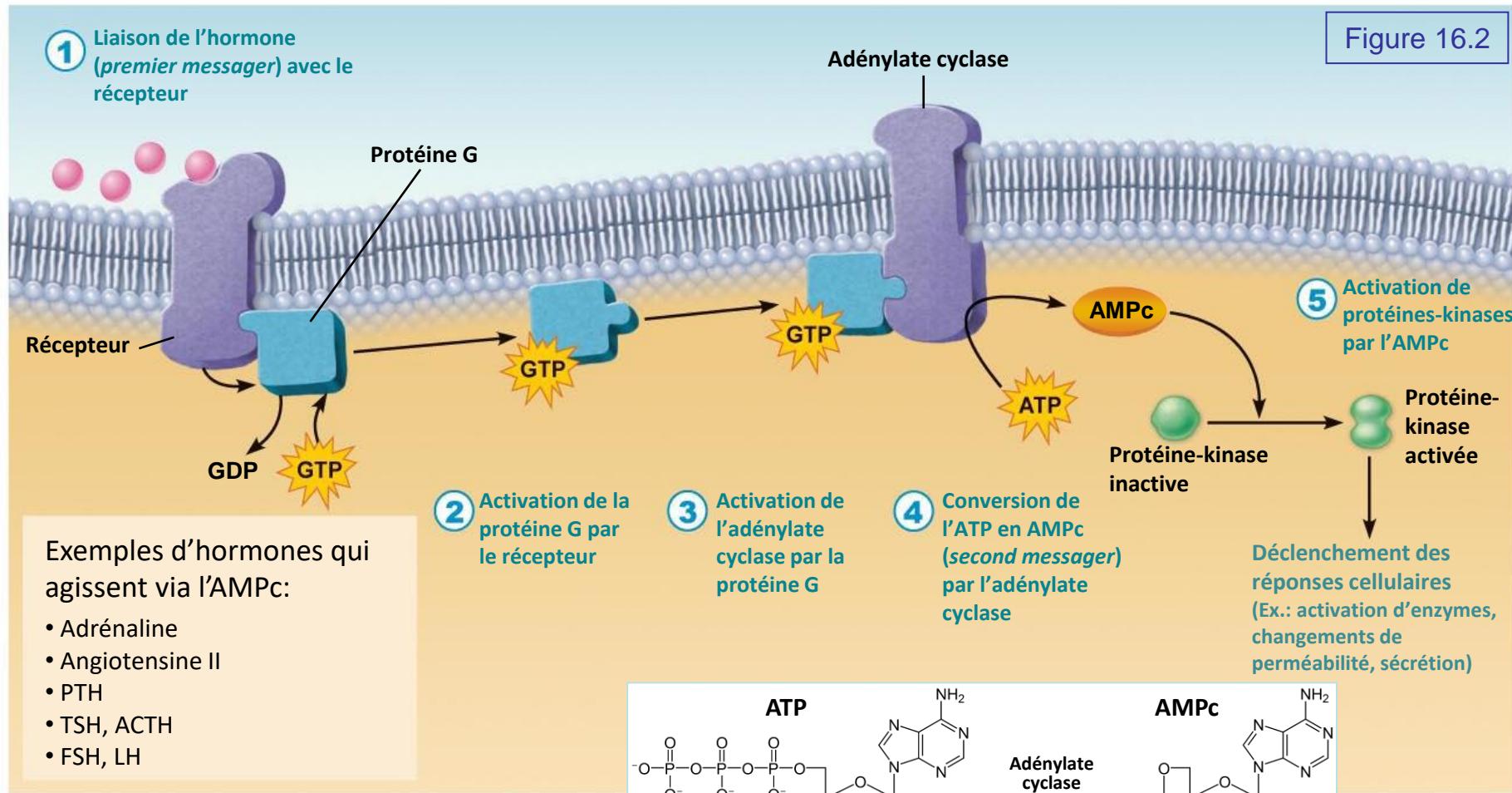
C) Mécanismes de l'action hormonale

- Une hormone donnée agit spécifiquement sur des *cellules cibles*.
- Effets possibles d'une hormone sur ses cellules cibles :
 - ✓ Modification de la perméabilité membranaire à certains solutés (ex.: glucose, acides aminés, ions, ces derniers entraînant une modification du potentiel de membrane)
 - ✓ Activation ou inhibition d'enzymes
 - ✓ Synthèse de protéines
 - ✓ Sécrétion
 - ✓ Stimulation de la division cellulaire
- L'action d'une hormone est déclenchée par sa liaison avec des *récepteurs* de la cellule cibles.
- Deux grands types de mécanismes d'action, selon que l'hormone est hydrosoluble ou liposoluble :
 - i. **Hormones hydrosolubles** : se lient à des récepteurs de la membrane plasmique des cellules cibles.
 - ii. **Hormones liposolubles** : se lient à des récepteurs situés à l'intérieur des cellules cibles.

i. L'action des hormones hydrosolubles

Se fait par l'intermédiaire de **seconds messagers** produits suite à la liaison hormone-récepteur.

Exemple : l'AMP cyclique (AMPC) comme second messager



© Yikrazuul, Wikimedia

https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Adenylate_cyclase#/media/File:Adenylate_kinase.png

ii. L'action des hormones liposolubles

Ces hormones traversent la membrane plasmique et se lient à des récepteurs situés dans le cytosol ou le noyau.

Le complexe hormone-récepteur interagit avec l'ADN du noyau et déclenche la synthèse de protéines.

Exemple :
les hormones stéroïdes

Si l'on compare l'action des hormones hydrosolubles à celles liposolubles, lesquelles sont les mieux adaptées pour :

- a) une réponse rapide ?
- b) une réponse prolongée ?

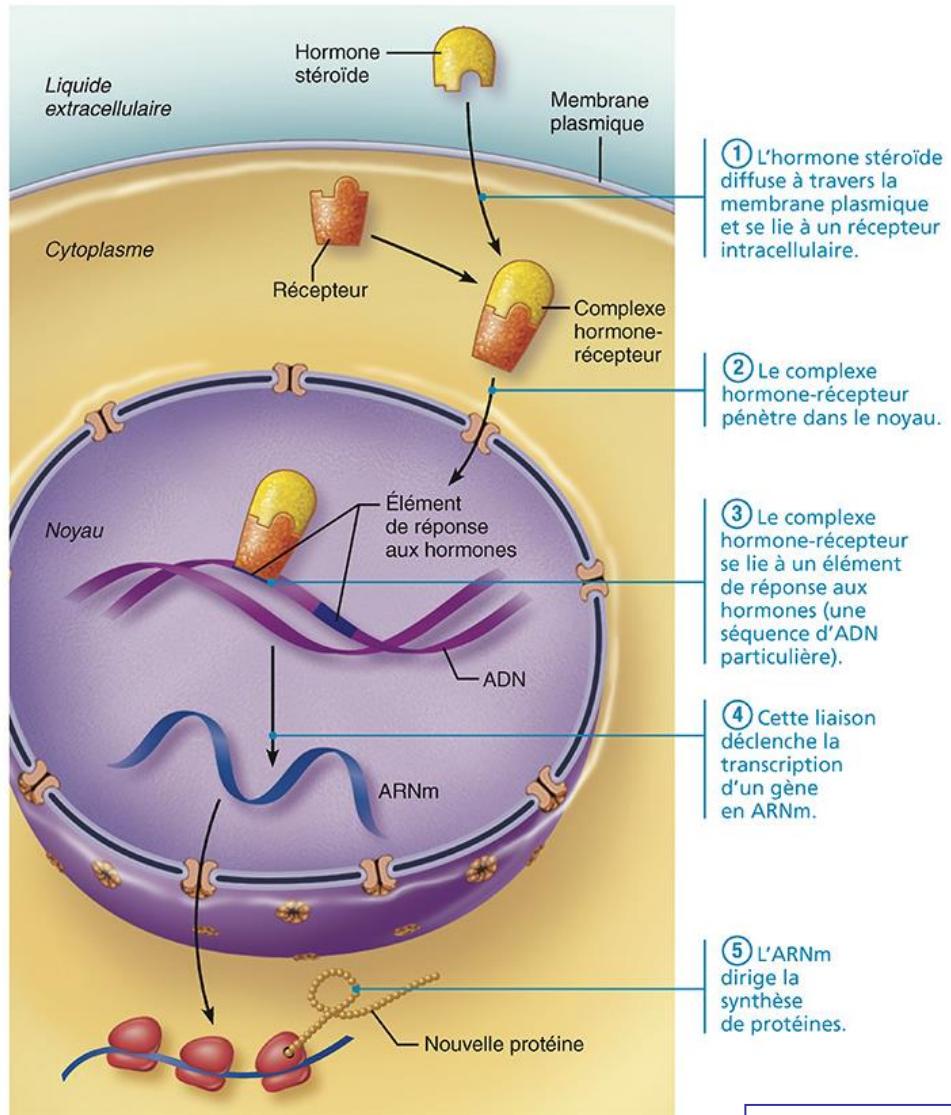


Figure 16.3

D) Régulation de la libération des hormones

Trois types majeurs de stimulus : • Stimulus humoraux • Stimulus nerveux • Stimulus hormonaux

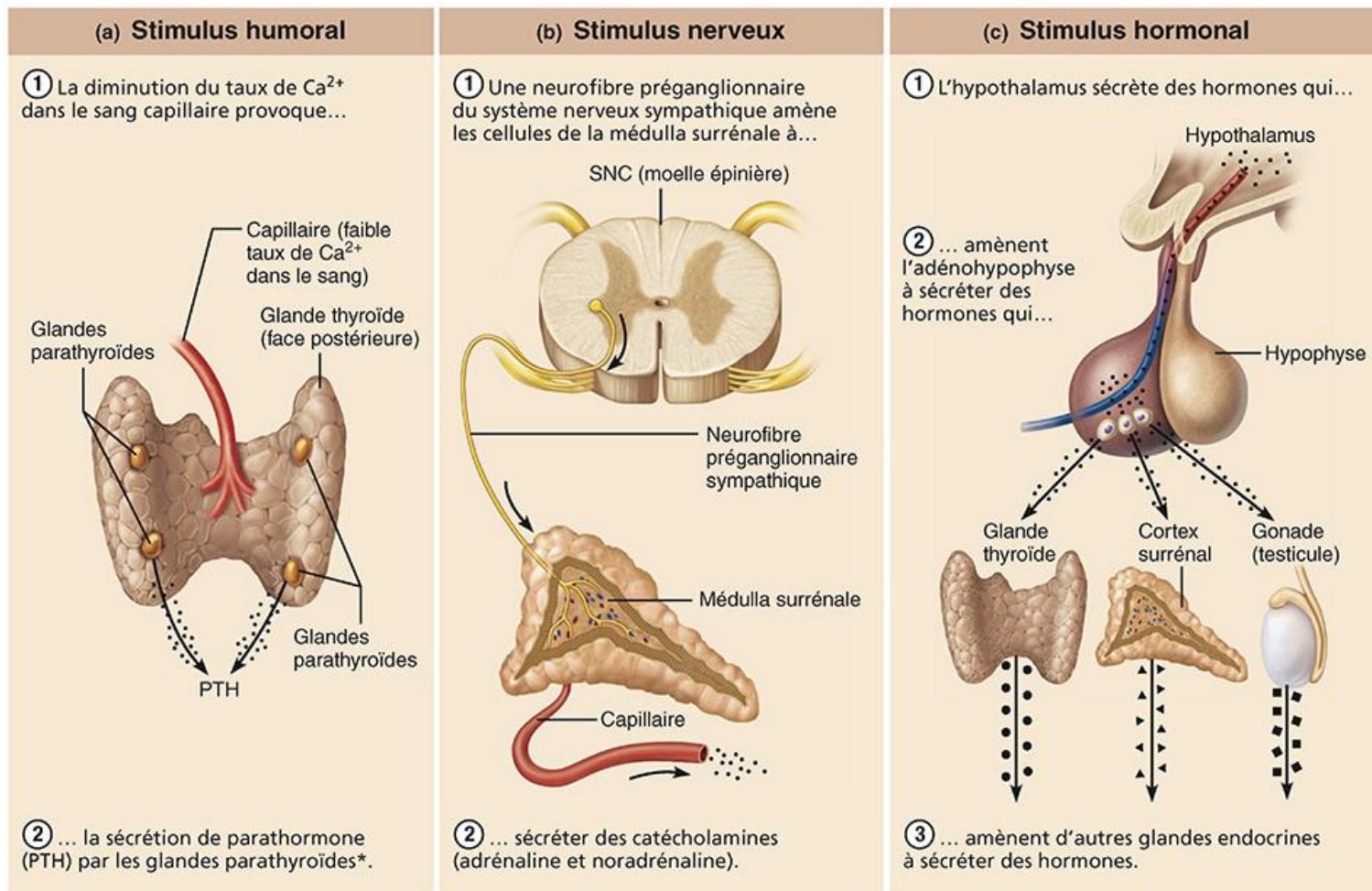


Figure 16.4 Trois types de stimulus agissant sur les glandes endocrines.

* La PTH augmente le taux de Ca^{2+} dans le sang (figure 16.12).

E) L'axe hypothalamo-hypophysaire

"Zoom" 16.2

i. Anatomie de l'hypophyse

Petite structure en forme de pois (1-1,5 cm) ; reliée à l'hypothalamus par une tige, l'*infundibulum*.

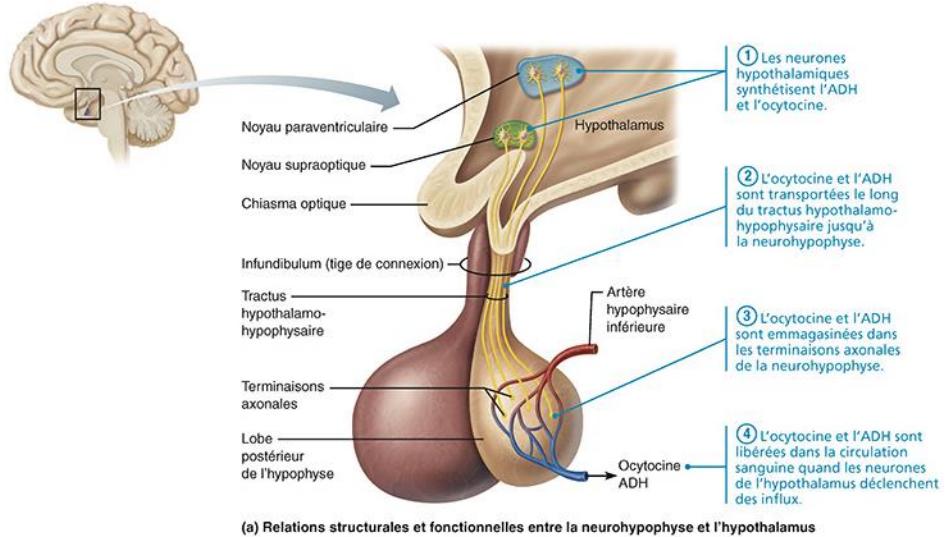
Constituée de deux lobes :

- **Lobe postérieur (25%) = Neurohypophyse**

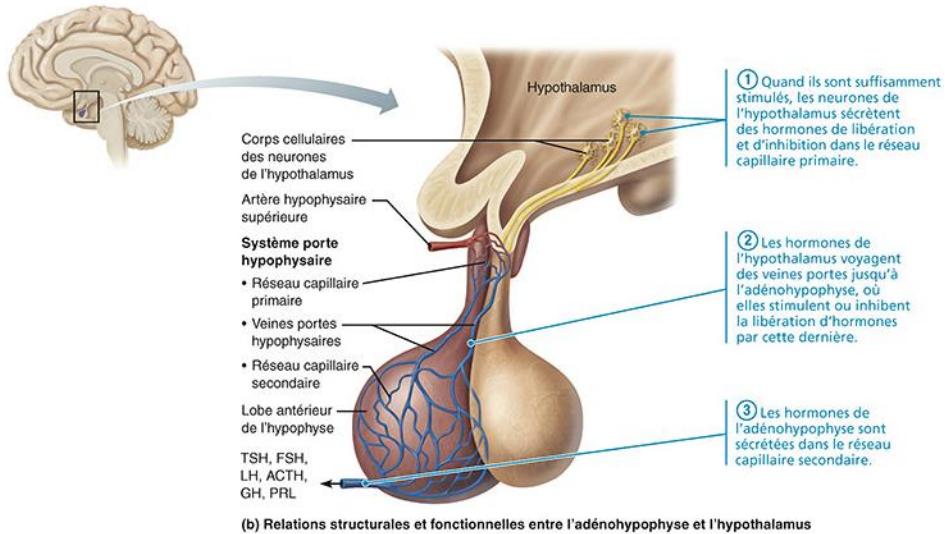
- Composé principalement de tissu nerveux
- Contient des terminaisons axonales dont les corps cellulaires sont situés dans l'hypothalamus. Leurs axones forment le *tractus hypothalamo-hypophysaire* de l'infundibulum.

- **Lobe antérieur (75%) = Adénohypophyse**

- Composé principalement de tissu glandulaire qui produit et libère des hormones.
- Reliée à l'hypothalamus par le *système porte hypothalamo-hypophysaire*, où le sang passe des capillaires de l'hypothalamus dans les veines portes qui le transportent vers les capillaires de l'hypophyse.



(a) Relations structurales et fonctionnelles entre la neurohypophyse et l'hypothalamus



(b) Relations structurales et fonctionnelles entre l'adénohypophyse et l'hypothalamus

ii. Hormones de la neurohypophyse

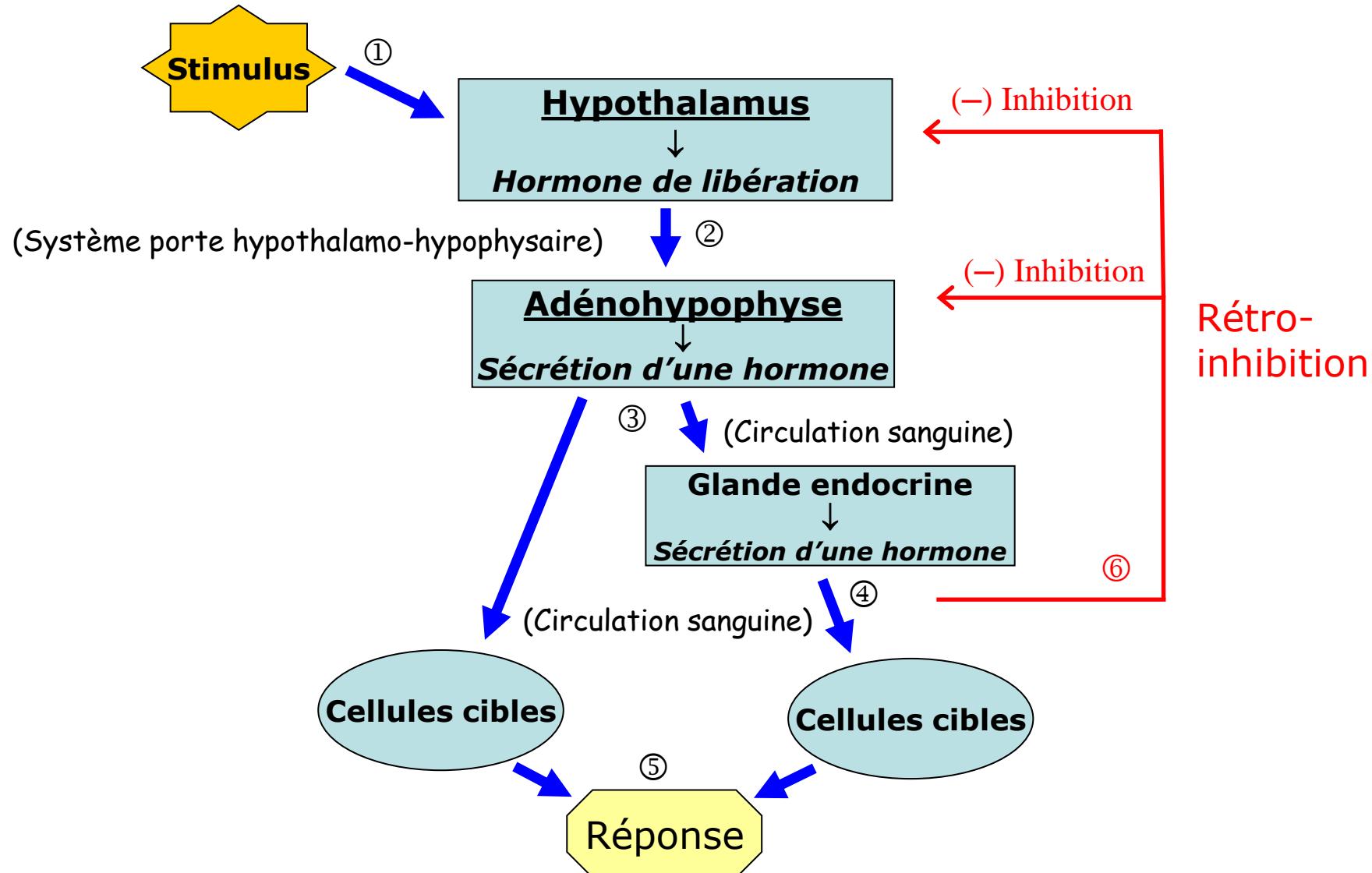
- Produites par des neurones dont les corps cellulaires sont dans l'hypothalamus.
- Produites dans les corps cellulaires, emballées dans des vésicules et acheminées à l'intérieur des axones du tractus hypothalamo-hypophysaire jusqu'à leurs terminaisons situées dans la neurohypophyse.
- Libérées dans la circulation sanguine par les influx nerveux qui déclenchent l'exocytose.
- Deux hormones produites par deux types différents de neurones :
hormone antidiurétique et ***ocytocine***

	Principaux effets	Régulation de la sécrétion
<i>Hormone antidiurétique (ADH)</i>	<ul style="list-style-type: none">▪ Reins : conserve l'eau du corps en stimulant la réabsorption de l'eau par les reins▪ Vaisseaux sanguins : augmente la pression sanguine par constriction des vaisseaux sanguins	Contrôlée par des osmorécepteurs dans l'hypothalamus, lesquels font synapse avec les neurones qui sécrètent l'ADH. Libérée lors de l'élévation de l'osmolarité sanguine ou de la diminution de la pression sanguine. Inhibée par des effets opposés. → Rétro-inhibition
<i>Ocytocine</i>	<ul style="list-style-type: none">▪ Utérus : stimule la contraction des muscles lisses de l'utérus▪ Seins : stimule l'éjection du lait	Libérée en réponse à la stimulation par des influx nerveux générés lors de la distension de l'utérus et lors de la succion → Rétroactivation

iii. Hormones de l'adénohypophyse

- Produites par des cellules dérivées de tissus épithéliaux (et non des neurones).
- Libérées suite à un stimulus hormonal (et non nerveux).
 - Les **hormones de libération** proviennent de l'hypothalamus et acheminées jusqu'à l'adénohypophyse via le système porte hypothalamo-hypophysaire.
- Six principales hormones (appelées « stimulines » ou « trophines ») sont libérées par six types de cellules:
 - **Hormone de croissance (GH)** : favorise la croissance des cellules du corps, la synthèse des protéines, la réparation des tissus, la mobilisation des lipides.
 - **Thyréotrophine (TSH)** : cause la libération des hormones thyroïdiennes par la glande thyroïde
 - **Corticotrophine (ACTH)** : cause la libération des hormones du cortex surrénal (en particulier le cortisol)
 - **Gonadotrophines (LH et FSH)** : régissent le fonctionnement des gonades (ovaires et testicules)
 - **Prolactine (PRL)** : stimule la fabrication de lait par les glandes mammaires

iv. Régulation des hormones de l'adénohypophyse



- ① Stimulus: entraîne l'activation des neurones de l'hypothalamus qui sécrètent des hormones de libération (ou selon le cas, des hormones d'inhibition).
- ② L'hormone sécrétée est transportée dans le système porte hypothalamo-hypophysaire jusqu'à l'adénohypophyse.
- ③ Sécrétion de l'hormone adénohypophysaire dans la circulation sanguine. L'hormone peut agir directement sur des tissus cibles ou, plus souvent, sur une glande endocrine (glande thyroïde, cortex surrénal, gonades)
- ④ La glande endocrine activée par l'hormone adénohypophysaire libère à son tour ses hormones.
- ⑤ Les hormones, qu'elles proviennent de l'adénohypophyse ou de glandes endocrines, engendrent les réponses de leurs cellules cibles.
- ⑥ L'augmentation de la concentration sanguine d'hormone inhibe l'hypothalamus et/ou l'adénohypophyse. (Inversement, une diminution de la concentration sanguine de l'hormone aurait un effet stimulateur)
C'est un mécanisme de rétro-inhibition qui assure un contrôle du taux sanguin de l'hormone.