

# Motilité, transport d'eau et flore digestive



**Pr Charna DIBNER, PhD**

Département de Chirurgie/ Département de Physiologie Cellulaire et Métabolisme

30.01.2026

# Motilité, transport d'eau et flore digestive

*Crédit pour les diapositives:*

**Pr Marc Chanson, Dr Thierry Brun, Pr Mirko Trajkovski**

*References:*

**Kierszenbaum AL, Trèz L. Histology and cell biology**

**Bruce M. Koeppen, Bruce A. Stanton Berne & Levy Physiology**

**Guyton & Hall Textbook of Medical Physiology**

# Objectifs d'apprentissage

Dans ce cours, nous traitons de **la motilité, du transport d'eau et de la flore digestive** en abordant les différents segments suivants:

- L'organisation et la régulation de la motilité du système digestif
- Bilan absorption/sécrétion ; bilan hydrique ; mécanismes du transport d'eau et d'électrolytes
- Introduction au microbiote

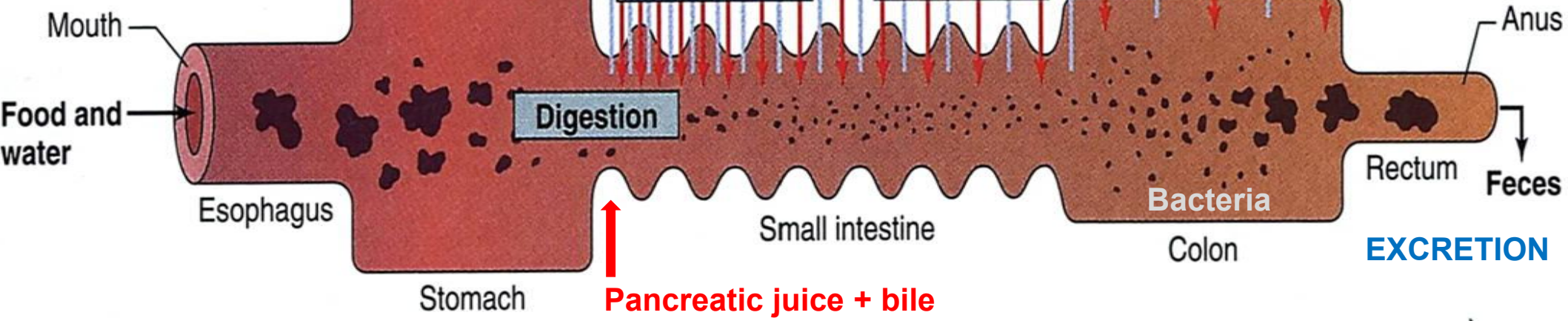


# Fonctions principales du TD



- Lipides
- Protéines
- Glucides

## INGESTION



Motility



## EXCRETION

# Plan du cours: Le système digestif

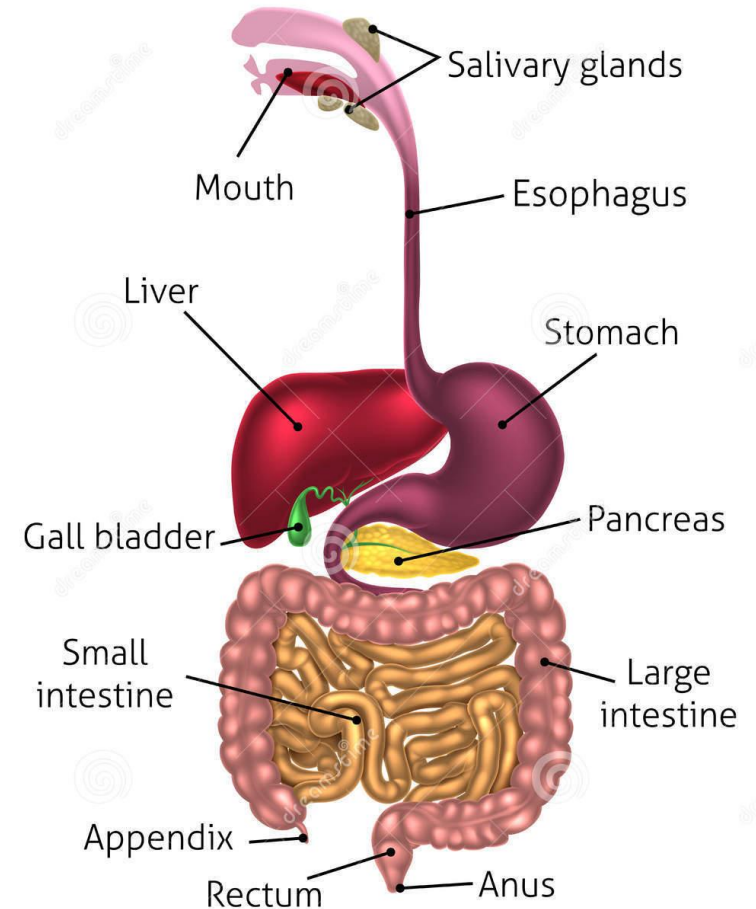
Modification fonctionnelle de la paroi du tube digestif

Les glandes annexes et leurs sécrétions

Mécanistique et régulation de la motilité

Transports ioniques: généralités

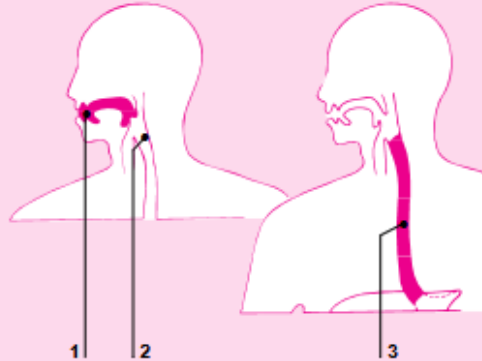
Flore microbienne: introduction



# Combien de temps la nourriture met-elle à traverser le système digestif?

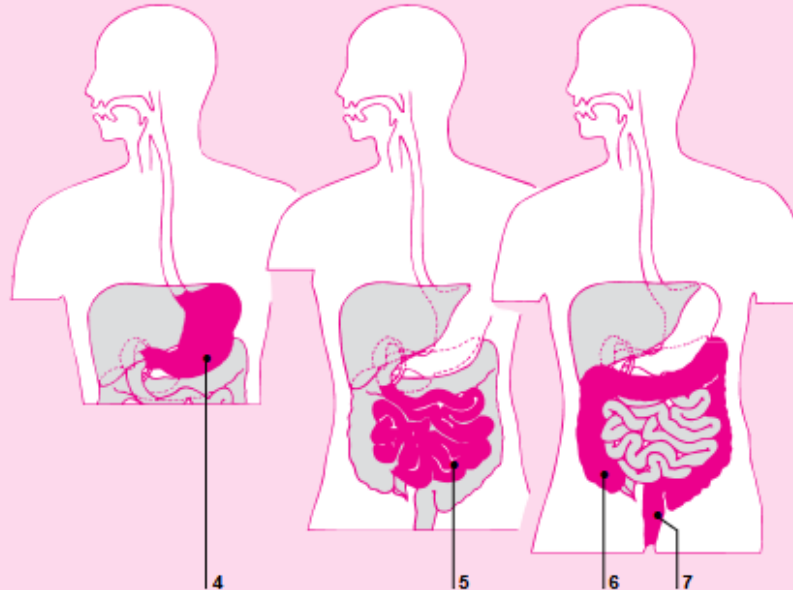
## Journey time

It takes most food a total of about 24 hours to pass through the digestive system. Some foods, especially liquids, move faster, and others more slowly.



## How long food takes to pass through the system

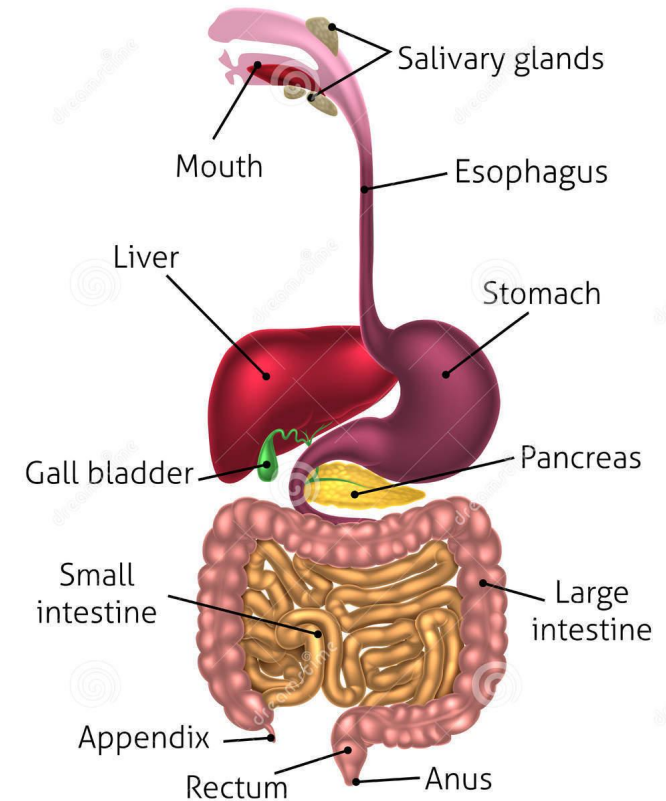
Organ	Time taken
1 Mouth	under voluntary control (usually minutes)
2 Pharynx	1-2 seconds
3 Esophagus	5-10 seconds (solids) 1 second (liquid)
4 Stomach	2-6 hours
5 Small intestine	1-6 hours
6 Large intestine	10-24 hours
7 Rectum	under voluntary control





# La motilité

- Permet l'ingestion
- Mélange le bol alimentaire avec les sécrétions
- Pousse les aliments digérés vers la région d'absorption
  - œsophage **secondes**
  - estomac **minute/heure**
  - intestin grêle **1-4 heures**
  - côlon **jours**
  - rectum **secondes/heures**
- Fait progresser le chyme dans le tube digestif de façon régulée
- Permet l'excrétion





# Les muscles du TD

**striés** → **Volontaires** (*nous les contrôlons*)

## cavité buccale

muscles de la mastication, lèvres, joues  
langue, palais mou, pharynx

→ fragmentation des aliments  
→ début déglutition

## anus

sphincter anal externe

→ **Réflexes** (*nous ne les contrôlons pas*)

## œsophage

2/3 supérieurs

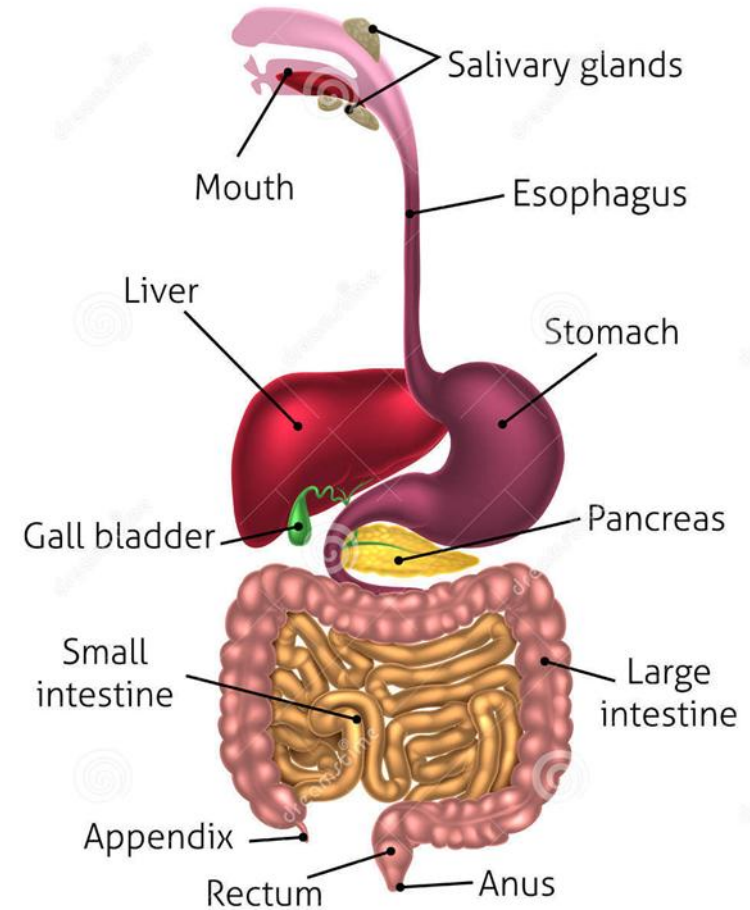
→ passage solides = 4-9 sec  
→ liquides = 1-2 sec

**lisses** 1/3 inférieur de l'œsophage, estomac, duodénum, jéjunum, iléon, côlon,  
rectum, canal anal, sphincter anal interne



# Sphincters principaux du système digestif

- *Œsophagien supérieur (m. strié)*
- Œsophagien inférieur
- Pylore
- Sphincter d'Oddi
- Valvule iléo-caecale
- Sphincter anal interne
- *Sphincter anal externe (m. strié)*





# Sphincters principaux du système digestif

## Sphincter

## Situation anatomique

## Rôle physiologique principal

**Sphincter œsophagien supérieur**

Jonction **pharyngo-œsophagienne**

*Permet le passage du bol alimentaire lors de la déglutition ; empêche l'entrée d'air et le reflux pharyngé*

**Sphincter œsophagien inférieur / cardia**

Jonction **œso-gastrique**

*Maintient une zone de haute pression ; prévient le reflux gastro-œsophagien*

**Sphincter pylorique (pylore)**

Jonction **gastro-duodénale**

*Régule la vidange gastrique et le passage du chyme vers le duodénum*

**Sphincter d'Oddi**

Abouchement du **canal cholédoque** et du **canal pancréatique** dans le duodénum

*Contrôle l'arrivée de la bile et du suc pancréatique ; coordonne la digestion*

**Sphincter iléo-caecal**

Jonction **iléon-caecum**

*Limite le reflux colique vers l'intestin grêle ; participe au transit*

**Sphincter anal interne**

Musculature **lisse** du canal anal

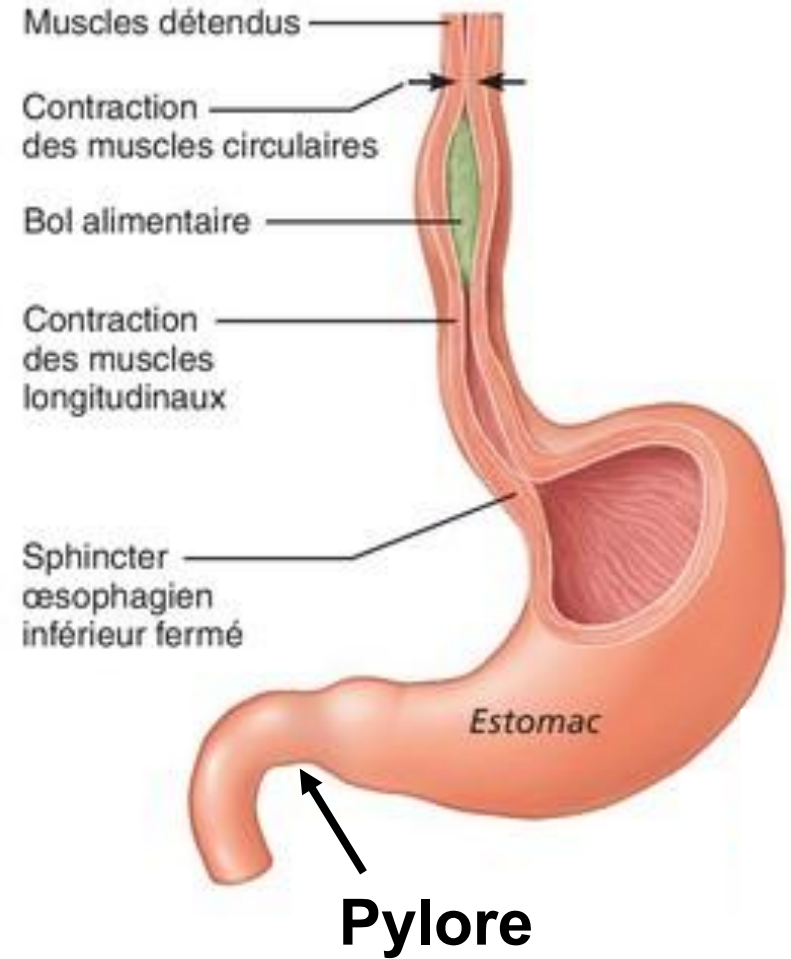
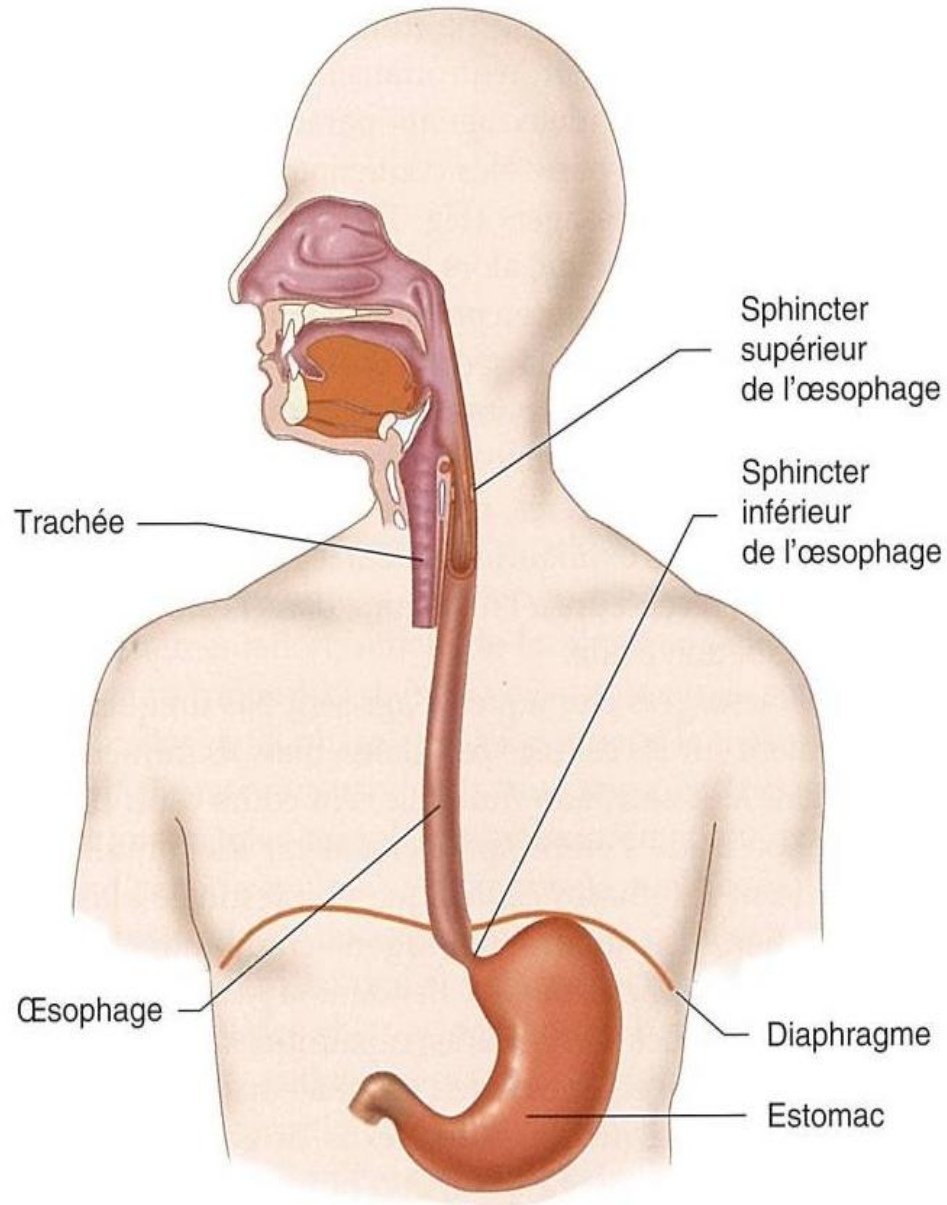
*Assure la continence anale involontaire (tonus basal)*

**Sphincter anal externe**

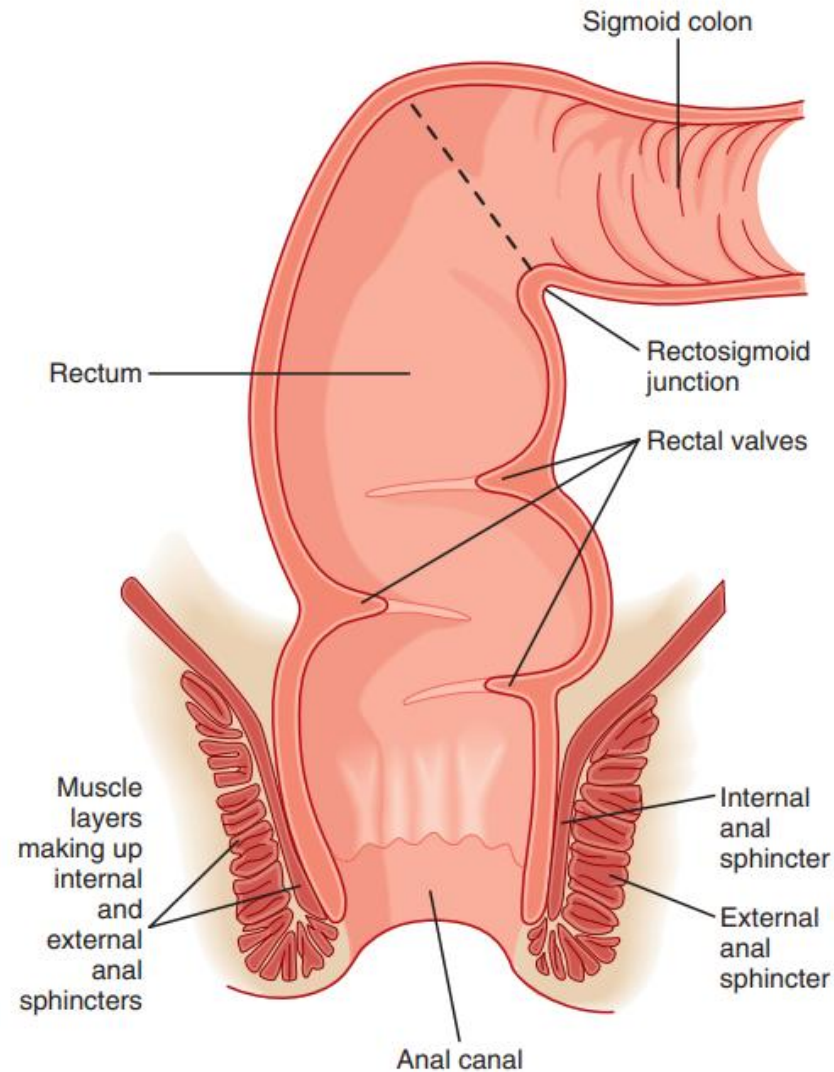
Musculature **striée** du canal anal

*Assure la continence anale volontaire*

# Sphincters de l'œsophage et de l'estomac



# Sphincters anaux interne et externe



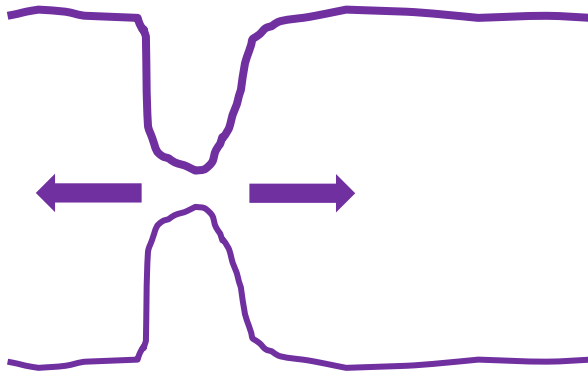
• **Fig. 31.3** Anatomy of the rectum and anal canal.



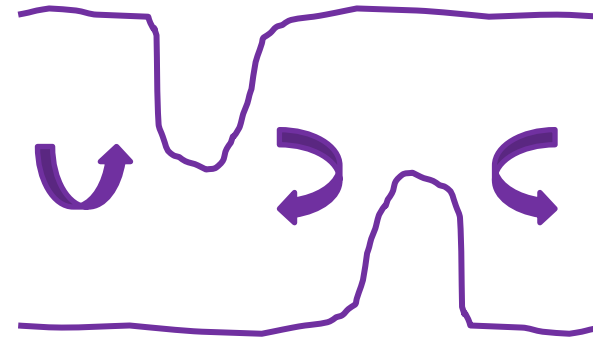
# Motilité gastro-intestinale: types de contraction

Contraction tonique (soutenue) : broyage + mixage

Segmentation synchrone



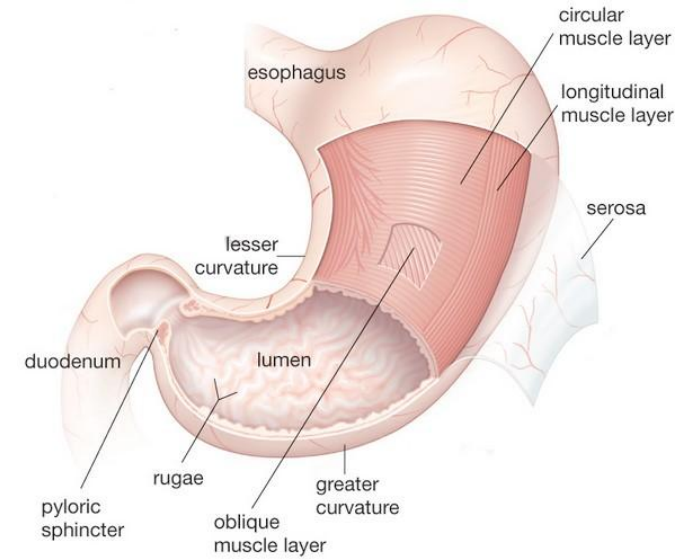
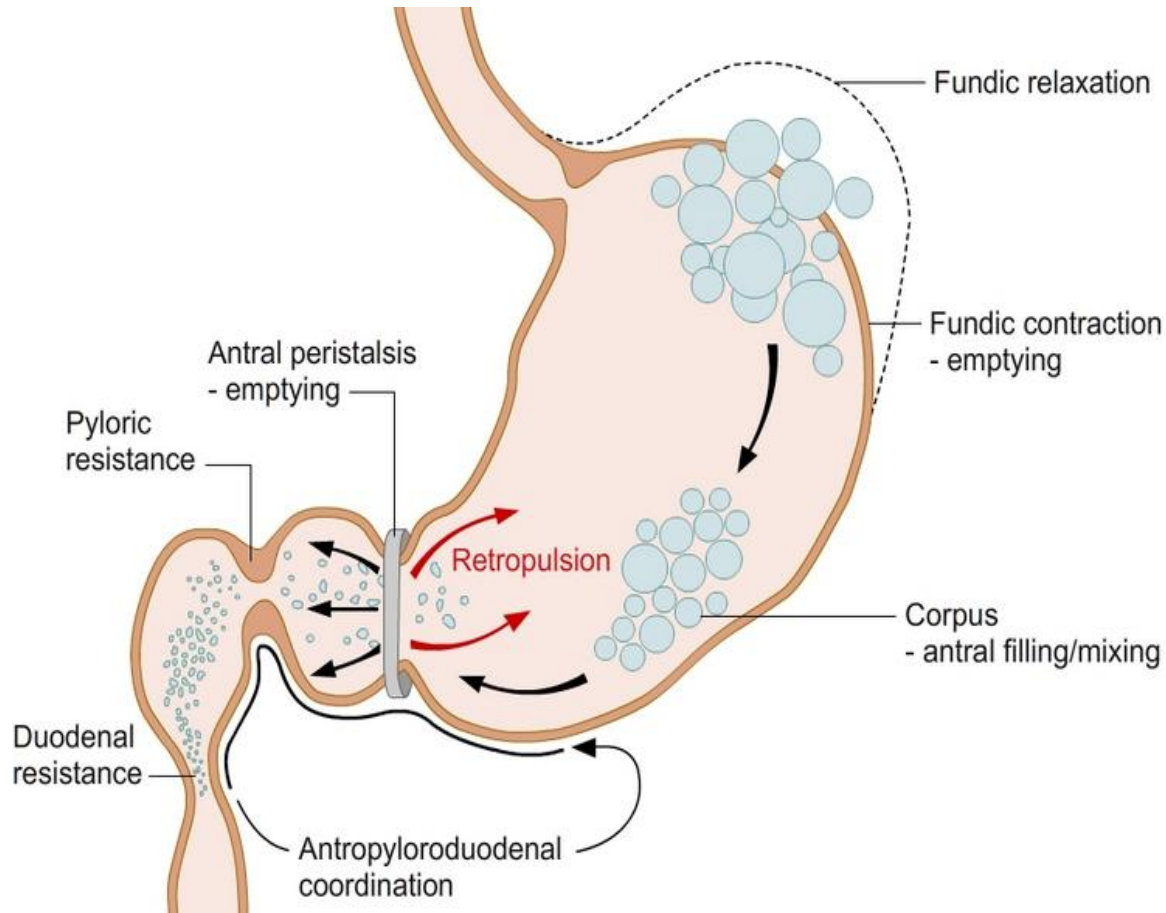
Segmentation asynchrone



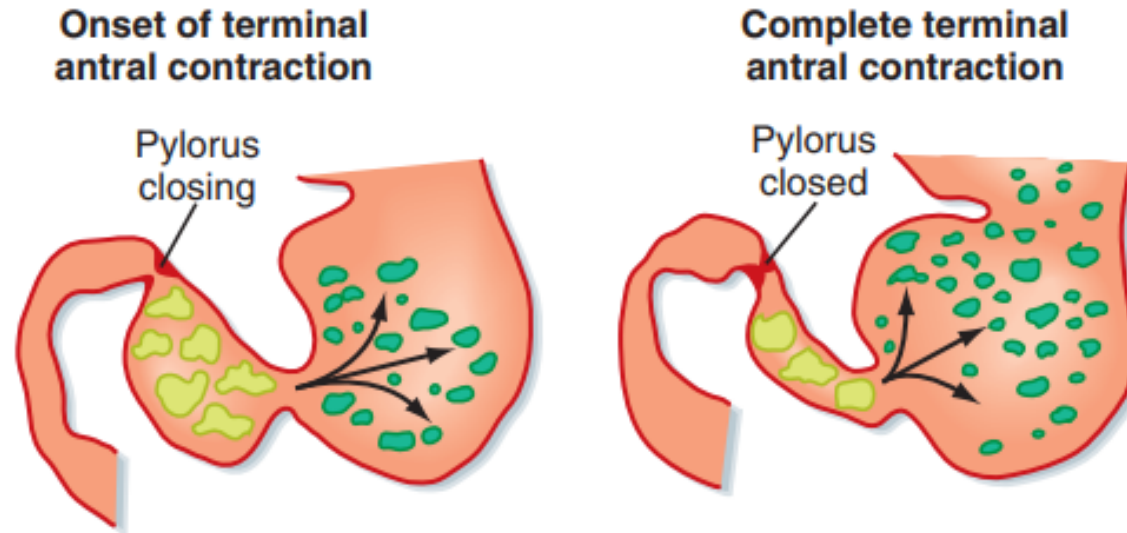


# Digestion mécanique dans l'estomac

## Brassage - trituration - ejection



# Digestion mécanique dans l'estomac



- Force for retroperulsion is increased pressure in terminal antrum as the antral contraction approaches the closed pylorus.
- **Fig. 29.14** Coordinated activity in the smooth muscle of the proximal and distal portions of the stomach and the pyloric sphincter results in mixing and grinding in the gastric antrum. The peristaltic wave moves down the gastric body and antrum toward the pylorus. If the pylorus is closed, the contents of the gastric antrum are retroperulsed back into the more proximal part of the stomach. This pattern of motility results in grinding and mixing of the food with secretions from the gastric wall and eventually leads to a reduction in particle size and the presence of digestive products that will empty into the duodenum.

# Les trois régions fonctionnelles de l'estomac

## Région | Sécrétion luminale | Motilité

SOI et cardia\* (\*SOI = sphincter œsophagien inférieur)

*Motilité :*

Prévention du reflux  
Entrée des aliments  
Régulation des éructations

*Le SOI fait partie de l'œsophage*

## Fundus et corps

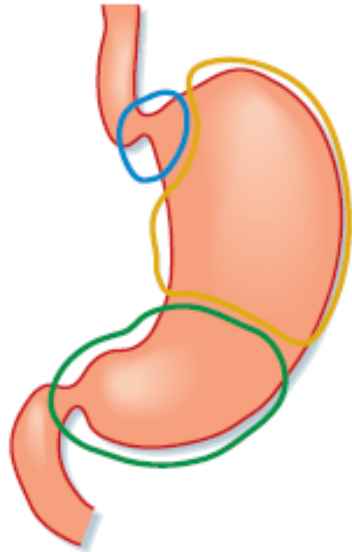
*Motilité :*

Réservoir  
Force tonique pendant la vidange

## Antre et pylore

*Motilité :*

Mélange  
Broyage  
Tamisage  
Régulation de la vidange



Region	Luminal secretion	Motility
LES* and cardia	Mucus HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Prevention of reflux Entry of food Regulation of belching
*LES is part of the esophagus		
Fundus and body	H <sup>+</sup> Intrinsic factor Mucus HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Pepsinogens Lipase	Reservoir Tonic force during emptying
Antrum and pylorus	Mucus HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Mixing Grinding Sieving Regulation of emptying

• **Fig. 29.1** The three functional regions of the stomach. The regions have different luminal secretions and patterns of smooth muscle activity indicative of their unique functions in response to food.

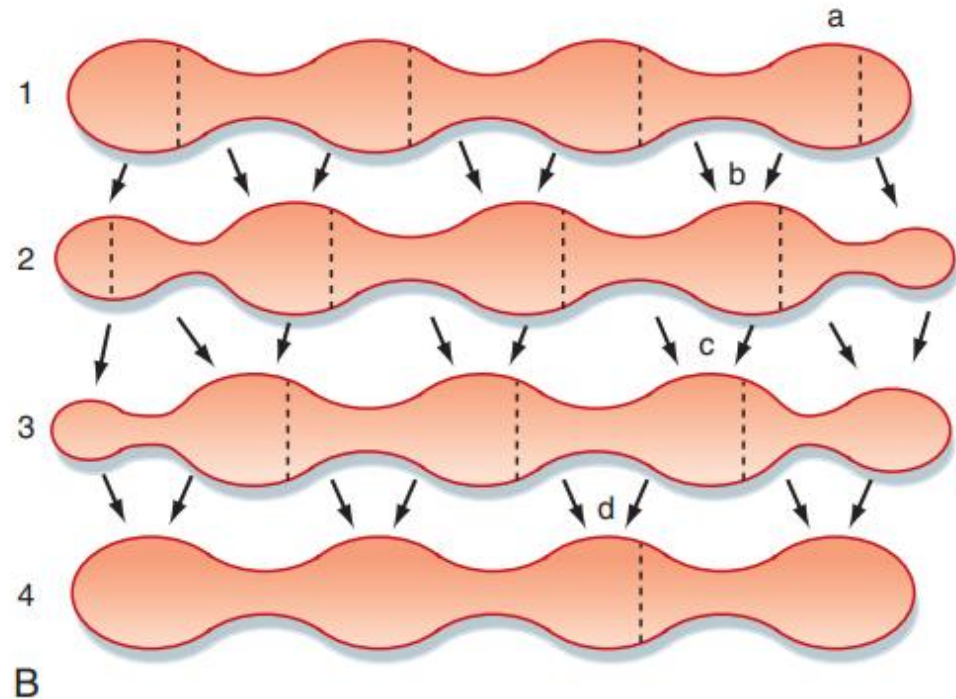
Les régions présentent des sécrétions lumineales différentes et des schémas distincts d'activité du muscle lisse, révélateurs de leurs fonctions spécifiques en réponse aux aliments.

# Motilité gastro-intestinale: types de contraction

## *Segmentation*



A



• **Fig. 30.20** A, Radiographic view showing the stomach and small intestine filled with barium contrast medium in a normal individual. Note the segmentation of the intestine. B, Sequence of segmental contractions in the small intestine. Lines 1 to 4 represent sequential time points. The dotted lines indicate where contractions will occur next; the arrows depict the direction of movement of the intestinal contents. (A, From Gardener EM et al. *Anatomy: A Regional Study of Human Structure*. 4th ed. Philadelphia: Saunders; 1975; B, redrawn from Cannon WB. *Am J Physiol* 1902;6:251.)

**Segmentation** C'est un processus involontaire qui se produit principalement dans l'intestin grêle et qui a trois fonctions:

- mélanger les aliments avec les sucs digestifs;
- augmenter le taux d'absorption;
- aider à propulser les aliments à travers le canal alimentaire.

1. Les sections non adjacentes de la paroi intestinale se contractent et se relâchent alternativement.
2. Comme des segments inactifs existent entre les segments actifs, le bol alimentaire est déplacé d'avant en arrière à travers le canal alimentaire et mélangé avec les sucs digestifs.
3. Les sucs digestifs décomposent le bol alimentaire, et la contraction et la relaxation de la paroi intestinale aident à déplacer le bolus le long du canal.

### Segmentation

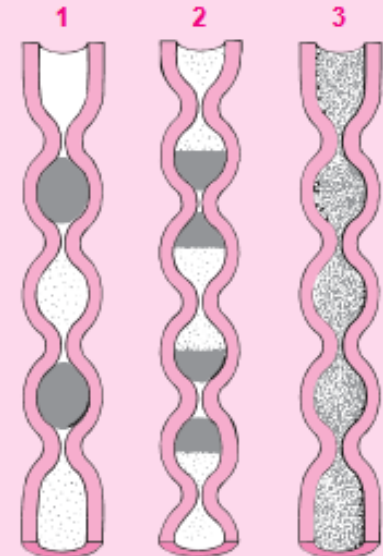
This is an involuntary process that occurs mainly in the small intestine, and has three functions:

- mixing food with digestive juices;
- increasing the absorption rate; and
- helping to propel food through the alimentary canal.

**1** Nonadjacent sections of the intestinal wall alternately contract and relax.

**2** As inactive segments exist between the active ones, the food bolus is moved back and forth across the alimentary canal and mixed with digestive juices.

**3** The digestive juices break down the bolus, and the contraction and relaxation of the intestinal wall help move the bolus down the canal.



**Péristaltisme** C'est un processus involontaire qui propulse les aliments à travers le canal alimentaire. Les fibres musculaires adjacentes se contractent et se relâchent en séquence.

1. Lorsqu'un groupe de fibres musculaires se contracte, cette partie du passage devient plus étroite.
2. Cette action pousse le bol alimentaire dans la section suivante, où les fibres musculaires sont relâchées.
3. Cette zone se contracte ensuite, poussant le bolus plus loin le long du canal alimentaire.

Dans le système digestif, l'action péristaltique se produit dans: le pharynx et l'œsophage (dans le cadre du processus de déglutition); l'estomac; l'intestin grêle; et le gros intestin.

### Peristalsis

This is an involuntary process that propels food through the alimentary canal.

Adjacent muscle fibers contract and relax in sequence.

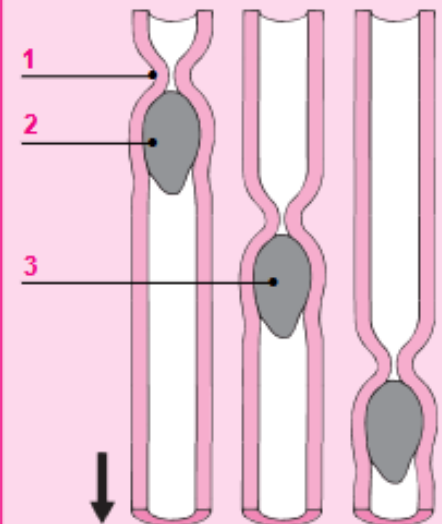
**1** As a group of muscle fibers contracts, that part of the passage becomes narrower.

**2** This action squeezes the food bolus into the next section, where the muscle fibers are relaxed.

**3** This area then contracts, squeezing the bolus further down the length of the alimentary canal.

Within the digestive system peristaltic action occurs in the:

- pharynx and esophagus (as part of the swallowing process);
- stomach;
- small intestine; and
- large intestine.

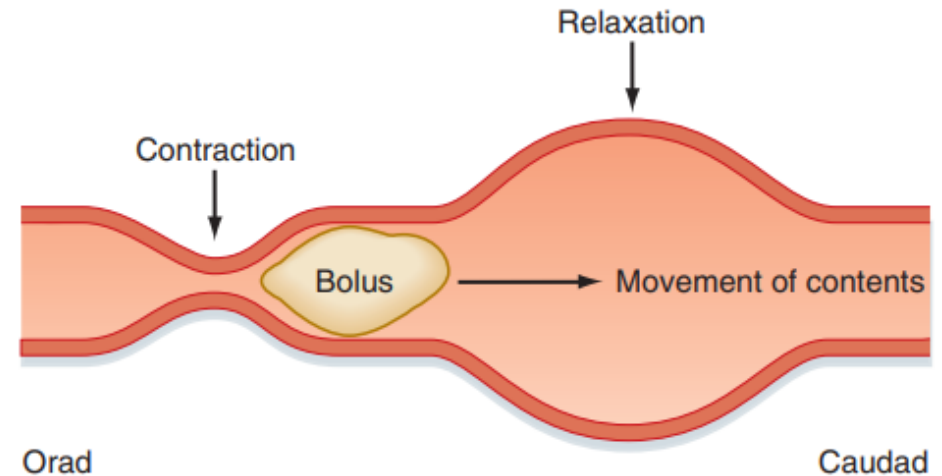
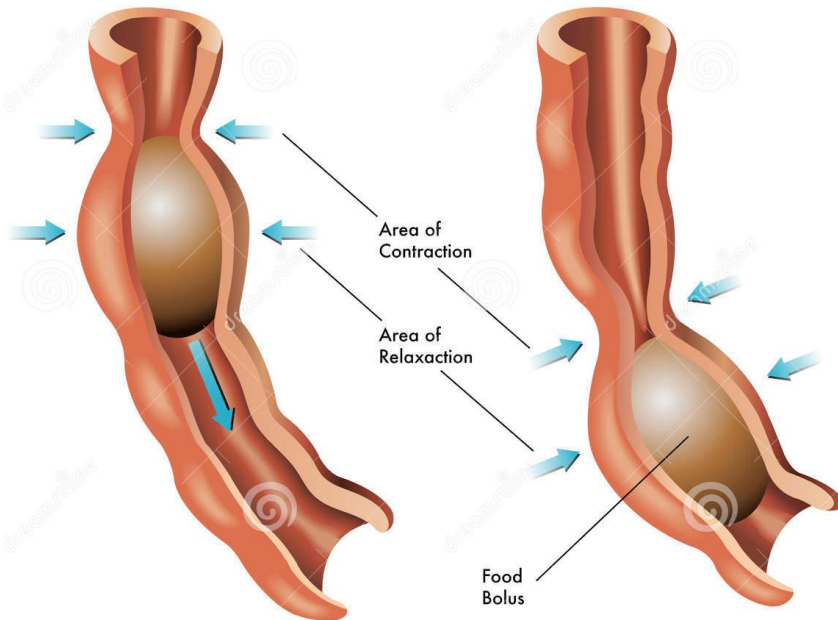




# Motilité gastro-intestinale: types de contraction

**Péristaltisme: Contraction rythmique (alternance contraction et relaxation) ----- propulsion**

→ *Périodes digestives* : contractions toniques et rythmiques



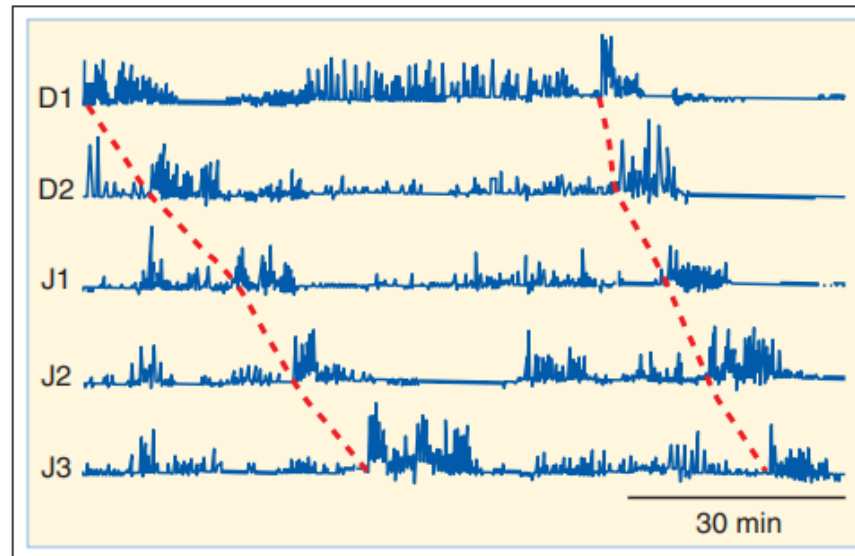
• **Fig. 30.21** Peristaltic motility in the intestine propels intestinal contents along the length of the small intestine.



# Motilité gastro-intestinale: types de contraction

## Contraction rythmique (alternance contraction et relaxation) : propulsion

→ **Périodes inter-digestives** : contractions rythmiques de type «**migrating motor complex**» (**MMC**), qui partent de l'estomac et se terminent à la fin de l'iléon, vidanger l'intestin grêle.



• **Fig. 30.22** Migrating motor complexes in the duodenum and jejunum as recorded from a fasting human subject by manometry. D1, D2, J1, J2, and J3 indicate sequential recording points along the length of the duodenum and jejunum. The intense contractions (phase III) propagate aborally. (Redrawn from Soffer EE et al. *Am J Gastroenterol* 1998;93:1318.)

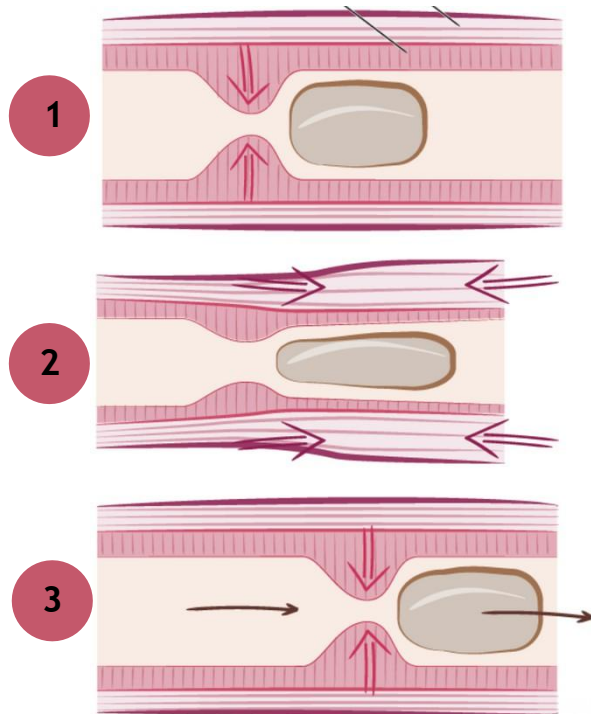


# TYPES DE MOUVEMENTS

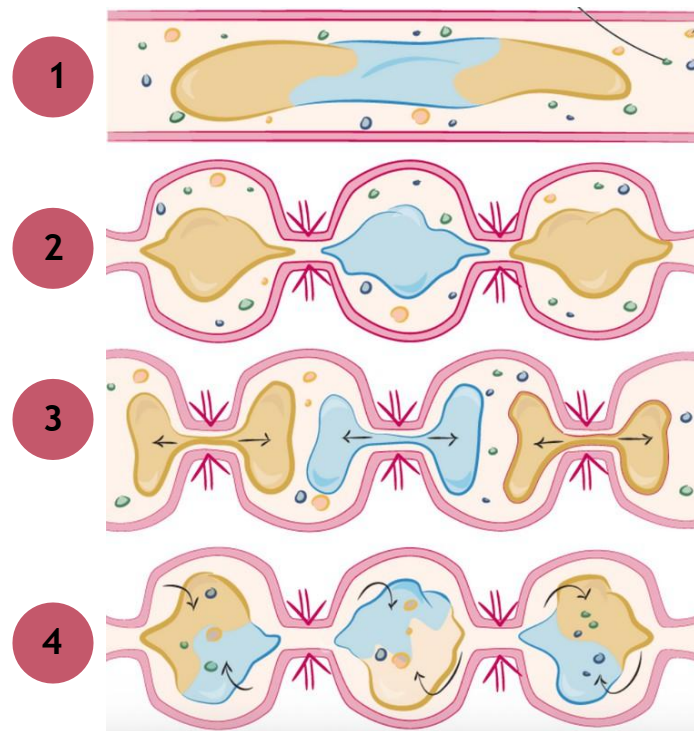
PHASE DIGESTIVE

PHASE INTERDIGESTIVE

Péristaltisme



Segmentation

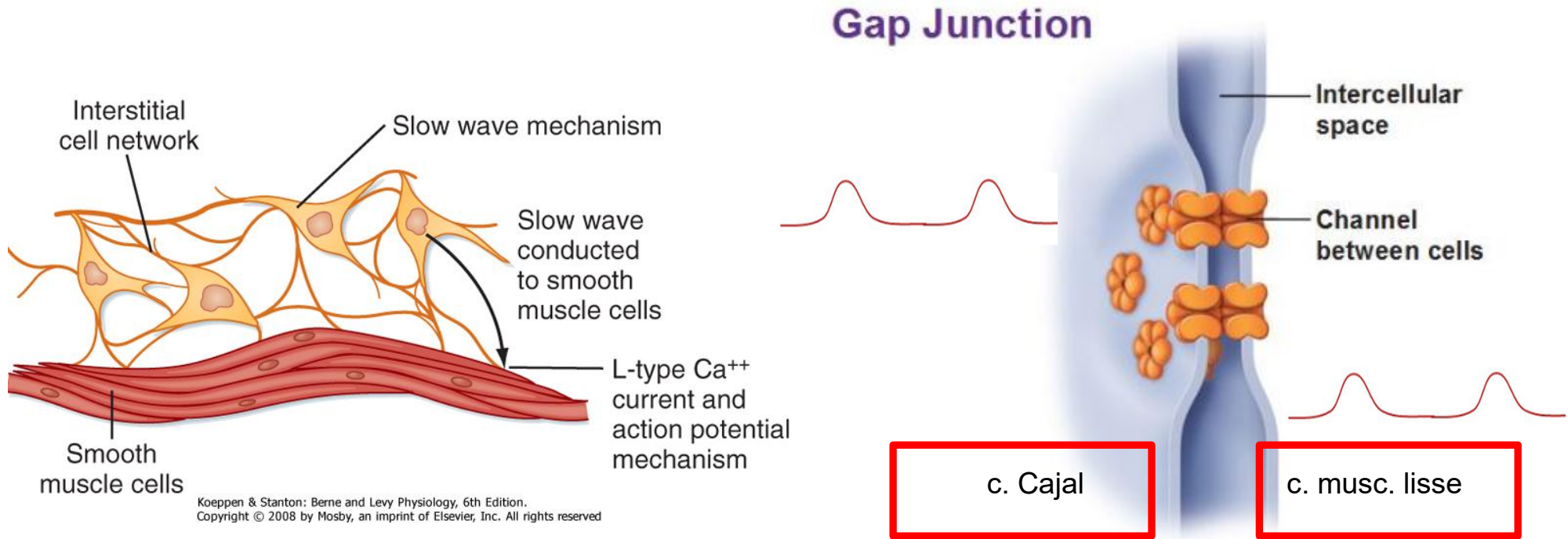


MMC

- Similaire au péristaltisme
- Fonction : Éliminer les résidus, sécrétions stagnantes, bactéries
- Uniquement dans estomac et intestin grêle
- 1 cycle = 3 phases
- Activateurs : Motiline, ghréline, nerf vague, sérotonine
- Inhibiteur : Somatostatine



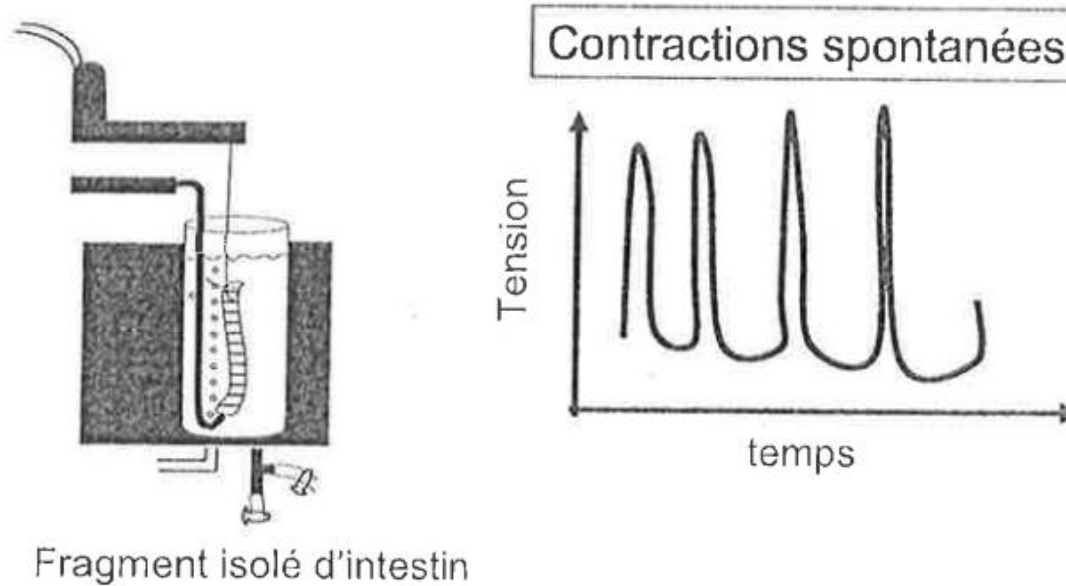
# Régulation de la motilité gastro-intestinale



**Les cellules de Cajal** sont des cellules d'origine mésenchymateuse qui forment un réseau qui interconnectent les cellules musculaires lisses grâce à des jonctions communicantes (gap junctions). Elles jouent le rôle de pacemaker.



**Figure 10.3.: Automatisation de l'intestin : mise en évidence in vitro.** Un fragment d'intestin placé dans un liquide de survie se contracte spontanément en dehors de toute innervation extrinsèque.



La différence majeure entre un muscle strié et un muscle lisse est que ce dernier est doué **d'automatismes** alors que l'activité motrice d'un muscle strié est subordonnée à une commande par le système nerveux extrinsèque. Un segment d'intestin isolé et placé dans un liquide de survie se contracte régulièrement (fig. 10.3) ; pour le tube digestif, le **système nerveux** ne joue qu'un rôle de **coordination** et de **modulation** de l'activité motrice grâce à l'existence de plexus nerveux.

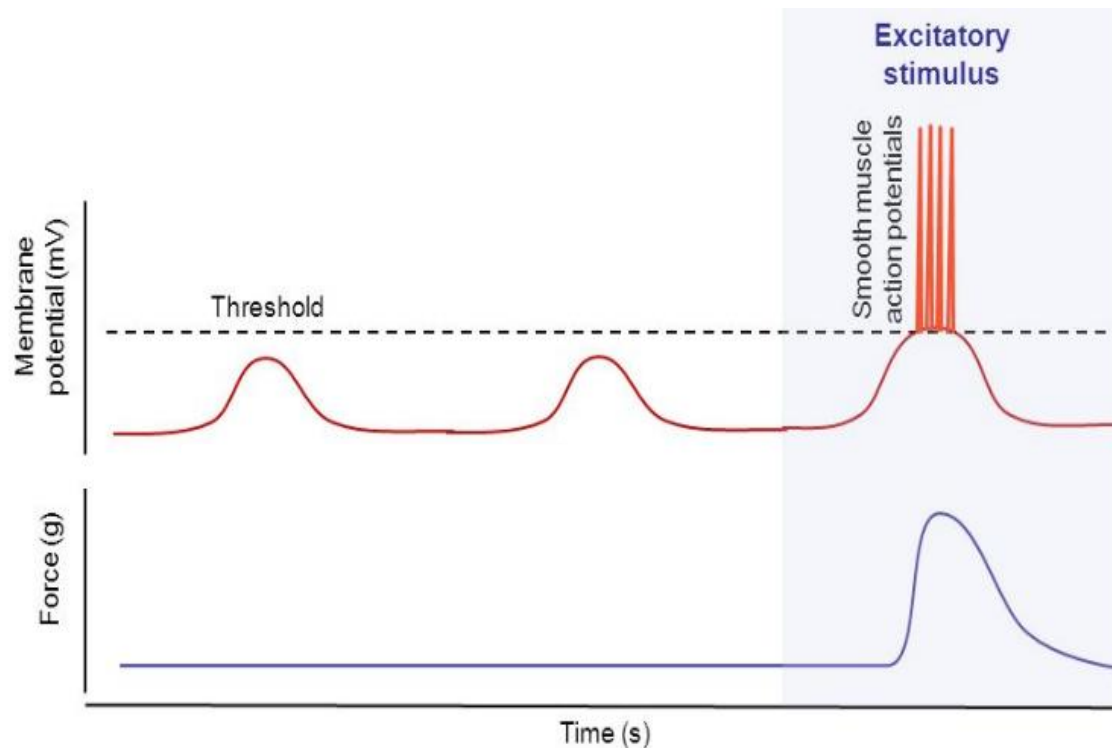
L'automatisme du tube digestif repose sur l'existence de cellules spécialisées : les **cellules interstitielles de Cajal (CIC)**.



# Régulation de la motilité gastro-intestinale

→ ACTIVITE DE BASE: ONDES LENTES

• **Cellules interstitielles de Cajal (CIC)** génèrent le **rythme électrique de base** (activité en **ondes lentes**) du **muscle lisse gastro-intestinal**



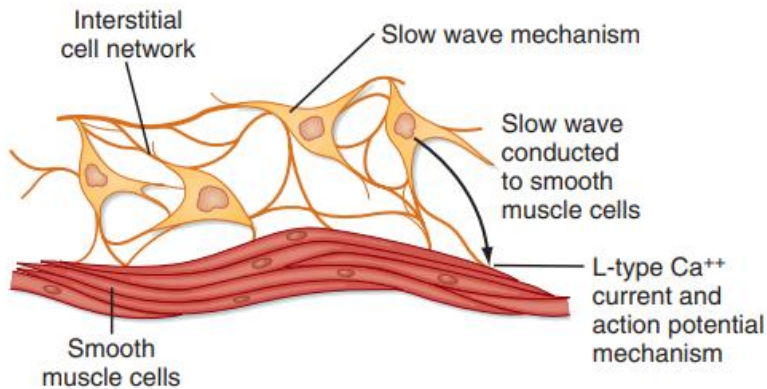
- fundus: 3'
- duodénum: 12-15'
- côlon : 8'



# Les fonctions majeurs des cellules de Cajal dans la régulation de la motilité gastro-intestinale

INTERSTITIAL CELLS OF CAJAL (ICC)  
ARE THE PACEMAKERS OF THE GUT

Slow waves are generated in  
interstitial cells of Cajal



• **Fig. 29.12** Diagrammatic representation of the interstitial cells of Cajal network in the smooth muscle wall of the GI tract.

## Cellules interstitielles de Cajal (CIC)

- Groupe spécialisé de cellules dans la paroi intestinale **d'origine mésenchymateuse**
- Transmettent les signaux des neurones entériques aux cellules musculaires lisses
- Forment un réseau qui interconnectent les cellules musculaires lisses grâce à des jonctions communicantes (*gap junctions*).
- Fonctionnent comme **cellules pacemaker**
- Génèrent le **rythme électrique de base** (activité en ondes lentes) du muscle lisse gastro-intestinal

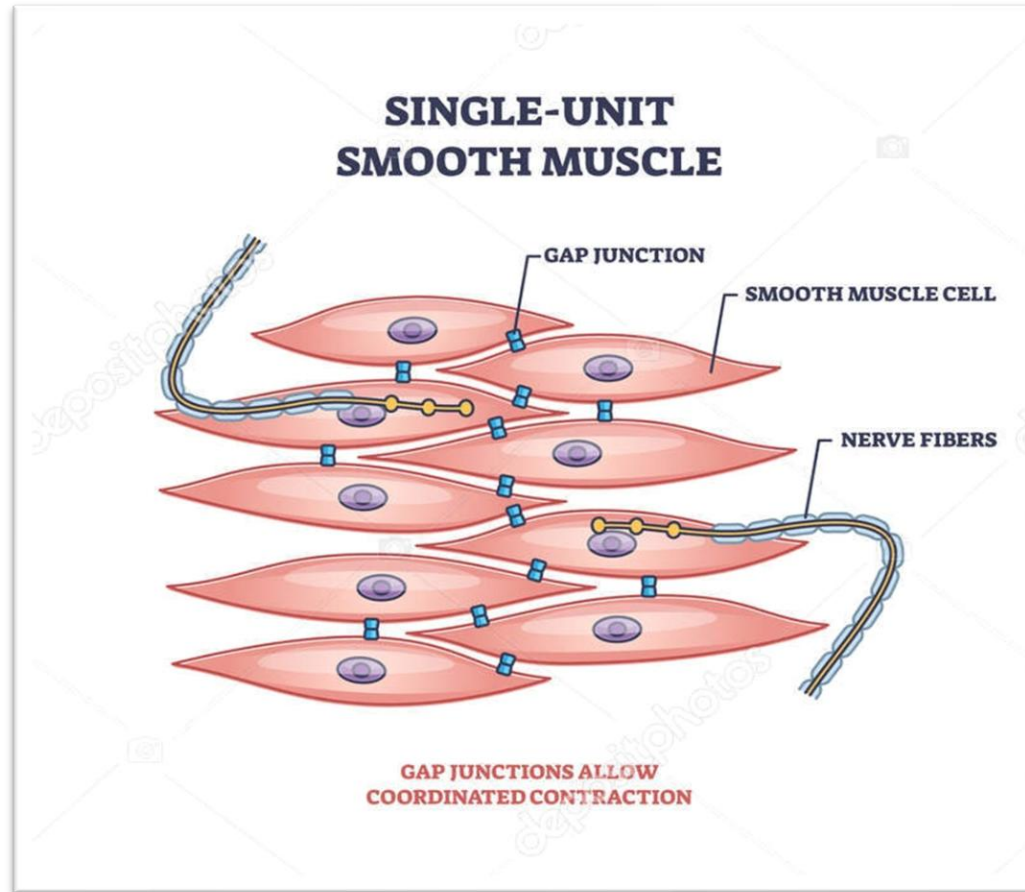


## Les fonctions majeurs des cellules intestinales de Cajal (CIC)

- Les CIC sont le siège de l'automatisme du tube digestif (**pacemaker**)
- Les CIC assurent la dépolarisation des cellules musculaires lisses en ouvrant leurs canaux "voltage dépendant". Cela est à l'origine des **ondes lentes (OL)**, c'est-à-dire des oscillations régulières du potentiel de repos des fibres lisses. Ces **OL déterminent un rythme électrique de base (REB)** dont la fréquence est propre aux différents segments du tube digestif.
- Elles assurent la conduction électronique des OL (propriétés de câble).
- Les CIC, situées au cœur même des fibres lisses, **assurent la liaison entre les motoneurones (excitateurs ou inhibiteurs) et les fibres lisses.**



# Organisation de la musculature lisse du TD

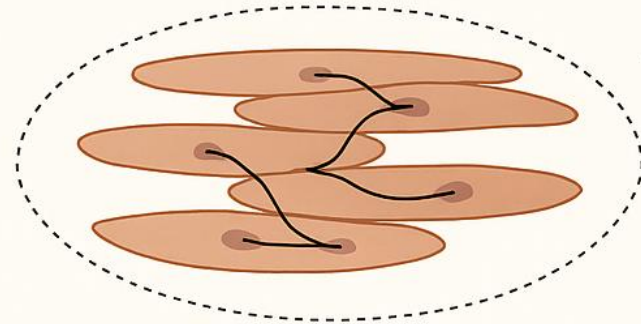


- Structure similaire aux autres muscles lisses du corps
- Cellules fusiformes regroupées en faisceaux (*bundles*) entourés de tissu conjonctif; propriété de câble
- **Jonctions communicantes (gap junctions)** : permettent une contraction synchronisée des faisceaux

# Organisation de la musculature lisse du TD

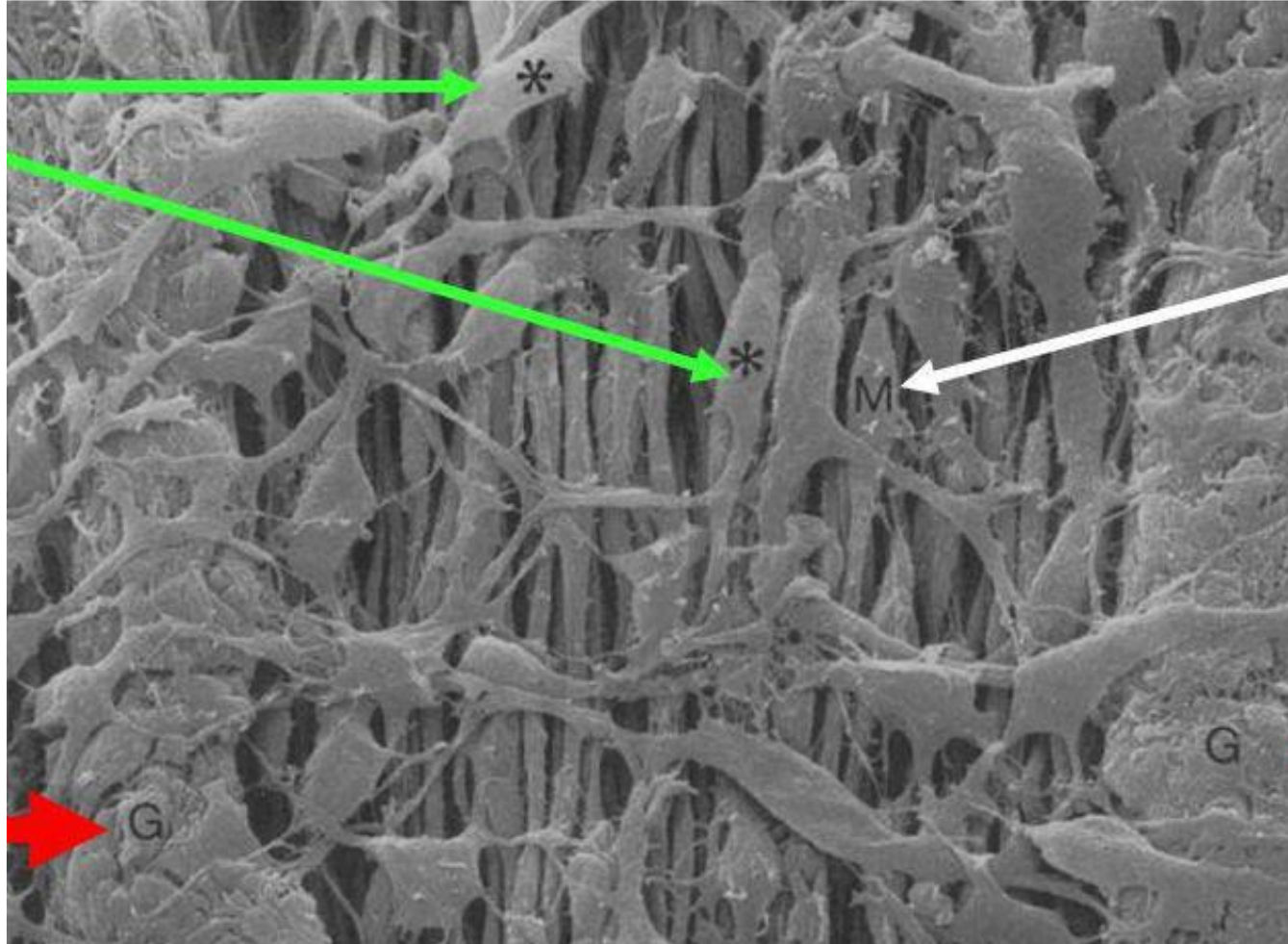
## Le syncytium musculaire du tube digestif

- Les fibres musculaires lisses (200–500  $\mu\text{m}$  de long) sont organisées en faisceaux.
  - Les fibres de chaque faisceau sont couplées électriquement par de nombreuses jonctions gap.



# Plexus myentérique

Cellules de Cajal



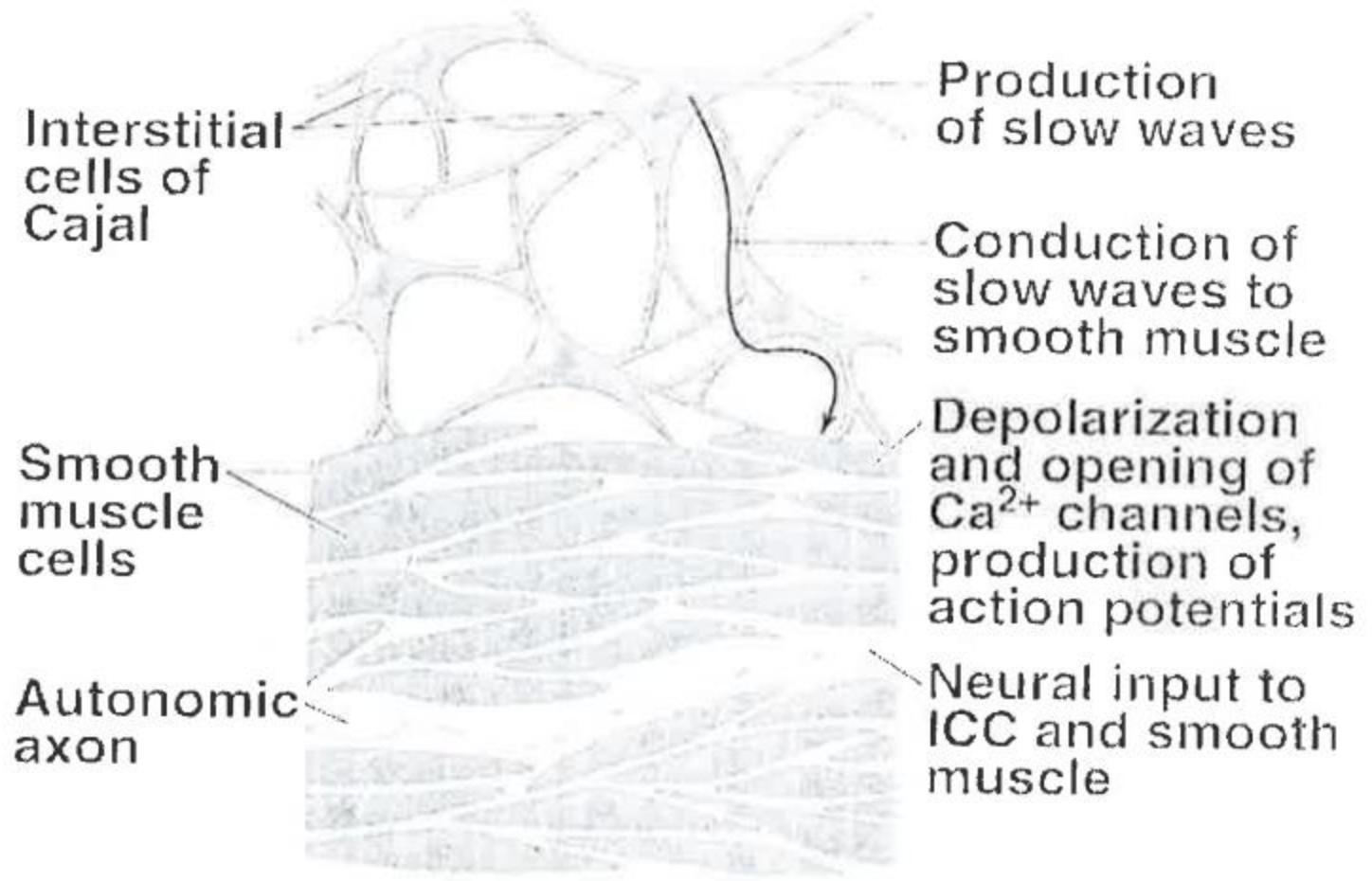
Cellules musculaires lisses

Ganglion nerveux

Figure 10.4. *Les cellules interstitielles de Cajal sont à l'origine de l'automatisme des fibres lisses gastro-intestinales. Elles sont situées entre les couches musculaires lisses longitudinales et circulaires et autour des ganglions des plexus myentériques.*

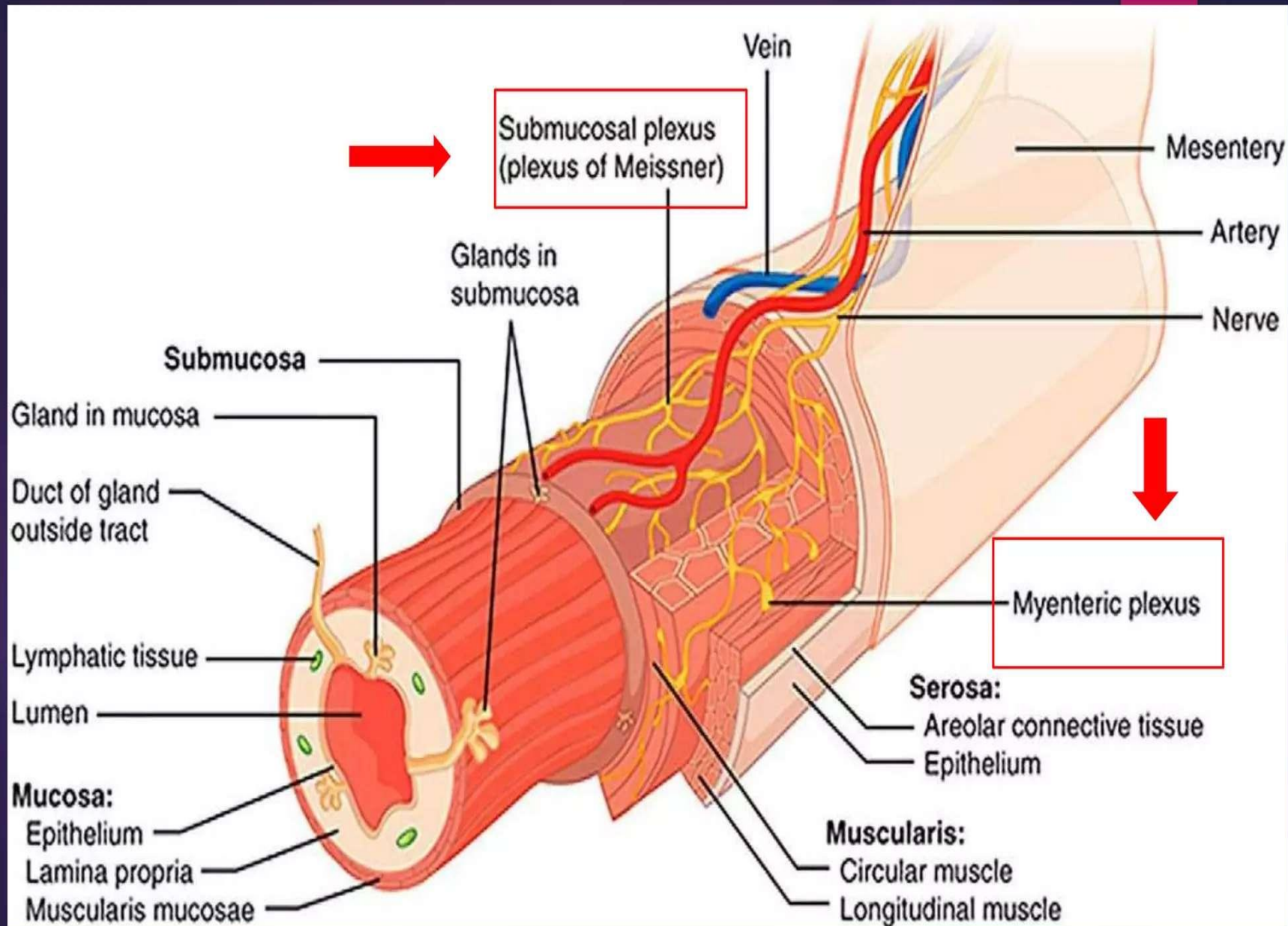
**Structures**

**Functions**



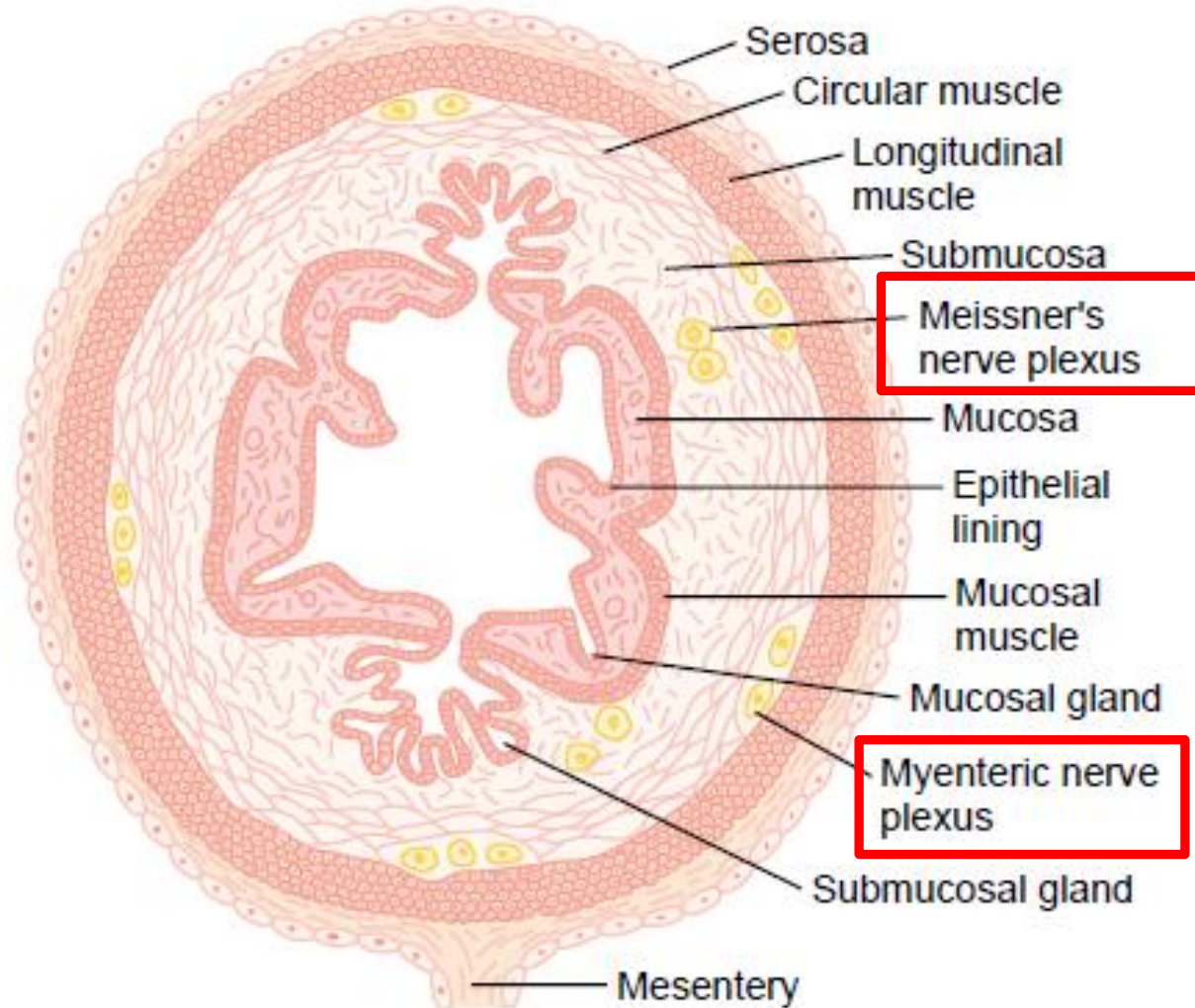


# Les plexus nerveux du TD





# Les plexus nerveux du TD





# Le TD; un mini cerveau

Système nerveux autonome



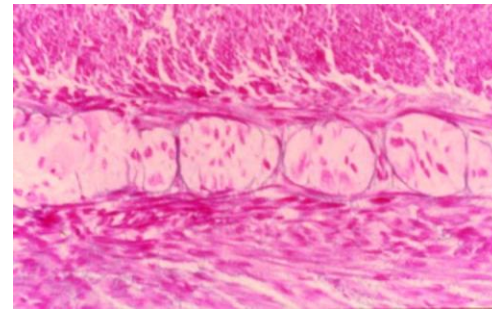
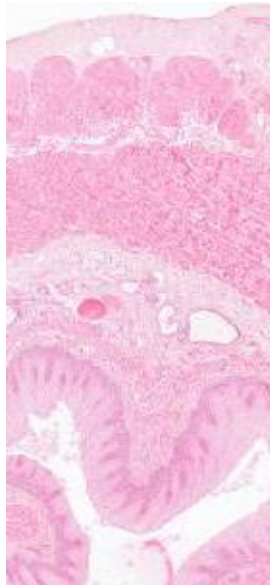
Système endocrinien

SNC

Système nerveux parasympathique

Système nerveux sympathique

Système nerveux entérique

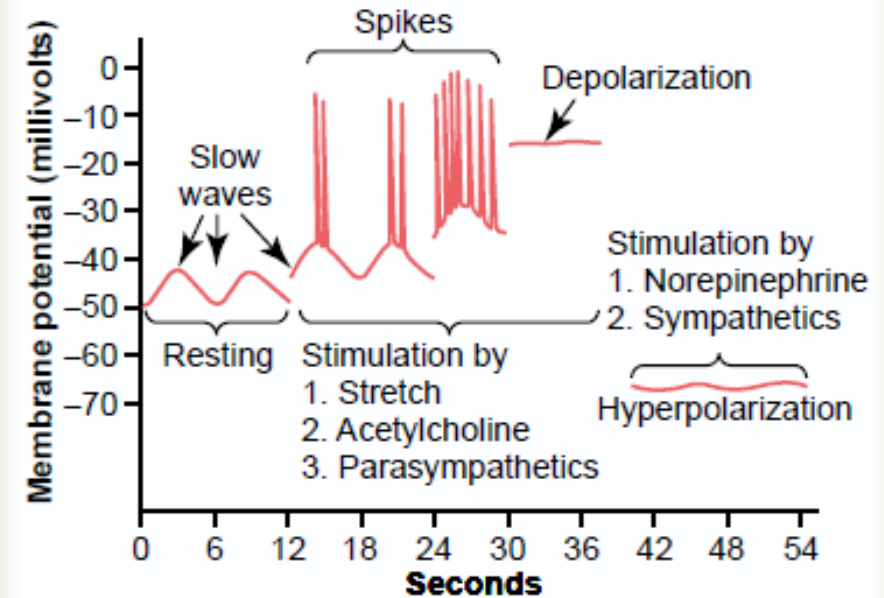
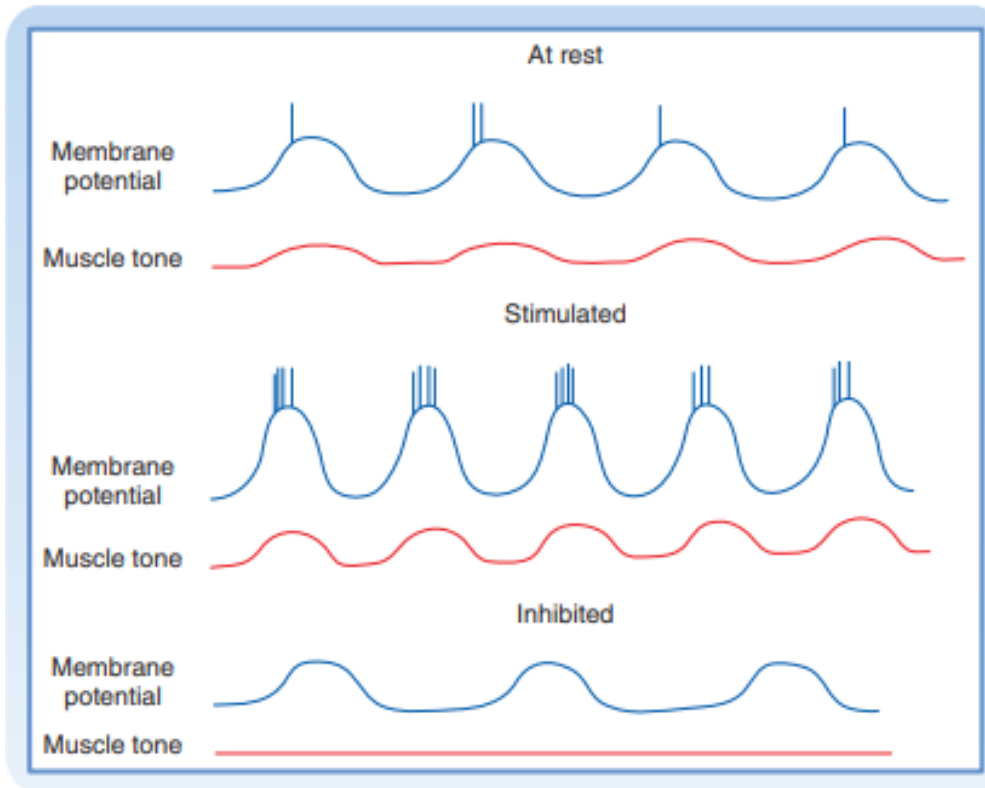


Plexus myentérique d'Auerbach

Plexus sous muqueux de Meissner



# Régulation des potentiels membranaires dans le muscle lisse intestinale



**Dépolarisation** (un potentiel moins négatif que **potentiel de repos**) rend la fibre plus excitable; **Hyperpolarisation** rend la fibre moins excitable.

**Facteurs qui dépolarisent la membrane:** l'étirement du muscle ; la stimulation par l'ACh (acétylcholine); les nerfs parasympathiques; certaines hormones gastro-intestinales.

**Facteurs qui hyperpolarisent la membrane:** l'effet de l'épinéphrine (E) et de la norépinéphrine (NE) sur la membrane de la fibre ; la stimulation des nerfs sympathiques qui sécrètent de la NE à leurs terminaisons.



# Exemple de régulation

stimulus

récepteur

médiateur

cible

Distension de la paroi

mécano -

Osmolarité du chyme

osmo -

Contenu du chyme  
(H<sup>+</sup>, peptides, acides gras)

chemo -

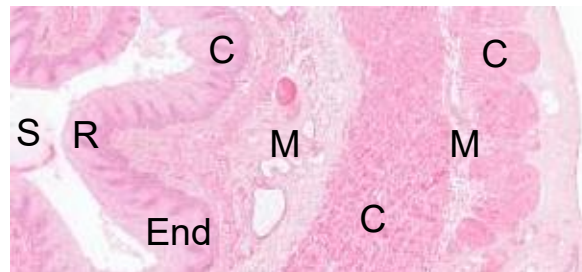
Plexus nerveux  
C. endocrines

muscles

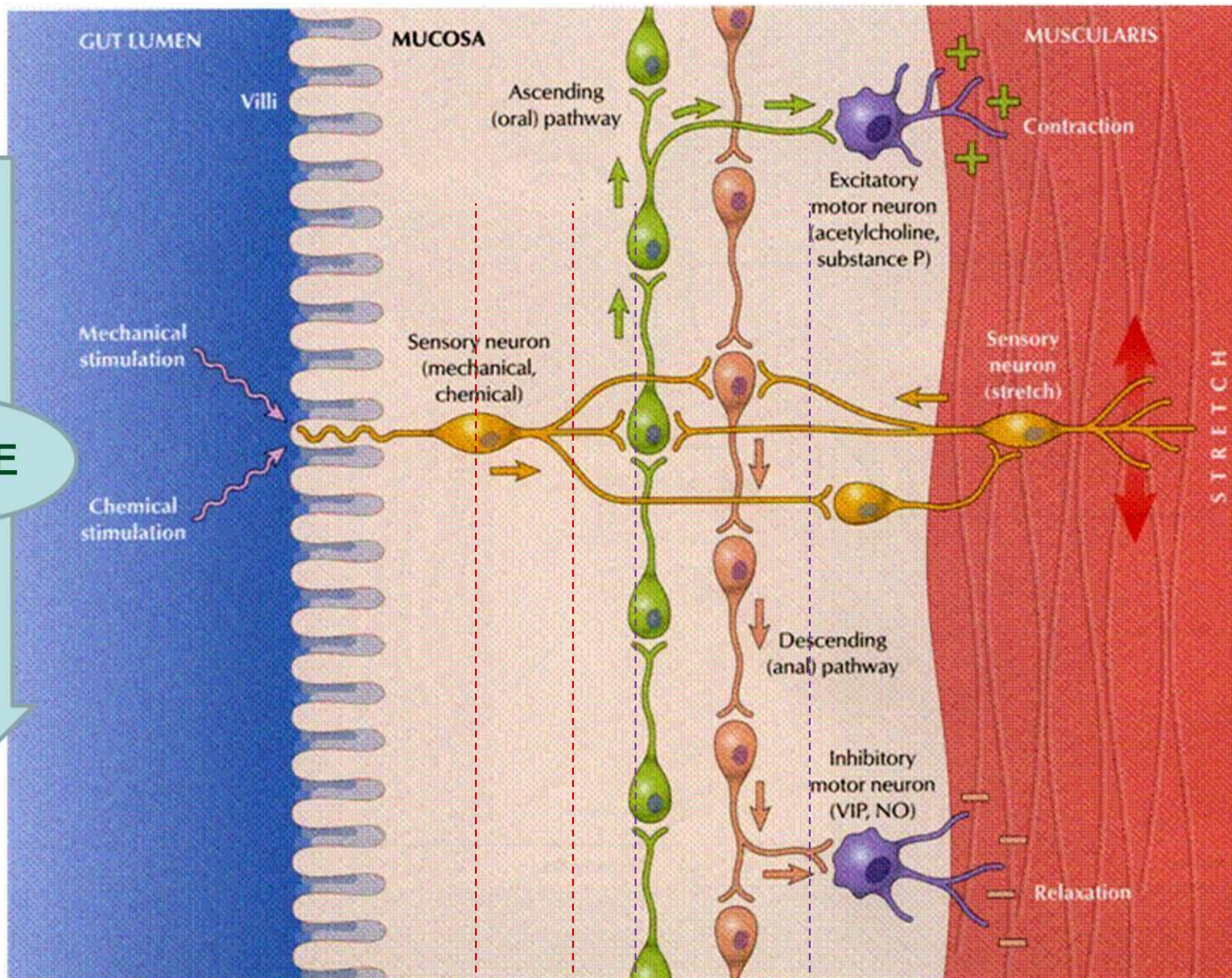
glandes

épithélium de surface

vaisseaux



# Régulation neuro-hormonale de la motilité de TD



CHYME

PARASYMPATHIQUE



SYMPATHIQUE

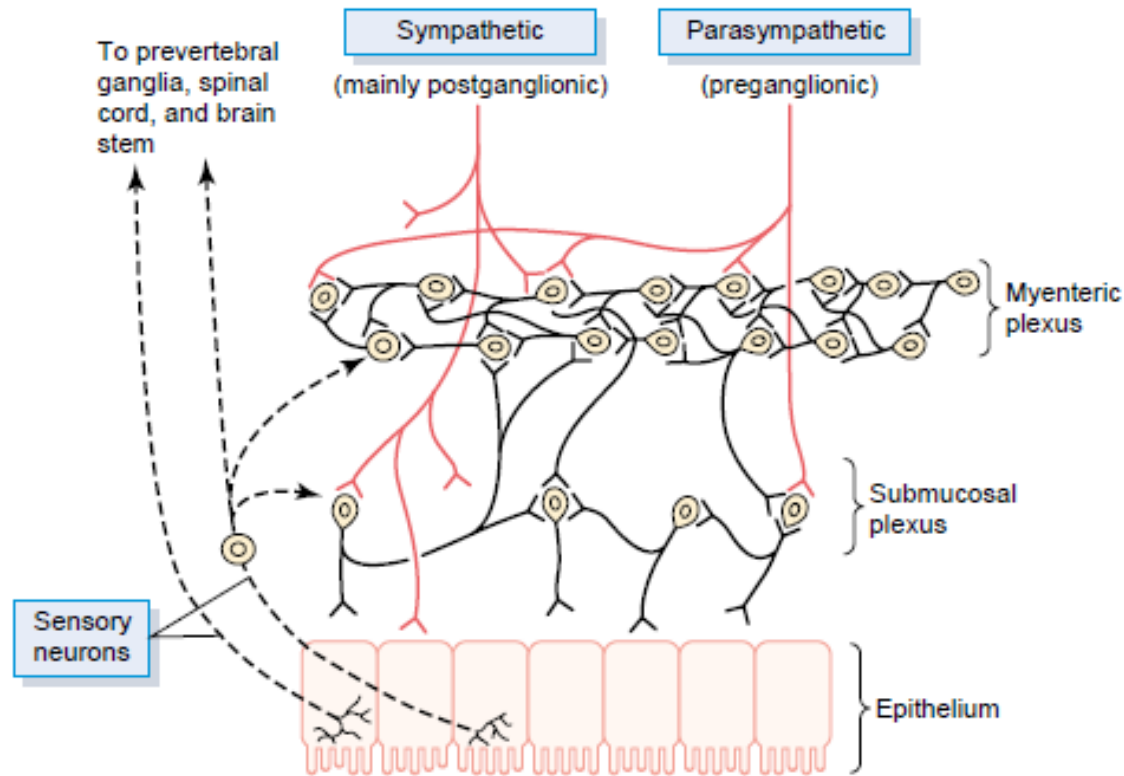
Meissner

Auerbach

Netter's Atlas of Physiology



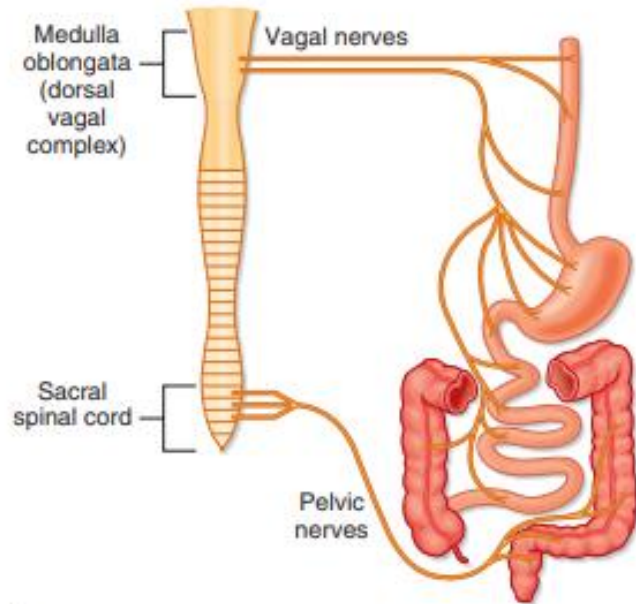
# Contrôle neural de la paroi intestinale



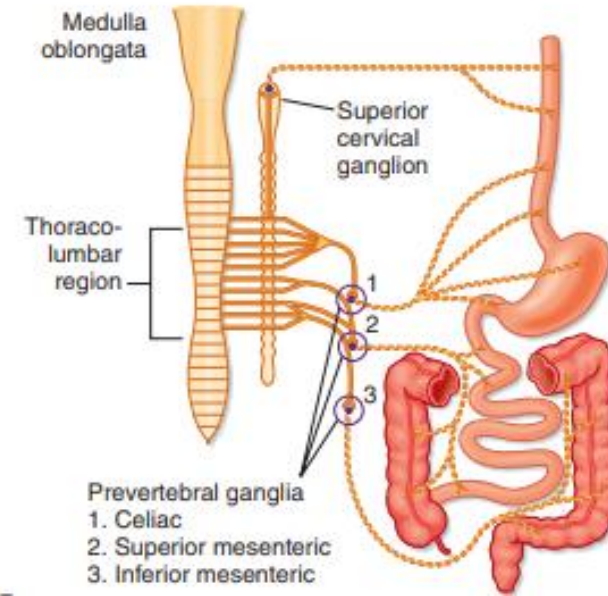
- (1) les plexus myentérique (Auerbach) et sous-muqueux (Meissner) (fibres noires)
- (2) le contrôle extrinsèque de ces plexus par **les systèmes nerveux sympathique et parasympathique** (fibres rouges)
- (3) les fibres sensibles (**sensory fibers**) passant de l'épithélium luminal et de la paroi intestinale vers les plexus entériques, puis vers les ganglions prévertébraux de la moelle épinière et directement vers la moelle épinière et le tronc cérébral (*fibres en pointillés*).

# Système Nerveux Autonome

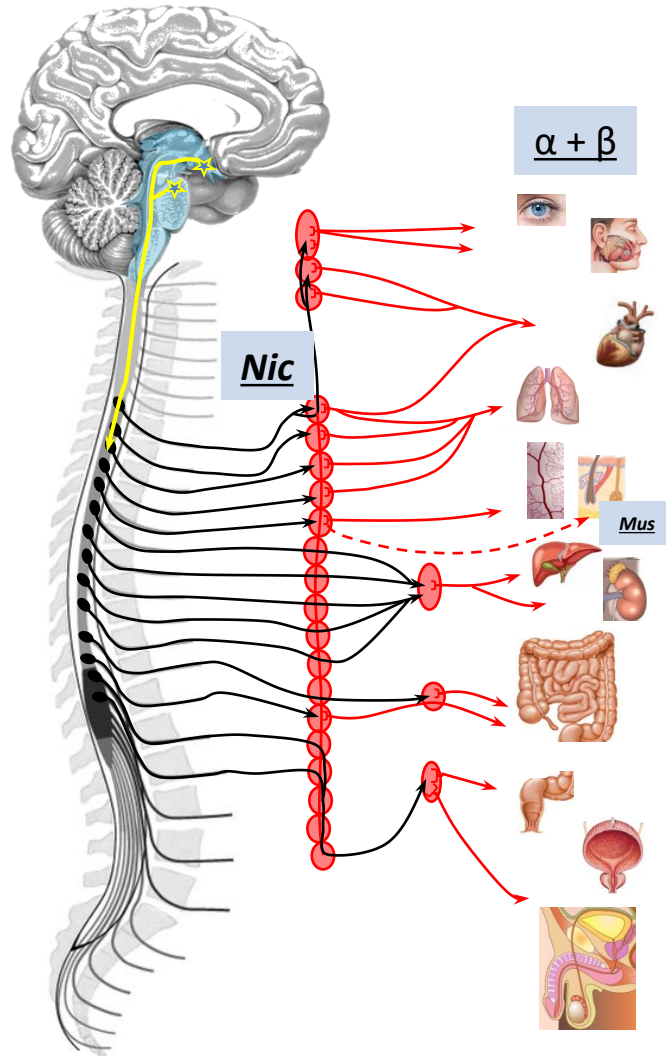
## PARASYMPATHIQUE



## SYMPATHIQUE



# Systeme Nerveux Sympathique

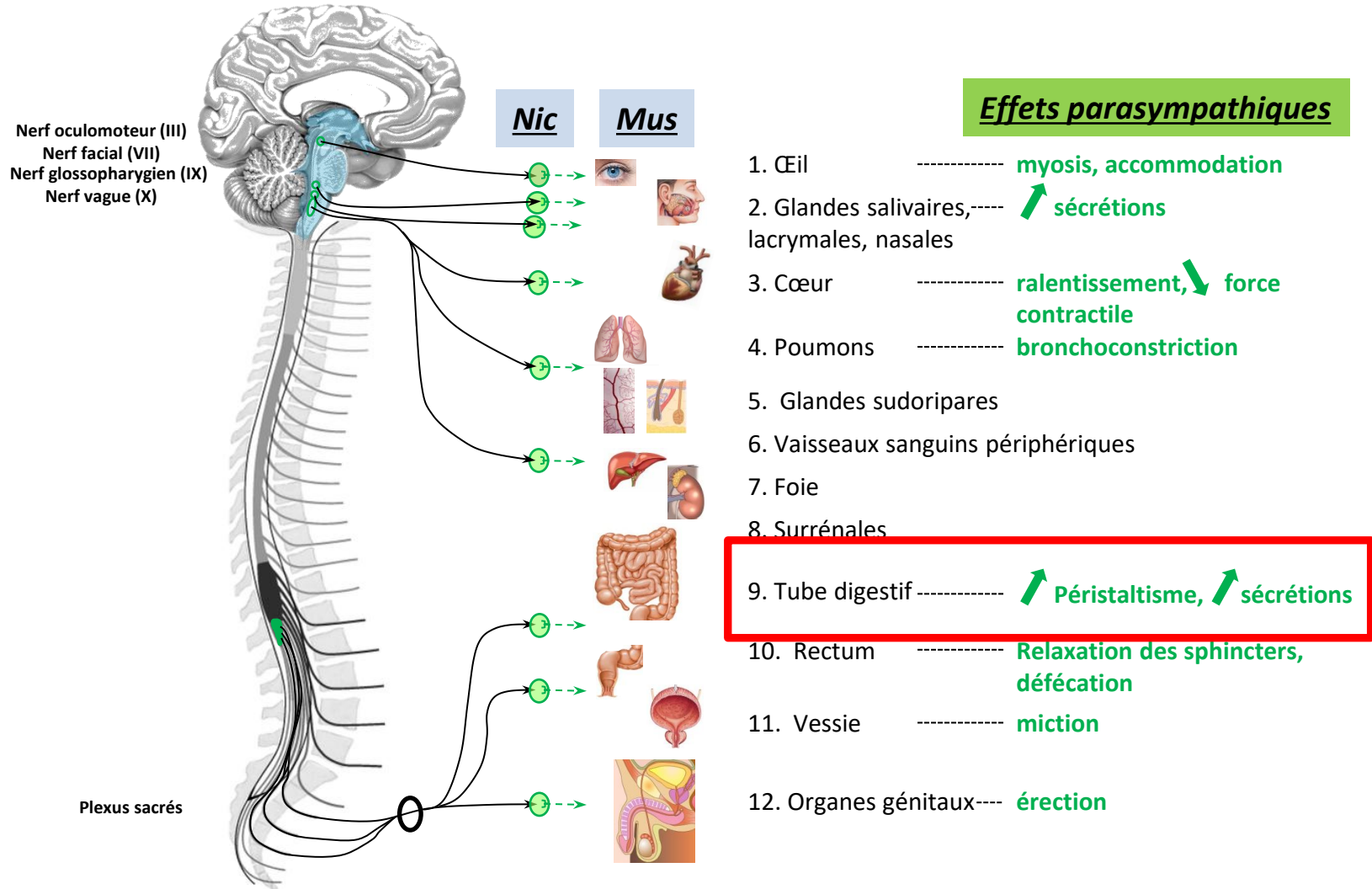


## Effets sympathiques

1. Œil ----- mydriase
2. Glandes salivaires ----- ↗ Sécrétions visqueuses
3. Cœur ----- ↗ Fréquence et force contraction
4. Poumons ----- bronchodilatation
5. Glandes sudoripares + poils **Transpiration (ach!) + Piloérection**
6. Vaisseaux sanguins périphériques ----- Vasoconstriction
7. Foie ----- glycogénolyse
8. Surrénales ----- libération adrénaline
9. Tube digestif ----- ↘ Péristaltisme, ↘ sécrétions
10. Rectum ----- contraction des sphincters
11. Vessie ----- rétention urinaire
12. Organes génitaux ----- éjaculation

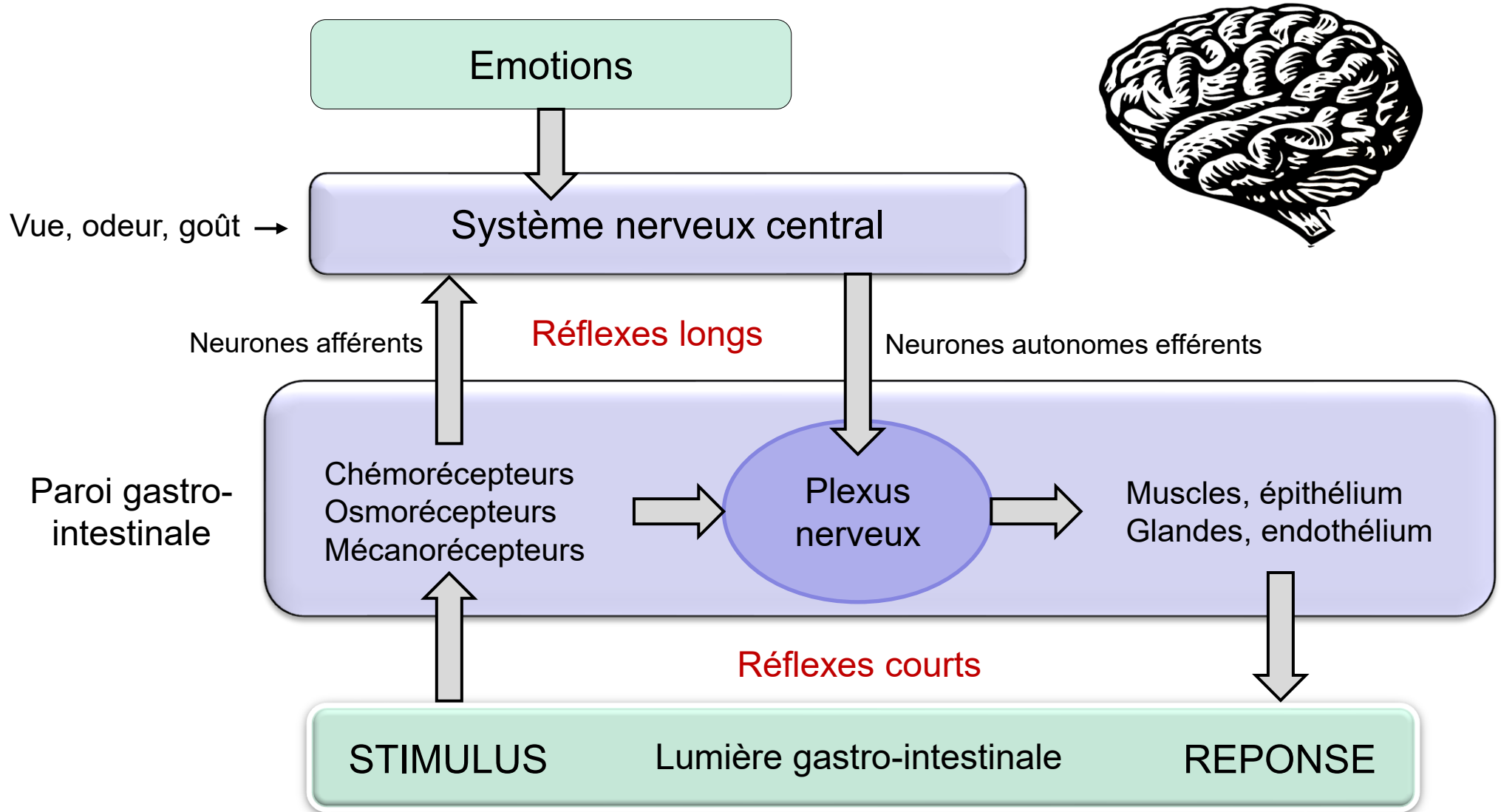
# Système Nerveux Parasympathique

## Effets





# Réflexes longs et réflexes courts



# Quelques réflexes

**gastro-gastrique** : le remplissage de l'estomac s'accompagne d'une relaxation de la musculature

**gastro-iléal** : le remplissage de l'estomac stimule le péristaltisme intestinal et ouvre le sphincter iléo-coecal

**entéro-gastrique** : la présence de chyme acide dans l'intestin grêle diminue la sécrétion gastrique et augmente la contraction du pylore

**côlo-côlique** : la distension du côlon entraîne la contraction du sphincter iléo-coecal

# L'excrétion

## côlon

mouvements de masse (1x / 6-8h) → remplissage du rectum

## rectum

l'étirement de la paroi déclenche le réflexe de défécation (péristaltisme, relâchement du sphincter anal interne)

## canal anal

muscle strié volontaire du sphincter anal externe contrôle la défécation

# Régulation de la digestion – Cours du Dr. T. Brun

## Neuro-endocrine

Système nerveux central

Système nerveux autonome

Cellules endocrines du TD

Gastrine (G)

Histamine (ECl)

Cholécystokinine (I)

Sécrétine (S)

Somatostatine (D)

...

+ ≈ 30 c. produisant des peptides

Action hormonale (via la circulation): ex. Sécrétine

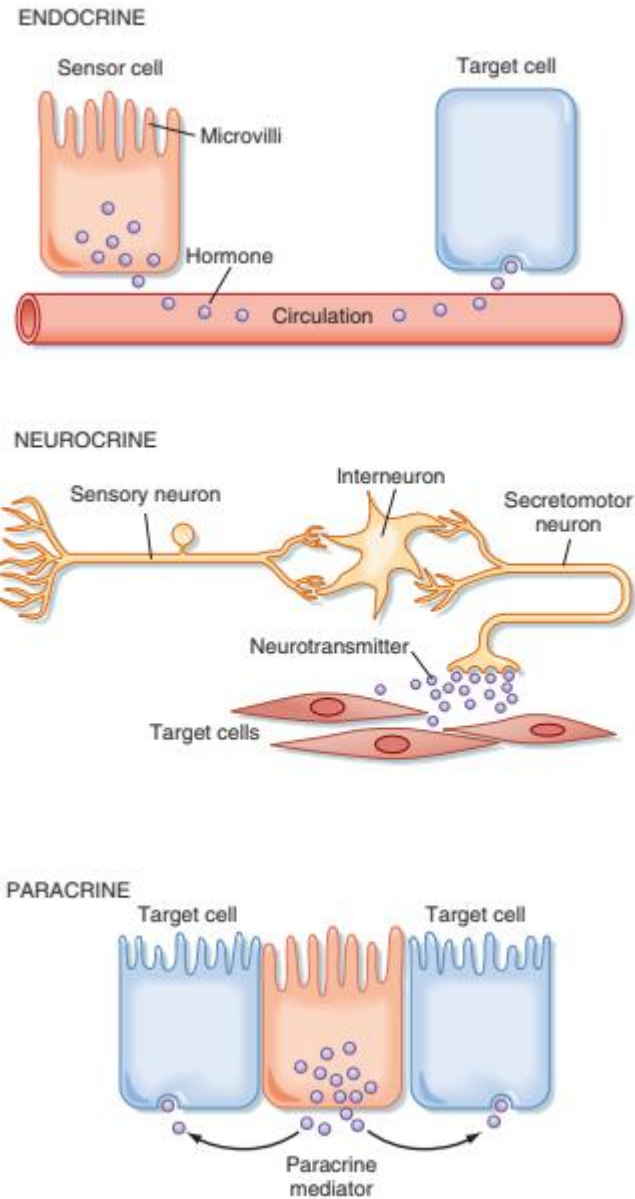
Action hormonale et nerveuse : ex. CCK

Action paracrine (diffusion locale) : ex. Somatostatine

Action hormonale et paracrine : ex. Gastrine

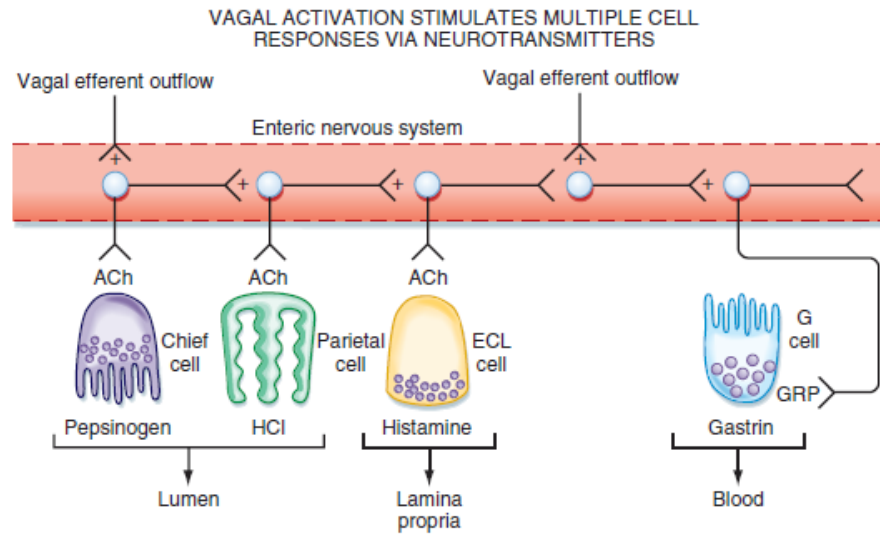


# Régulation de la digestion



• **Fig. 27.4** The three mechanisms by which function in the GI tract is regulated in the integrated response to a meal.

# Exemple de régulation de la digestion par le système parasympathique



• **Fig. 29.9** Vagal parasympathetic stimulation of gastric secretions via enteric neurons. Vagal preganglionic neurons innervate the myenteric and submucosal plexus. The terminals of the vagal preganglionic neurons innervate many enteric neurons and thus bring about changes in function as described in Fig. 29.7. ACh, acetylcholine; GRP, gastrin-releasing peptide.

# Régulation intégrée de la digestion

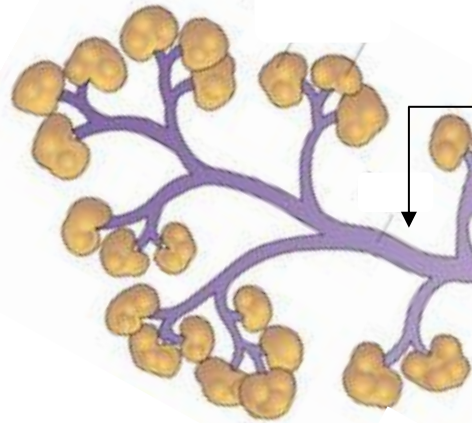
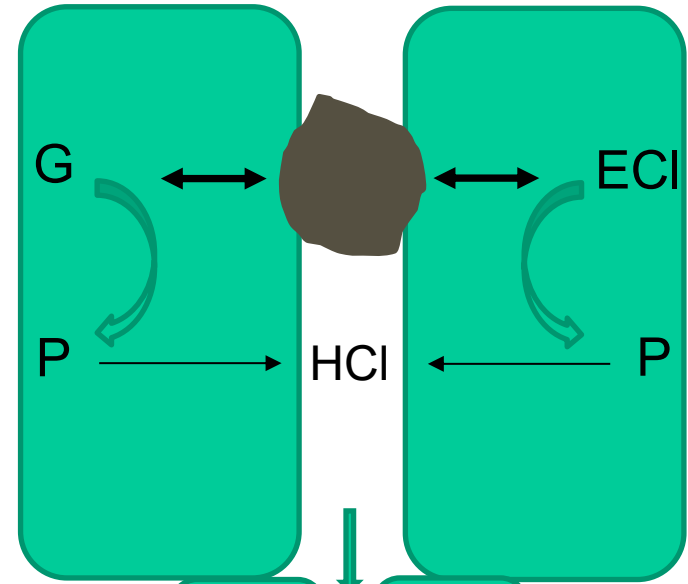


X, ACh

ACh, G

MOTILITE

Estomac

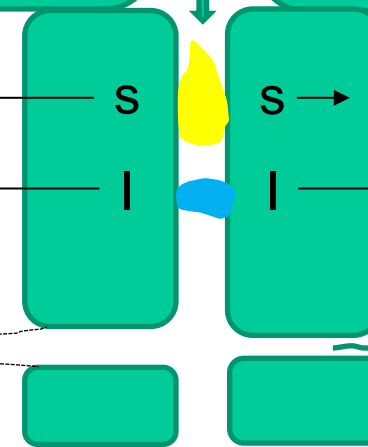


S

CCK

$\text{HCO}_3^-$

Enzymes



Brunner

CCK

Bile

Duodenum

# Plan du cours: Le système digestif

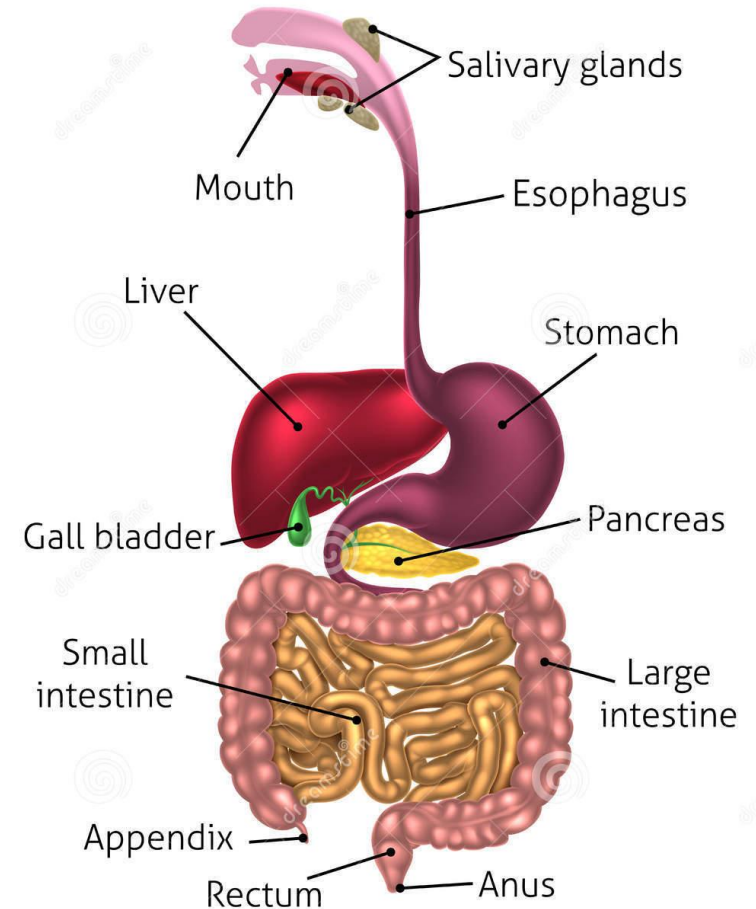
Modification fonctionnelle de la paroi du tube digestif

Les glandes annexes et leurs sécrétions

Mécanistique et régulation de la motilité

**Transports ioniques: généralités**

Flore microbienne: introduction



# Propriétés des sécrétions gastro-intestinales (GI)

- **Origine des sécrétions du tractus gastro-intestinal (GI)**

- Glandes associées au tractus : glandes salivaires, pancréas, foie
- Glandes de la paroi intestinale (ex. glandes sous-muqueuses de l'œsophage et du duodénum)
- Muqueuse intestinale elle-même

- **Variabilité des sécrétions**

- La nature des produits sécrétoires varie selon la fonction de chaque région du tractus GI
- Malgré cette diversité, les sécrétions partagent des caractéristiques communes

- **Composition des sécrétions GI**

- Eau
- Électrolytes
- Protéines
- Agents humoraux

# Propriétés des sécrétions GI

## • Rôle fonctionnel des composants

- **Eau** : création d'un milieu aqueux indispensable à l'action enzymatique
- **Électrolytes** : génération de gradients osmotiques favorisant le mouvement de l'eau
- **Enzymes digestives** : catalyse de la dégradation des macronutriments alimentaires
- **Autres protéines** :
  - Fonctions bien établies (mucines, immunoglobulines)
  - Fonctions en cours d'élucidation (*peptides tréfoil*)

## • Contrôle de la sécrétion

- Déclenchée par des signaux liés au repas :
  - chimiques
  - osmotiques
  - mécaniques
- Médiée par des substances effectrices spécifiques appelées **sécrétagogues**

## • Mécanismes d'action des sécrétagogues

- Endocrinien
- Paracrinien
- Neurocrinien

# Constituants des sécrétions

Les composants sécrétoires **organiques** sont spécifiques d'une glande ou d'un organe et dépendent de la fonction de cette région de TD.

Leurs constituants **organiques** sont :

- **des enzymes** (pour la digestion) ;
- **de la mucine** (pour la lubrification et la protection de la muqueuse) ;
- **d'autres facteurs** comme des facteurs de croissance, des immunoglobulines, des acides biliaires et des facteurs d'absorption.

Les composants sécrétoires **inorganiques** sont également spécifiques d'une région ou d'une glande, selon les conditions requises dans cette partie du tractus GI.

Leurs constituants **inorganiques** sont des électrolytes, notamment  $H^+$  et  $HCO_3^-$ .

Exemples :

- l'acide chlorhydrique (HCl) dans l'estomac, essentiel pour activer la pepsine et initier la digestion des protéines ;
- le bicarbonate ( $HCO_3^-$ ) dans le duodénum, qui neutralise l'acide gastrique.



# Les sécrétions principales GI

## Enzymes

- cavité buccale, estomac, pancréas exocrine  
→ digestion des glucides, lipides, protéines et acides nucléiques

## Mucus

- glandes salivaires, œsophage, estomac, duodénum, jéjunum, iléon, côlon, rectum, canal anal  
→ protection des muqueuses, lubrification du chyme et des parois

## HCl

- estomac (fundus et corps)  
→ digestion des protéines, protection contre les infections

## Sels biliaires

- foie  
→ digestion des graisses

## $\text{HCO}_3^-$

- cavité buccale, œsophage, estomac, duodénum, jéjunum, iléon, côlon, rectum, canal cystique, pancréas exocrine  
→ protège les muqueuses, neutralise l'acidité du suc gastrique

## IgA défensines

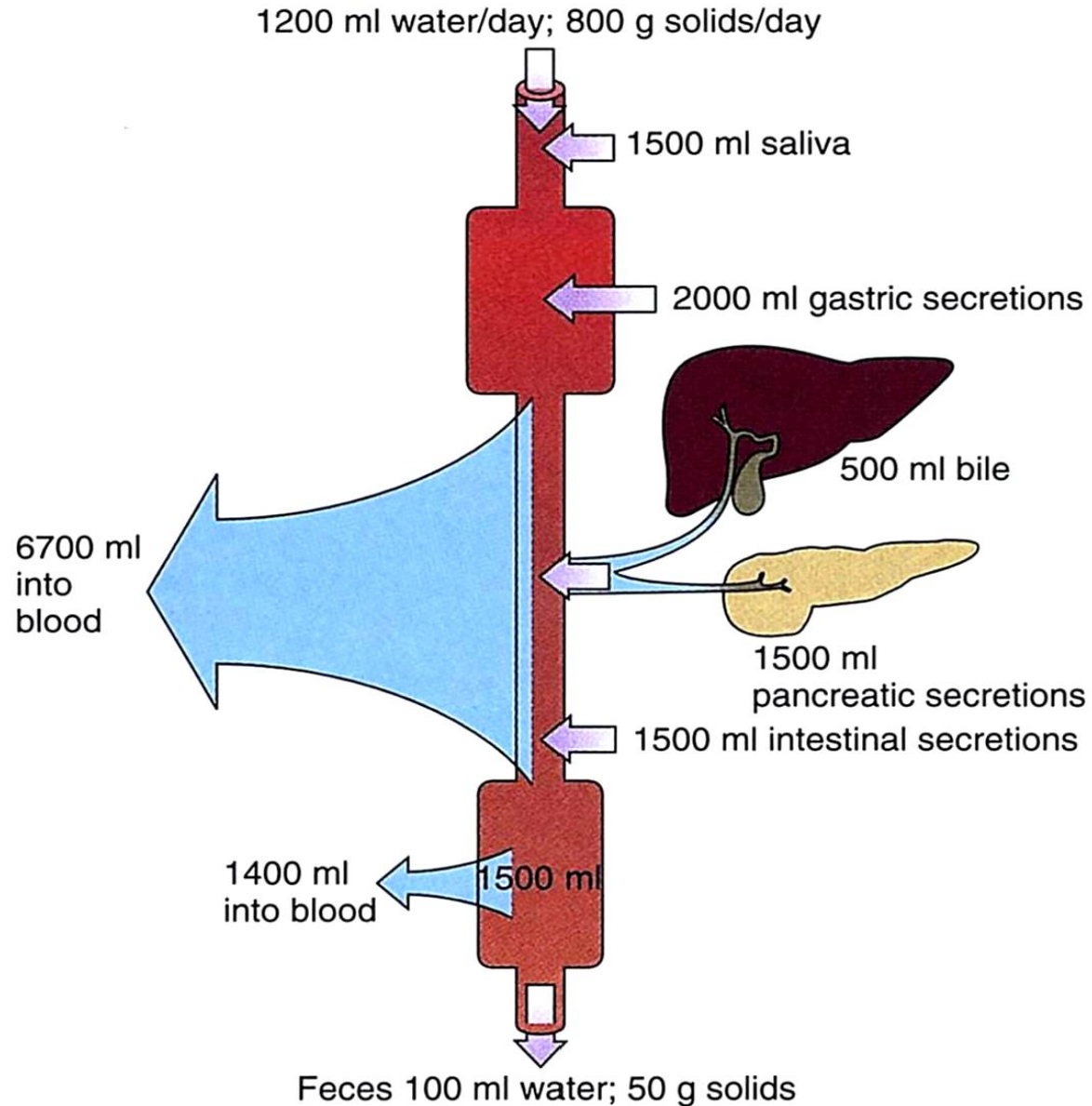
- jéjunum, iléon  
→ protection du tube digestif contre infections

## Eau

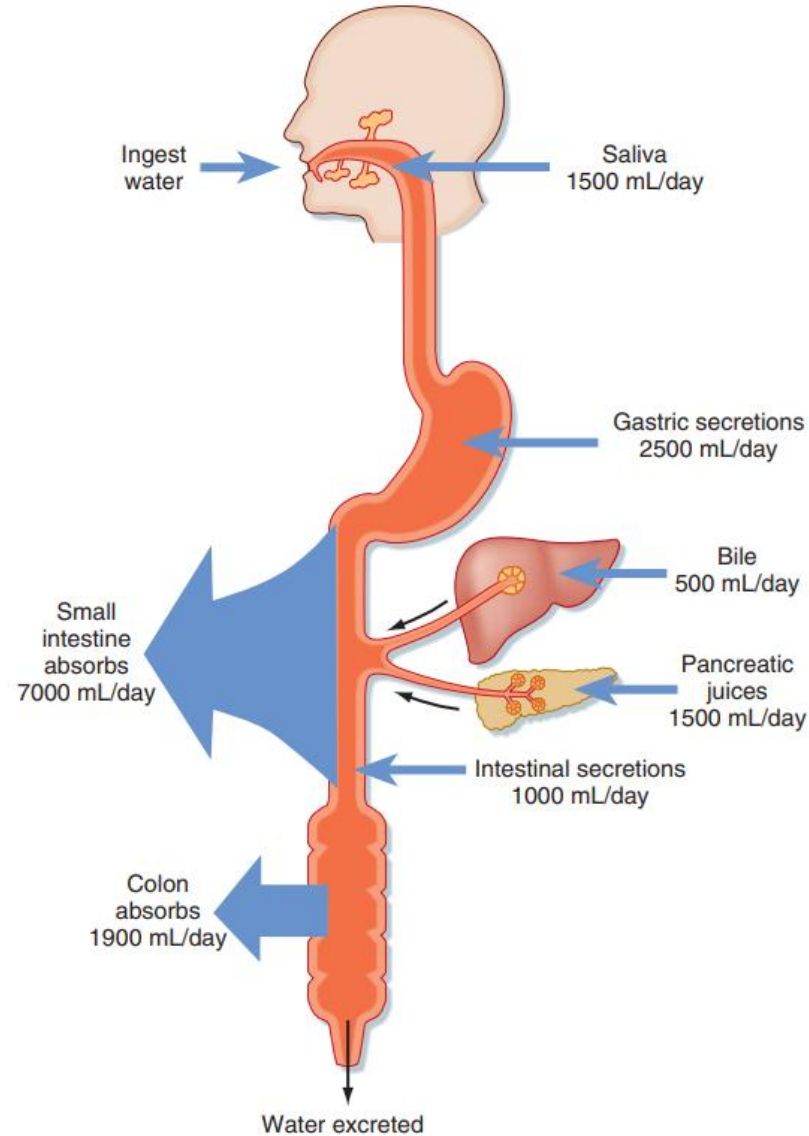
- cavité buccale, jéjunum, iléon, pancréas exocrine



# Le TD sécrète et absorbe beaucoup d'eau



# Le TD sécrète et absorbe beaucoup d'eau



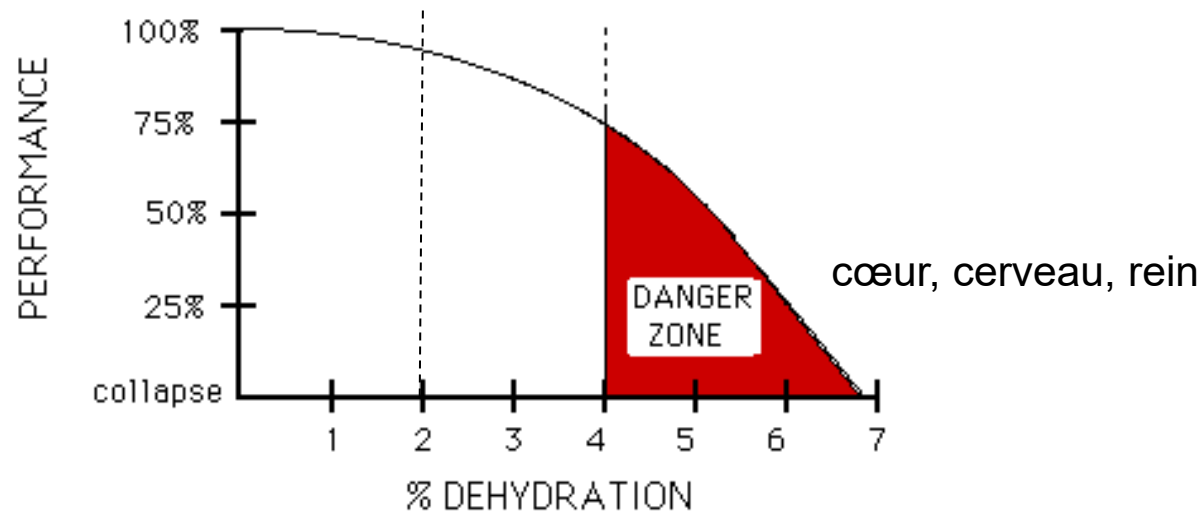
• **Fig. 30.16** Overall fluid balance in the human GI tract. About 1 to 2 L of water is ingested, and 8 L of various secretions enters the GI tract. Of this total, most is absorbed in the small intestine. About 2 L is passed onto the colon, the vast majority of which is absorbed in health. (From Vander AJ et al. *Human Physiology*. 6th ed. New York: McGraw-Hill; 1994.)



# Le bilan hydrique

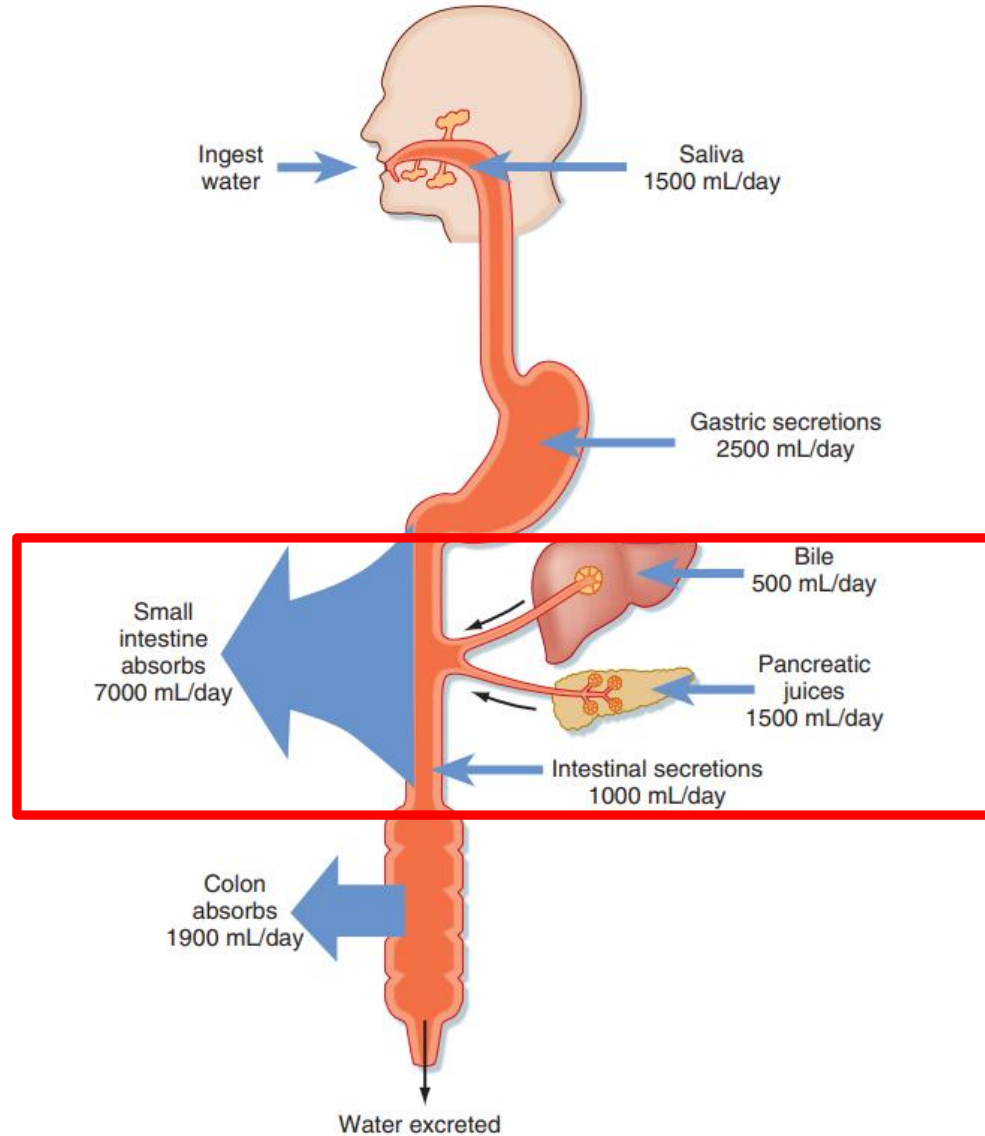
Un adulte contient 60 % d'eau	intracellulaire	67 %	28 l / 70 Kg
	extracellulaire	26 %	11
	plasmatique	7 %	3

Pertes obligées (sueur, respiration, *urine, selles*)  $\approx 1 + 1.5 = 2.5 \text{ l / j}$



Les nourrissons contiennent 15 % plus d'eau que les adultes et sont donc plus à risque!

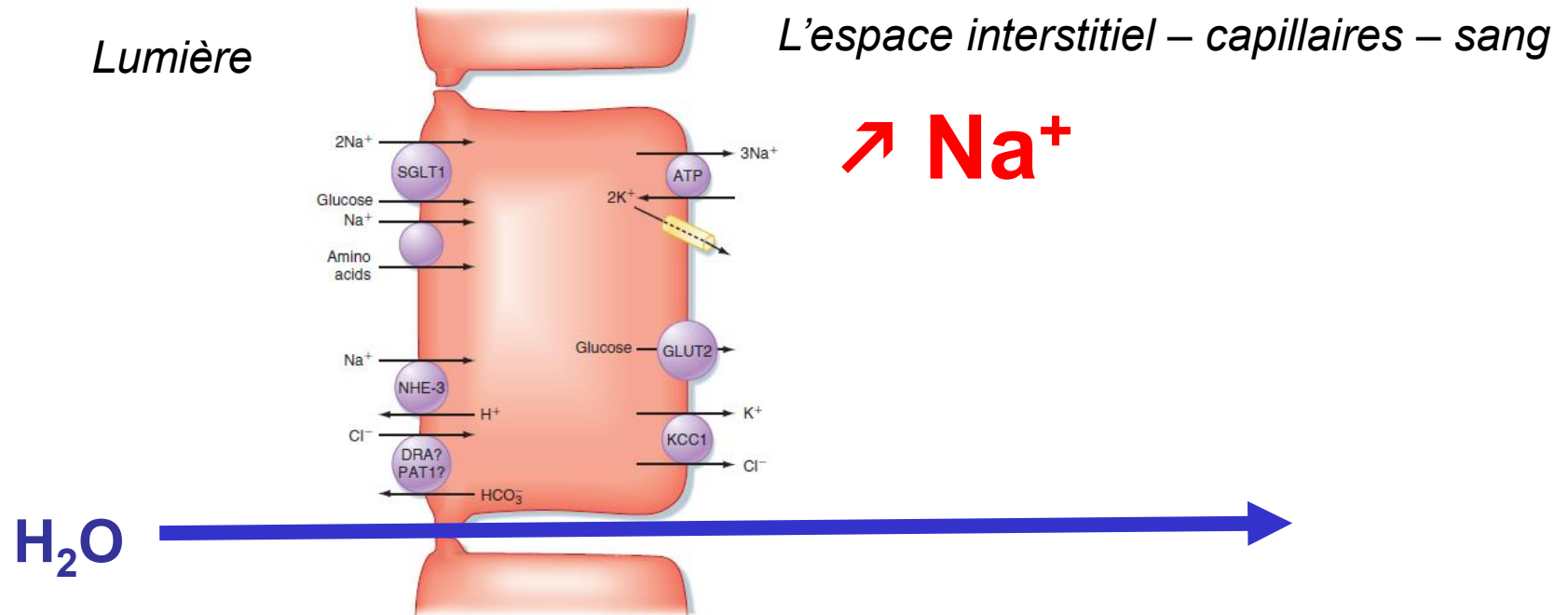
# Le TD sécrète et absorbe beaucoup d'eau



• **Fig. 30.16** Overall fluid balance in the human GI tract. About 1 to 2 L of water is ingested, and 8 L of various secretions enters the GI tract. Of this total, most is absorbed in the small intestine. About 2 L is passed onto the colon, the vast majority of which is absorbed in health. (From Vander AJ et al. *Human Physiology*. 6th ed. New York: McGraw-Hill; 1994.)



## Absorption d'eau par transport secondairement actif de glucose dans l'entérocyte par co-transporteur de glucose Na-dépendant, le SGLT1



Le transport de glucose s'accompagne d'un co-transport de Na (2 Na<sup>+</sup>/glucose)

⇒ **augmentation de Na<sup>+</sup> intracellulaire**

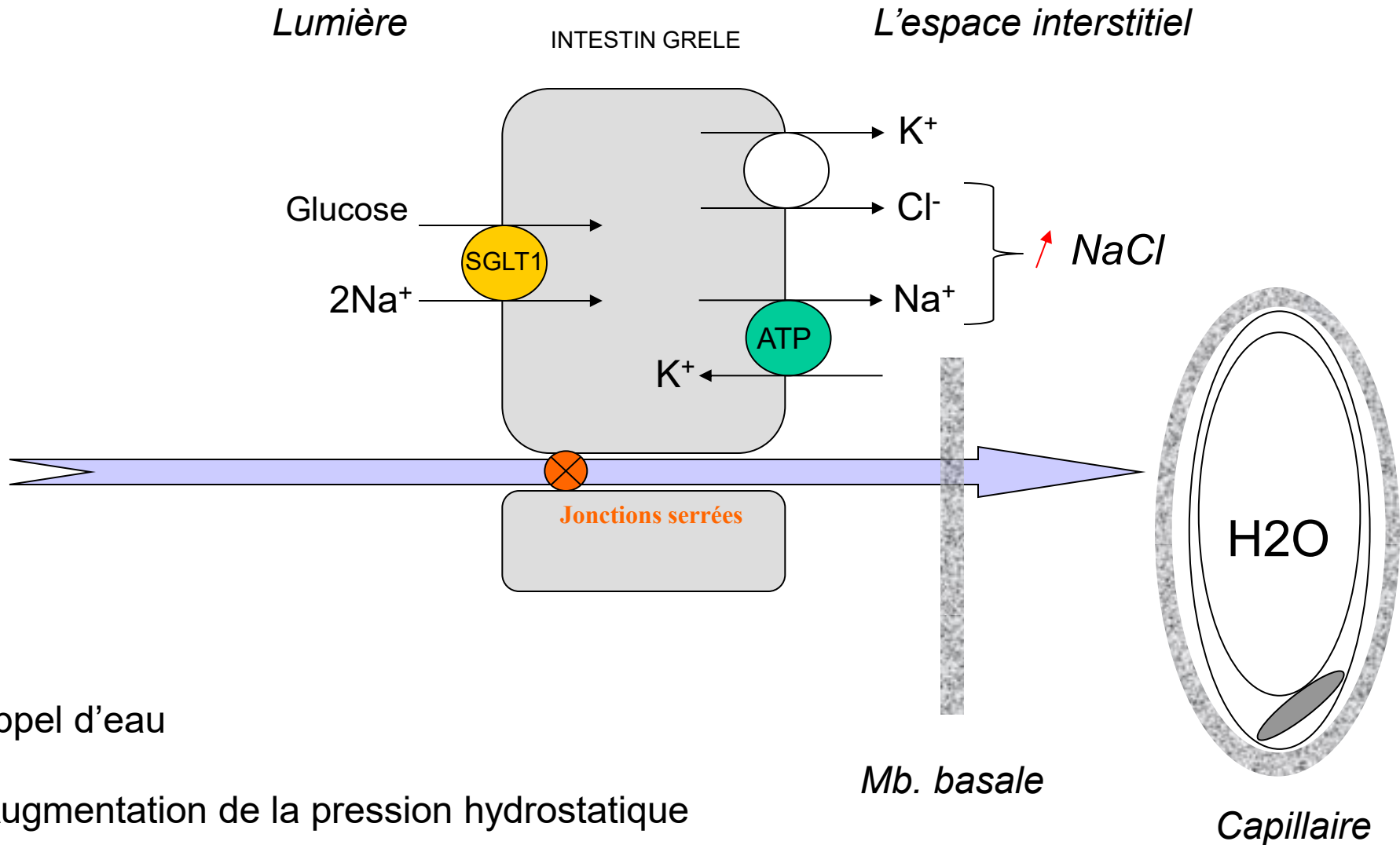
Le Na<sup>+</sup> est expulsé de l'entérocyte par **une Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ATPase** située sur le côté baso-latéral, 3 Na<sup>+</sup> sortent pour 2 K<sup>+</sup> entrant

L'augmentation de Na<sup>+</sup> dans l'espace interstitiel va augmenter la pression osmotique et créer un appel d'eau. Passage paracellulaire d'eau, les jonctions serrées sont perméables à eau

**Mécanisme important dans la réhydratation**



# L'absorption d'eau requiert la reconstitution du sodium

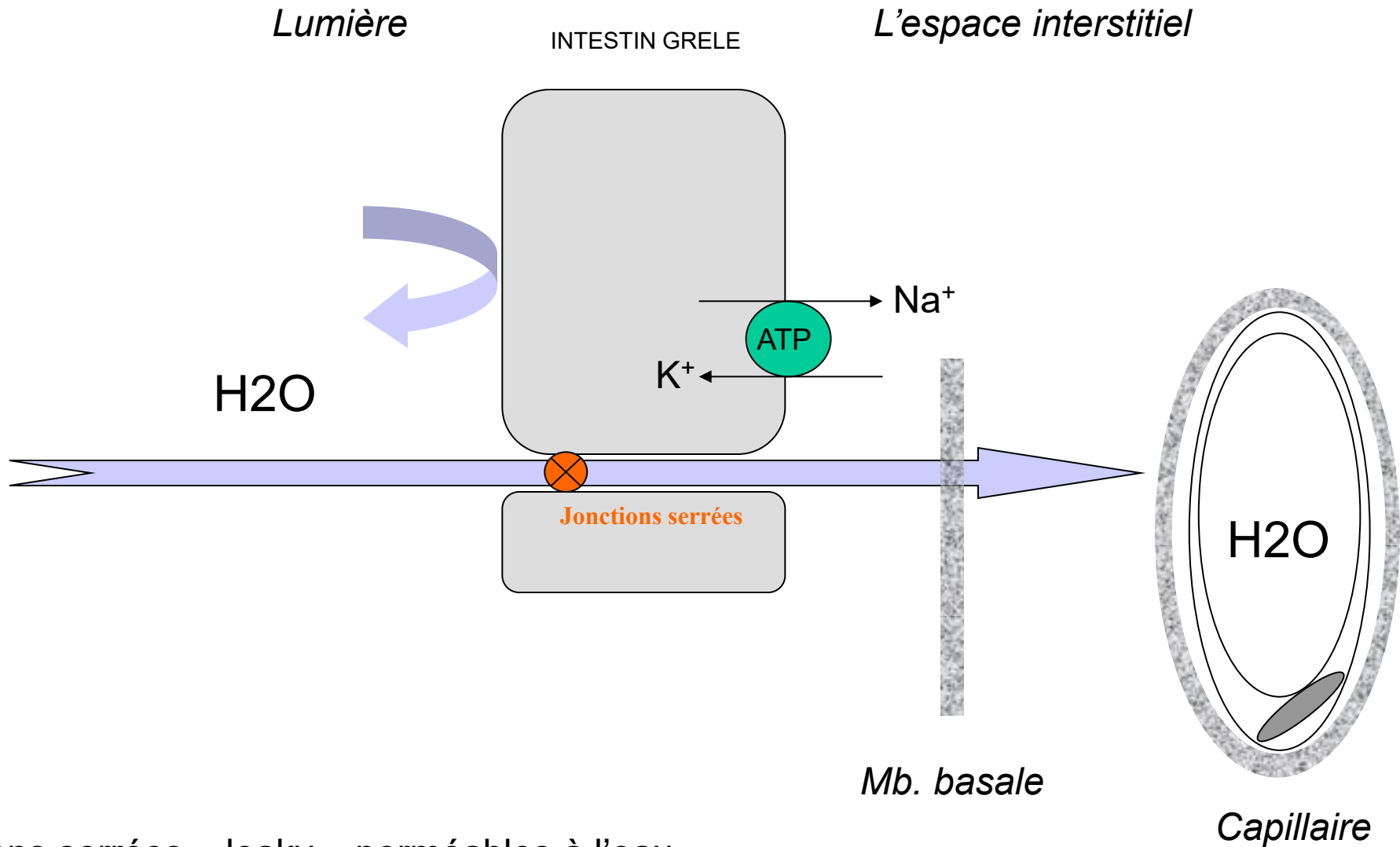


→ Appel d'eau

→ Augmentation de la pression hydrostatique

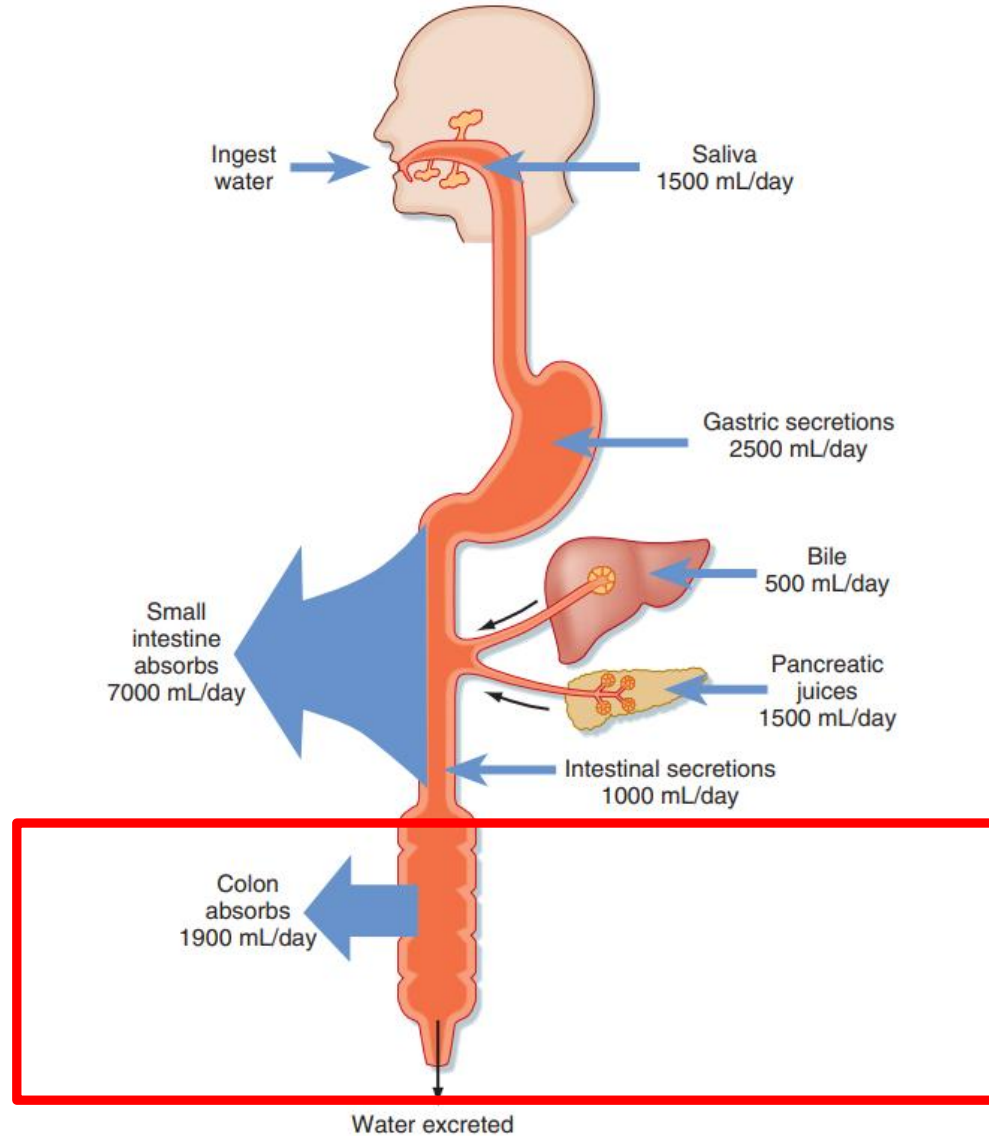


# L'absorption d'eau se fait par voie paracellulaire



Jonctions serrées « leaky » perméables à l'eau

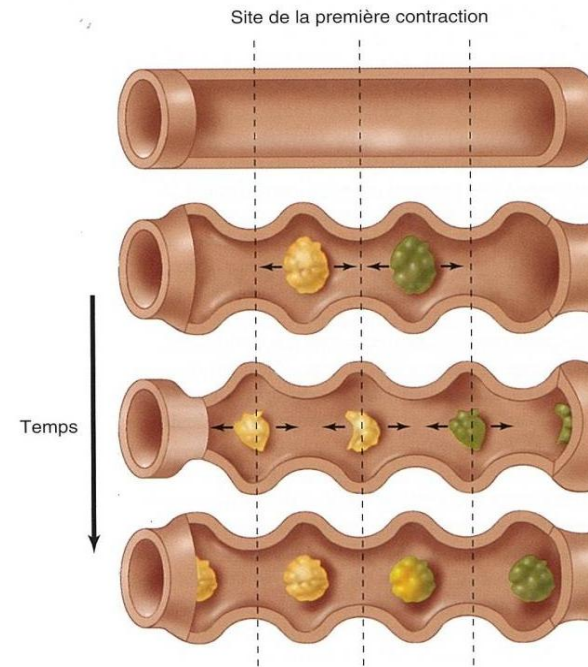
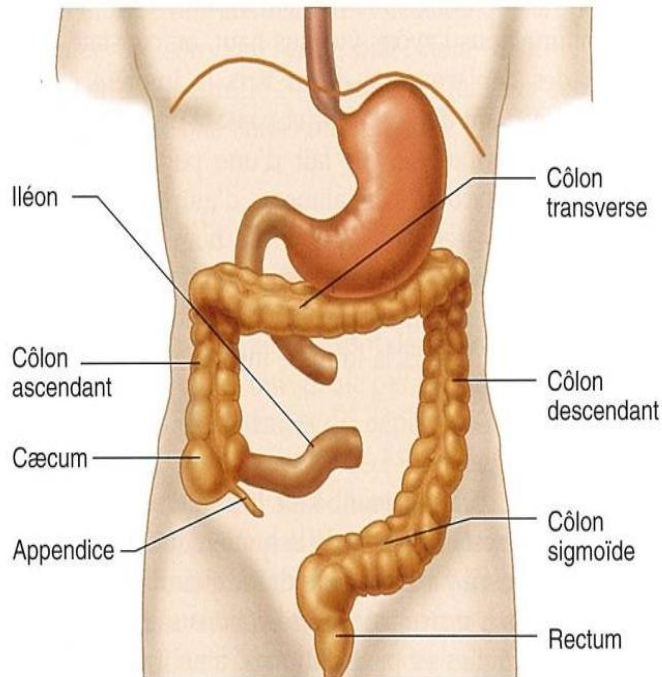
# Le TD sécrète et absorbe beaucoup d'eau



• **Fig. 30.16** Overall fluid balance in the human GI tract. About 1 to 2 L of water is ingested, and 8 L of various secretions enters the GI tract. Of this total, most is absorbed in the small intestine. About 2 L is passed onto the colon, the vast majority of which is absorbed in health. (From Vander AJ et al. *Human Physiology*. 6th ed. New York: McGraw-Hill; 1994.)



# Absorption de l'eau et des électrolytes résiduels et propulsion dans le côlon

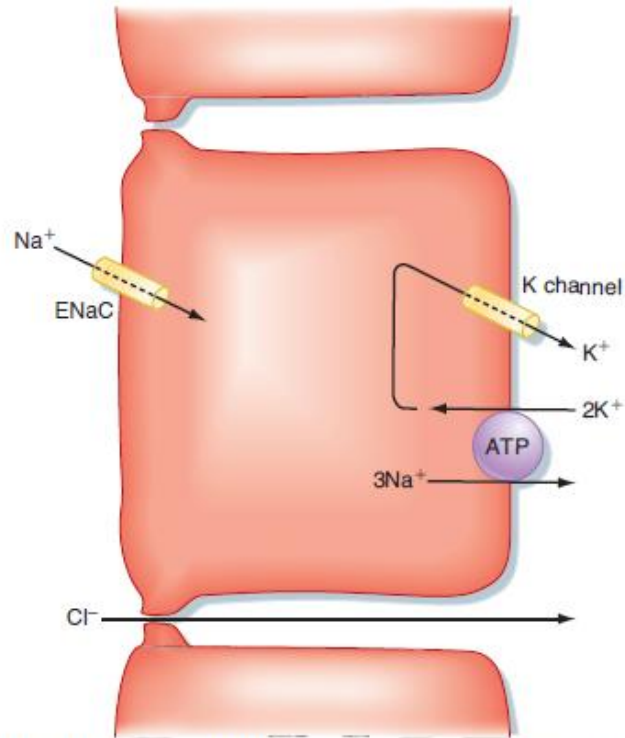


Segmentation

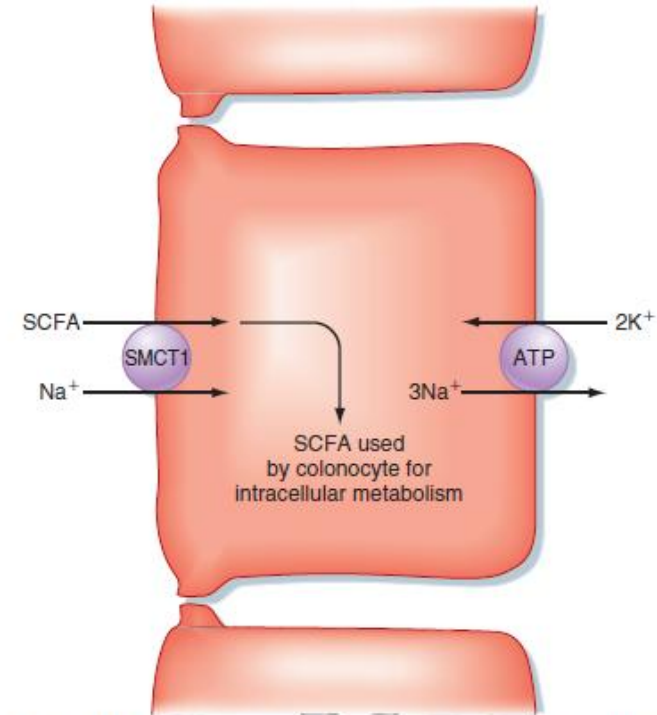
## Dans le côlon:

- absorption d'eau et d'électrolytes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ )
- sécrétion possible de  $\text{K}^+$  et de bicarbonate
- élimination des déchets

# Absorption de $\text{Na}^+$ et «uptake» de SCFA (short chain fatty acids) dans le côlon



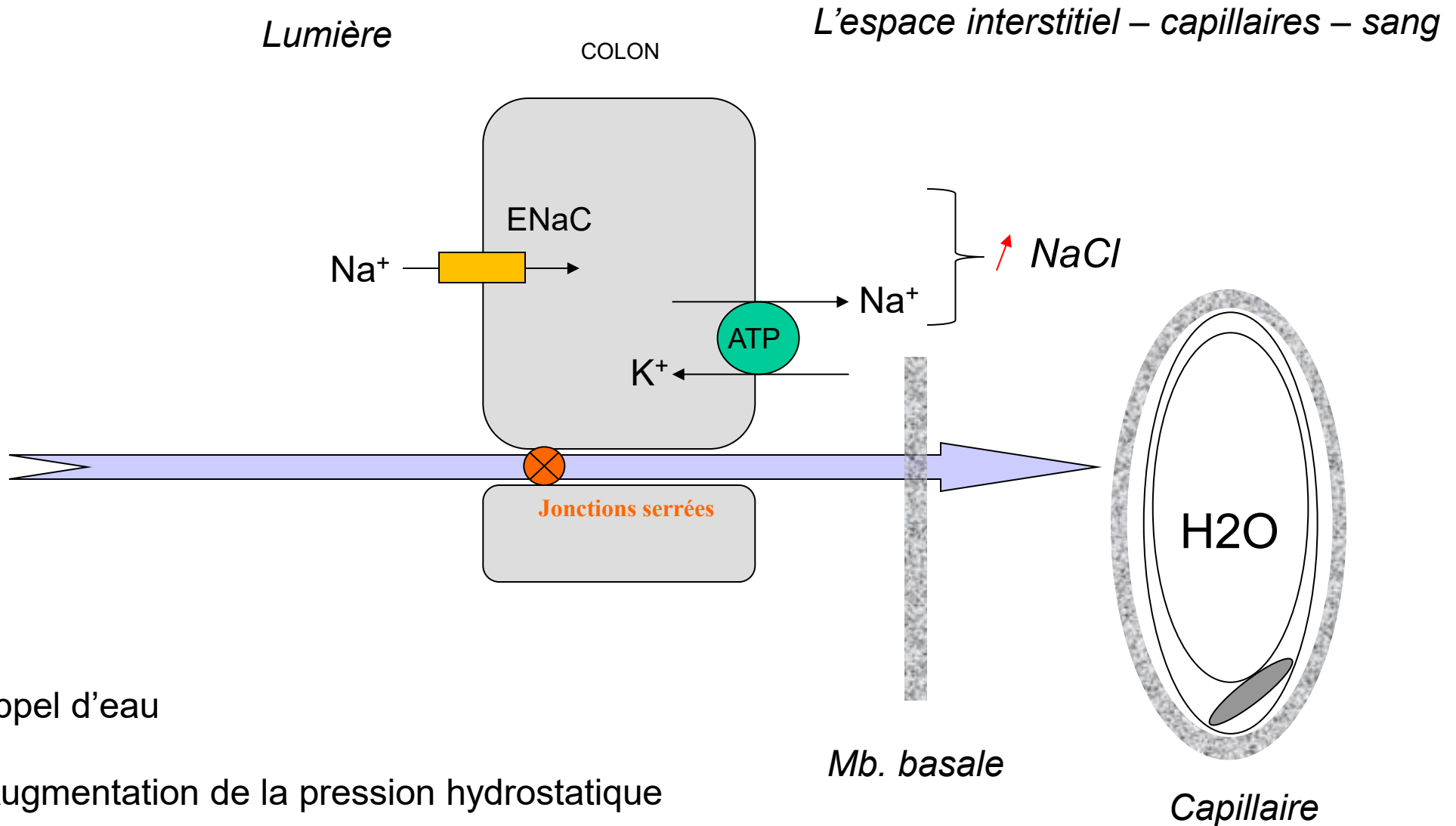
• **Fig. 31.5** Electrogenic  $\text{Na}^+$  absorption in the colon. ENaC, epithelial sodium channel.



• **Fig. 31.4** Mechanism of short-chain fatty acid (SCFA) uptake by colonocytes. ATP, adenosine triphosphate; SMCT1, sodium/monocarboxylate cotransporter 1.



# Le côlon utilise un mécanisme semblable mais...

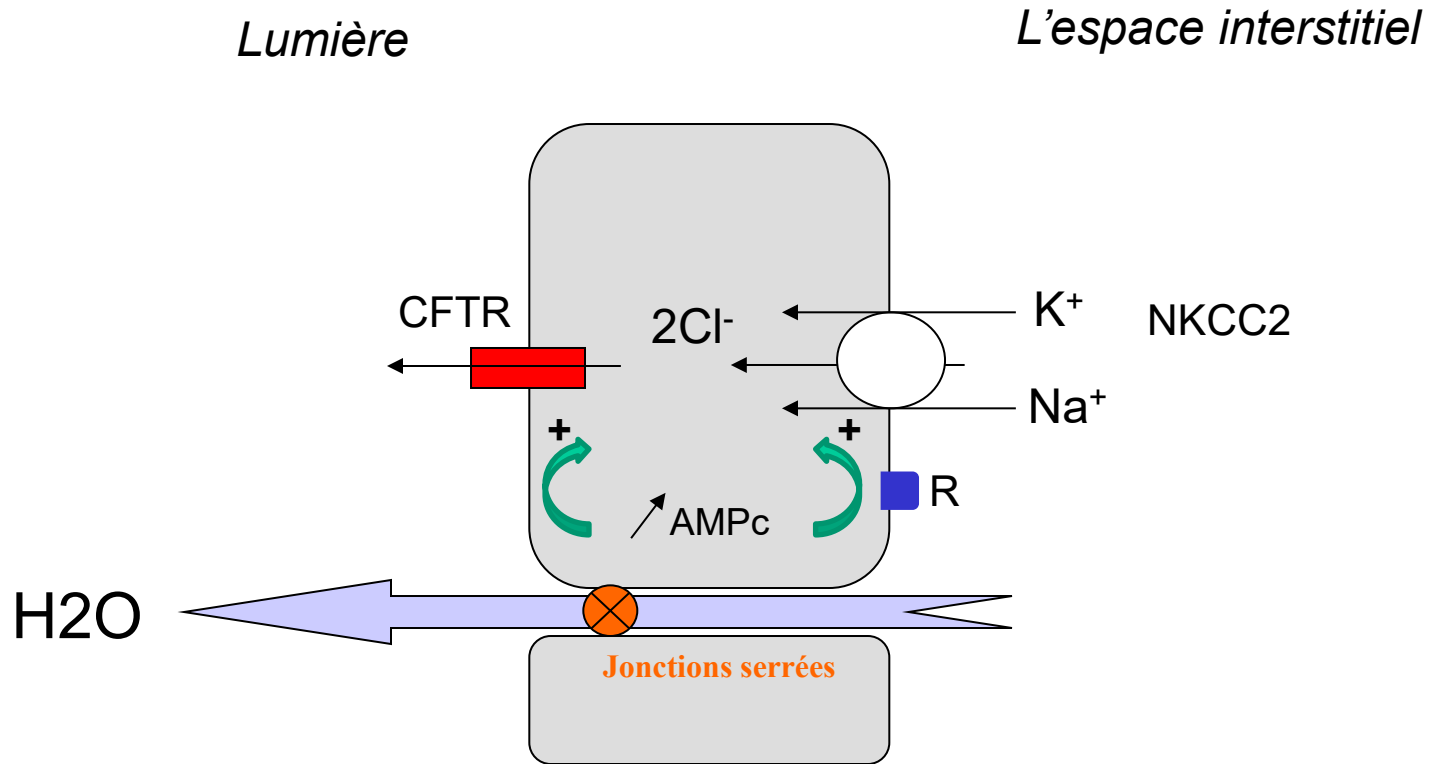


→ Appel d'eau

→ Augmentation de la pression hydrostatique

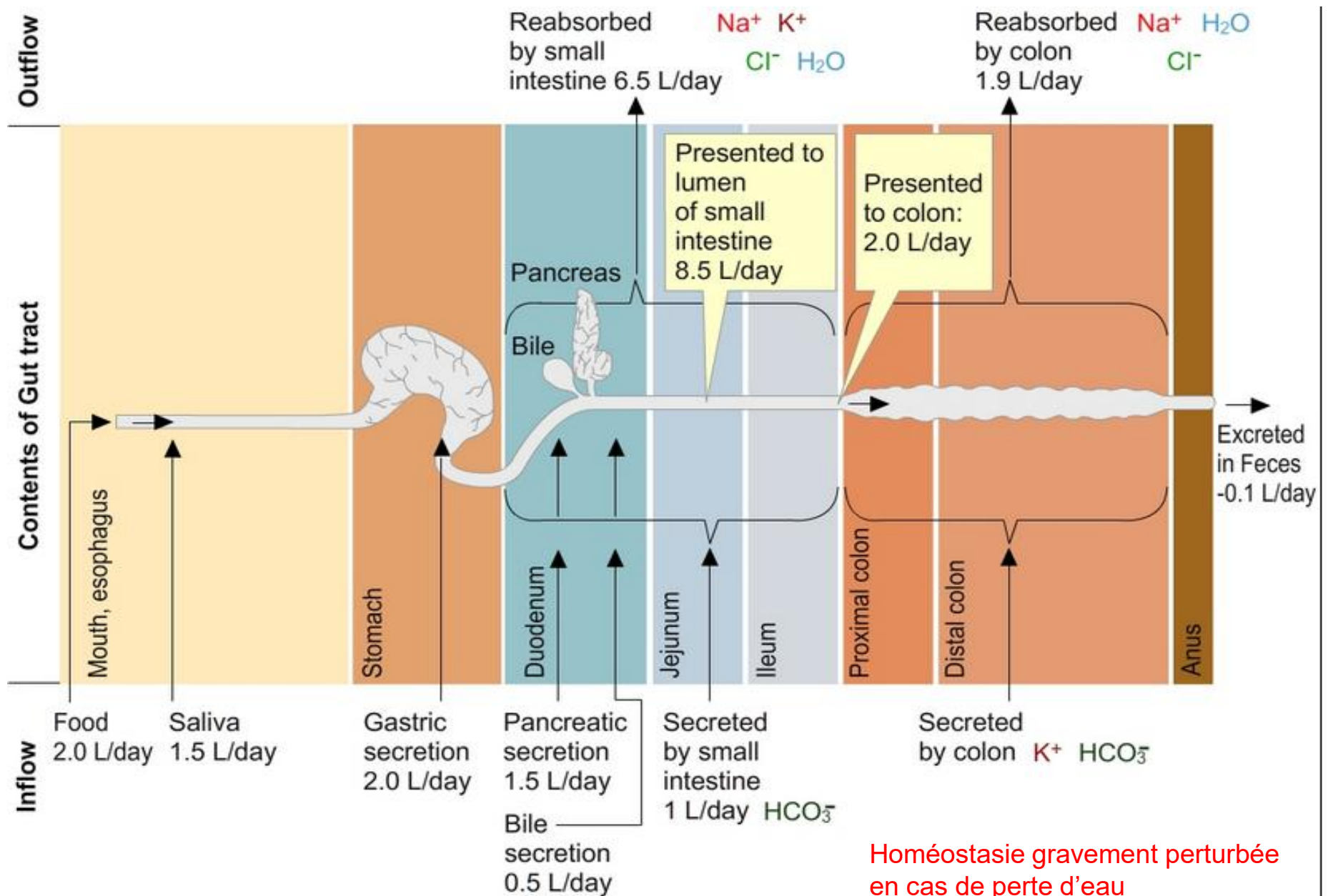


# La sécrétion d'eau par le côlon



Absorption (dominante) et sécrétion d'eau sont contrôlées par des nombreux neurotransmetteurs et hormones (agissent sur les entérocytes/colonocytes et la vascularisation)

# Balance des fluides dans le tractus gastro-intestinal



Homéostasie gravement perturbée en cas de perte d'eau



# L'absorption se fait tout au long du TD

cavité buccale	+/-	
pharynx, œsophage	-	
estomac	+	( alcool, aspirine, AINS, ... )
duodénum	++	( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Fe}^{2+}$ , ... )
jéjunum	+++++	( eau, sucres, acides gras, acides aminés, ... )
iléon	+++	( eau, sucres, acides gras, acides aminés, ... )
côlon	+	( eau )
rectum	+	( médicaments, ... )



# Les fèces

- résidus alimentaires non digérés (fibres,...)
- bactéries
- cellules desquamées
- couleur : aliments + métabolites de la bilirubine (produit de dégradation des globules rouges)
- consistance : contenu en eau, en graisses,...
- odeur : gaz provenant du métabolisme bactérien, acides gras,.....



# Les diarrhées avec déshydratation sont un problème mondial



**>7 millions d'enfants meurent par an avant l'âge de 5 ans dans le monde**

Selles > 200g / j

Fréquentes

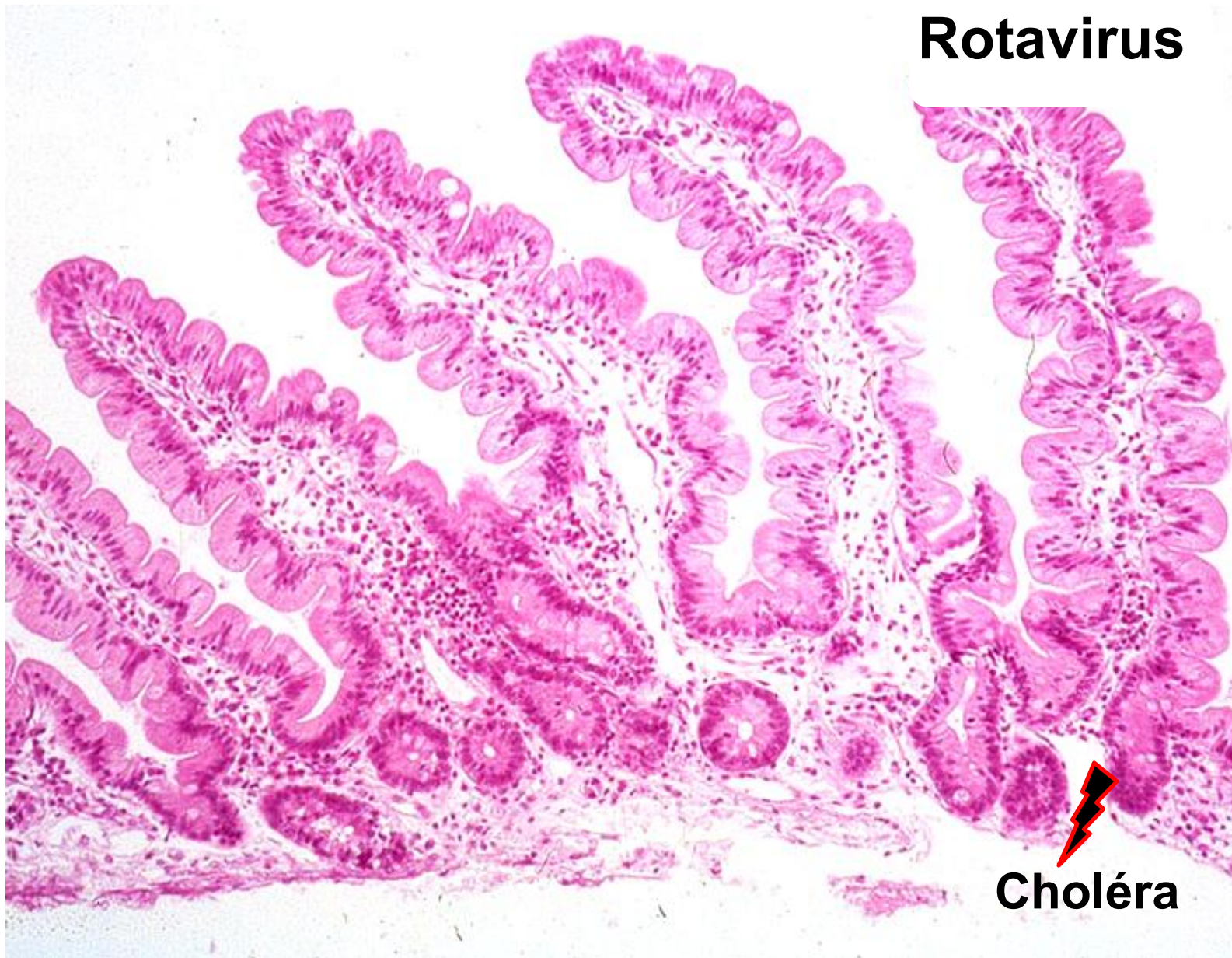
Aqueuses (60-80% d' eau)

↘ **Absorption**

↗ **Sécrétion**



# Diarrhée: exemples des causes infectieuses



**Rotavirus**

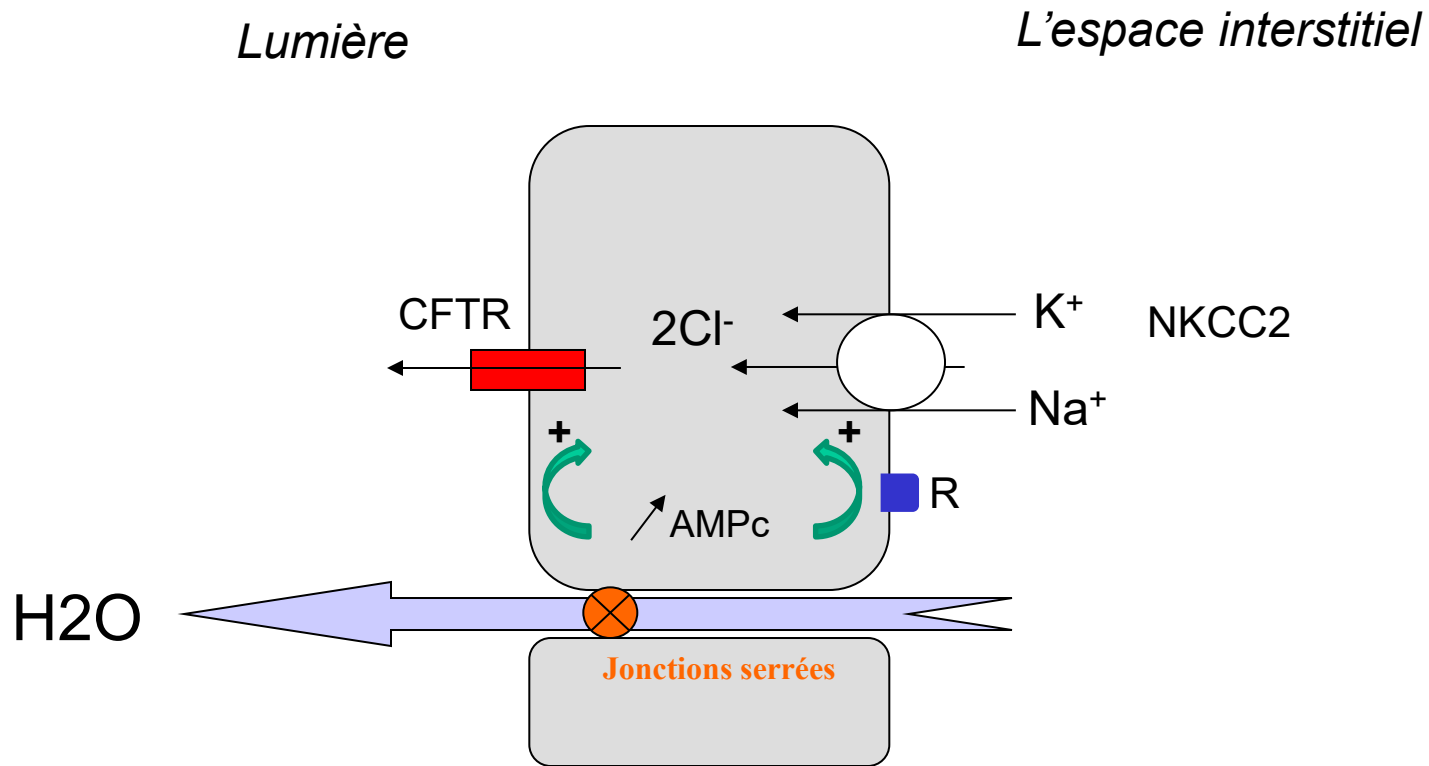
absorption  
( villosités )

**Shigella**

sécrétion  
( cryptes )

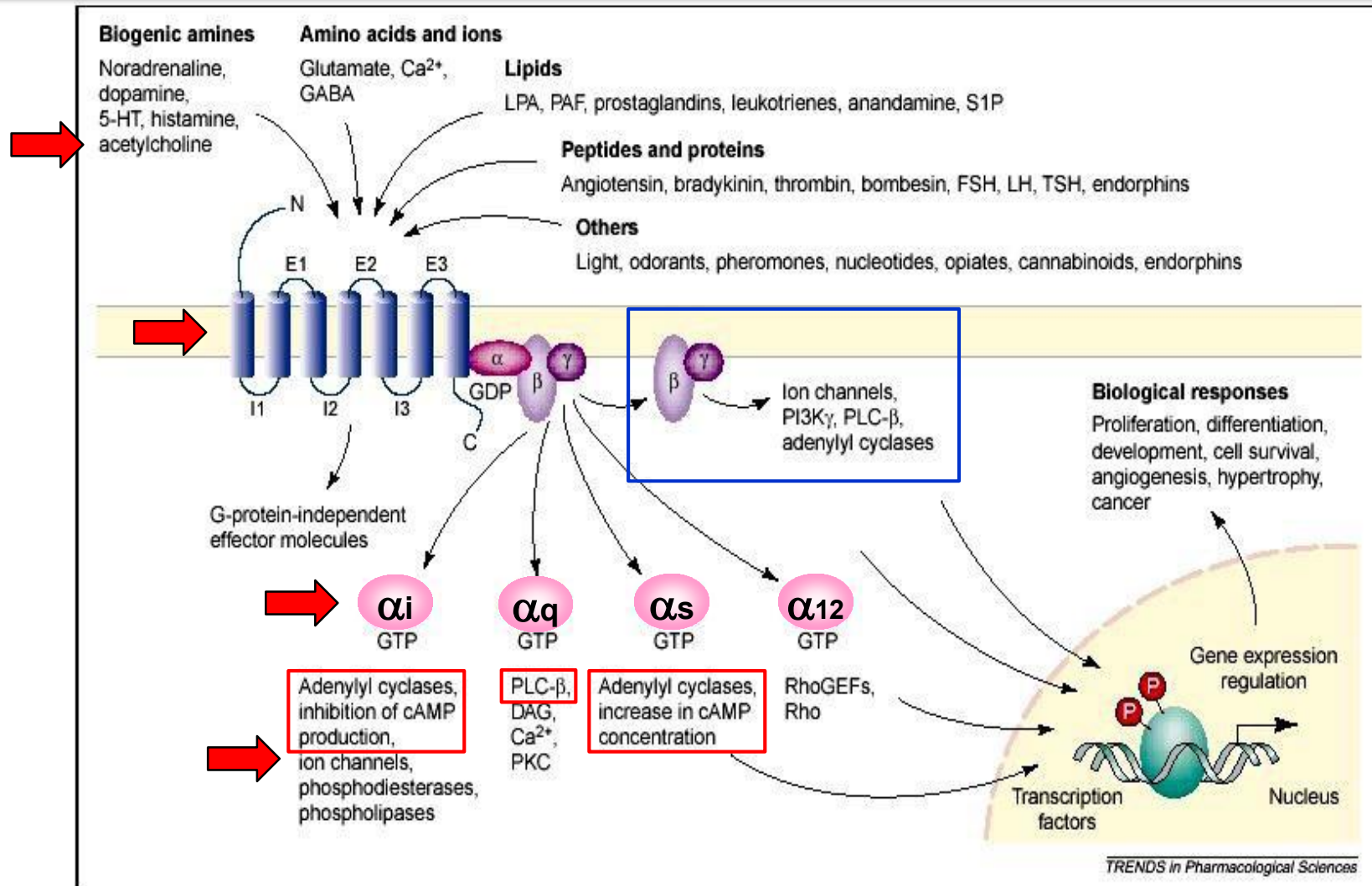
**Choléra**

# La sécrétion d'eau par le côlon

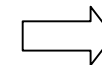
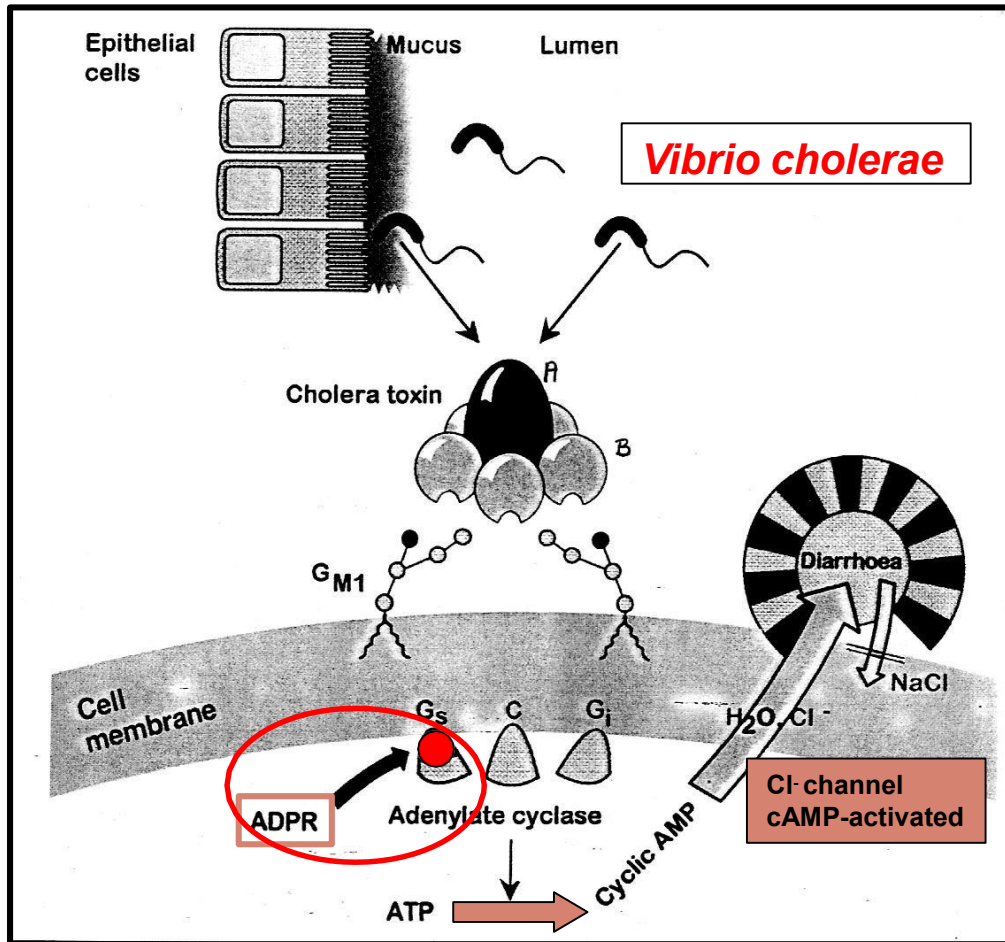


Absorption (dominante) et sécrétion d'eau sont contrôlées par des nombreux neurotransmetteurs et hormones (agissent sur les entérocytes/colonocytes et la vascularisation)

# G protein families and their multiple effectors



# Pathophysiology of cholera toxin



= DIARRHEA

(cf cystic fibrosis = opposite problem)

# Le traitement de la déshydratation

## Réhydratation

oral ( Sels Rehydratation Orale ) iso-osmolaire ( 300 mOsm / l )

NaCl	3.5 g / l eau	Na <sup>+</sup> (90 mOsmol / l ) moteur de l'absorption; Cl <sup>-</sup> (90 mOsmol / l ) pour maintenir l'électroneutralité
glucose	20.0	glucose (111 mOsmol / l) pour activer SGLT1
Na citrate	2.9	citrate (10 mOsmol / l ) pour corriger la baisse du pH sanguin, due à la perte de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
KCl	1.5	K <sup>+</sup> (20 mOsmol / l) pour compenser la perte de cet ion

progressif ≈ 20 ml / Kg / j

prolongé pendant 24 h

# Le système digestif

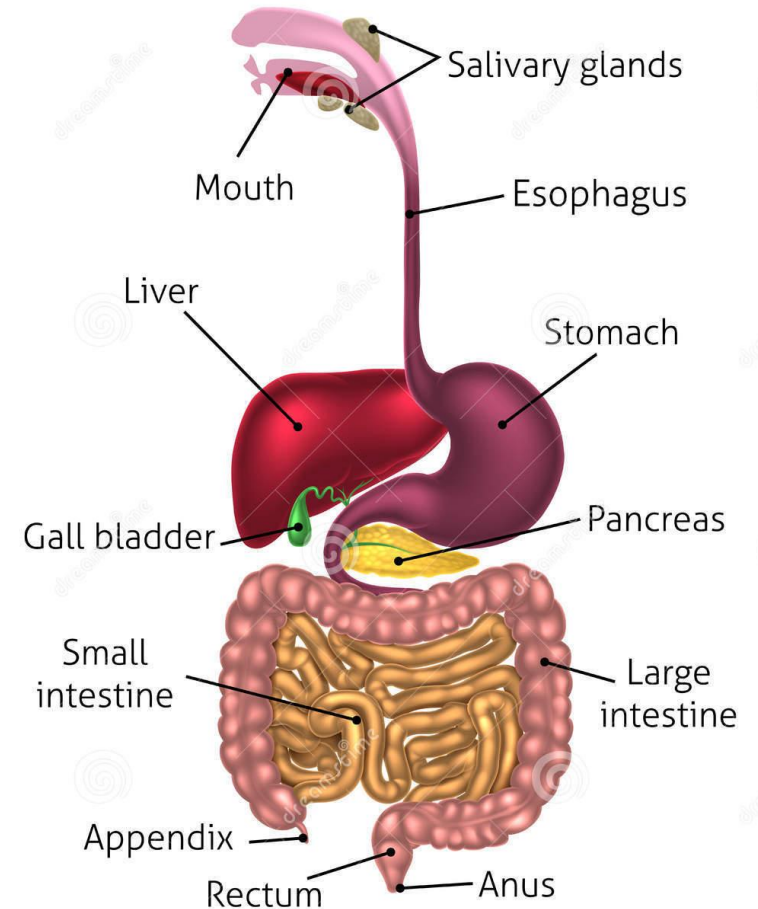
Modification fonctionnelle de la paroi du tube digestif

Les glandes digestives annexes

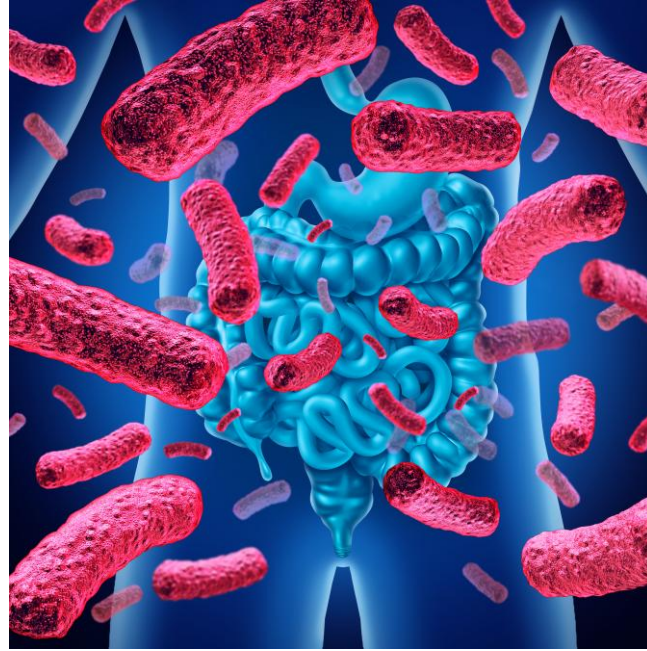
Mécanistique et régulation de la motilité

Sécrétion et absorption

Flore microbienne: introduction



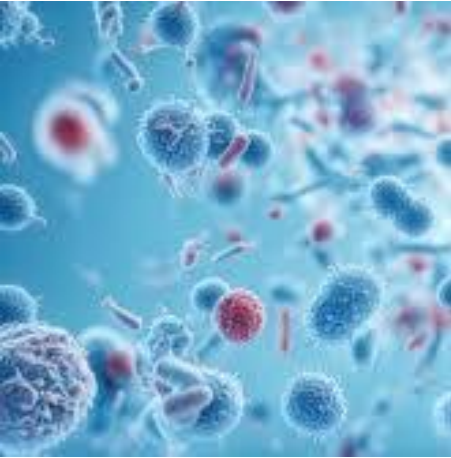
# Le microbiote



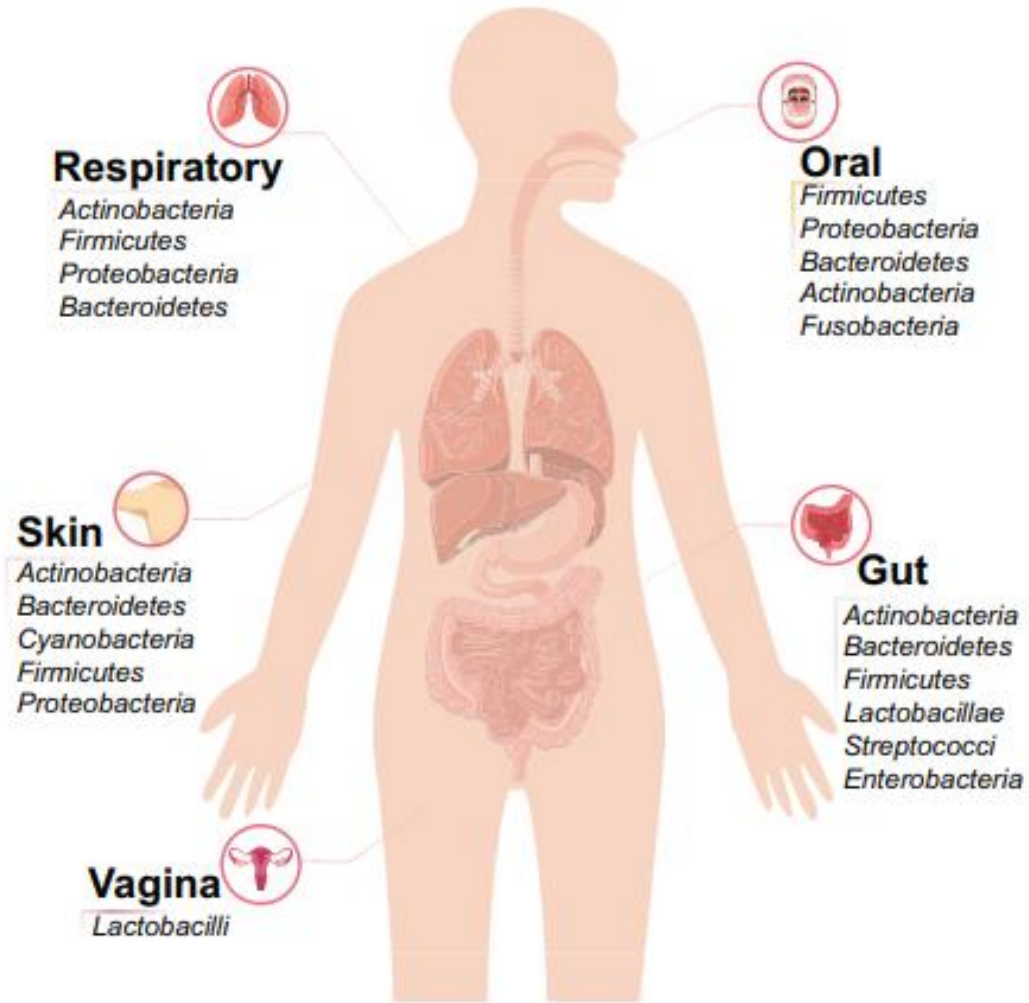
Nos cellules

relation mutualiste  
(symbiotique)

Nos bactéries



## Microbiota composition in different regions

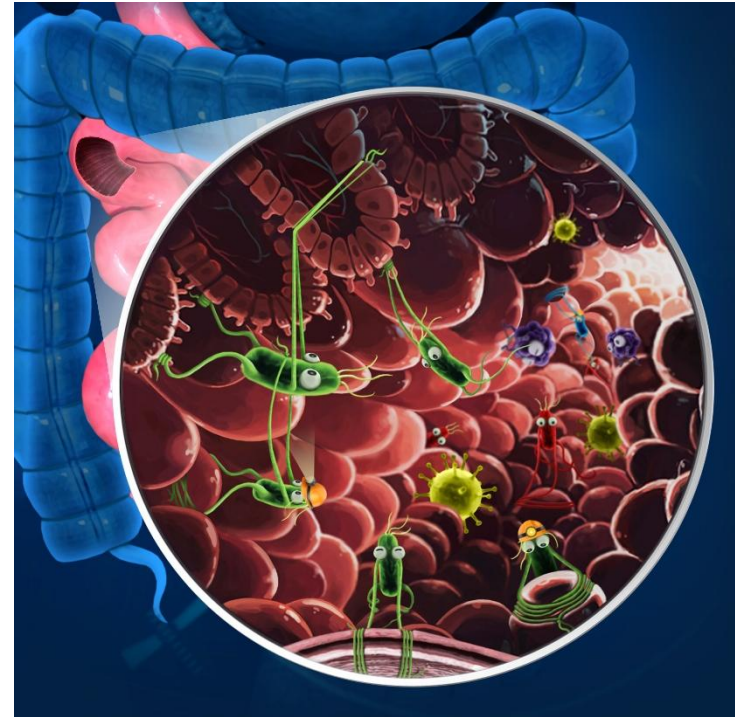


# Qu'est-ce que le microbiote intestinal et pourquoi en avons-nous un ?

---

## QUELQUES FAITS

- Le microbiote intestinal est composé de plusieurs milliards d'espèces = la moitié des cellules du corps humain.
- Le microbiote intestinal comprend plus de 3 000 espèces (principalement des bactéries anaérobies).
- Le génome du microbiote intestinal (microbiome) est environ 150 fois plus grand que le génome humain.
- Le microbiote intestinal peut peser jusqu'à 2 kg.
- Le microbiote intestinal nous aide à digérer des aliments qui seraient autrement indigestes (par exemple, les polysaccharides végétaux).
- Le microbiote intestinal nous aide à déconjuguer les acides biliaires conjugués à la glycine et à la taurine.
- Il combat les agressions d'autres micro-organismes.

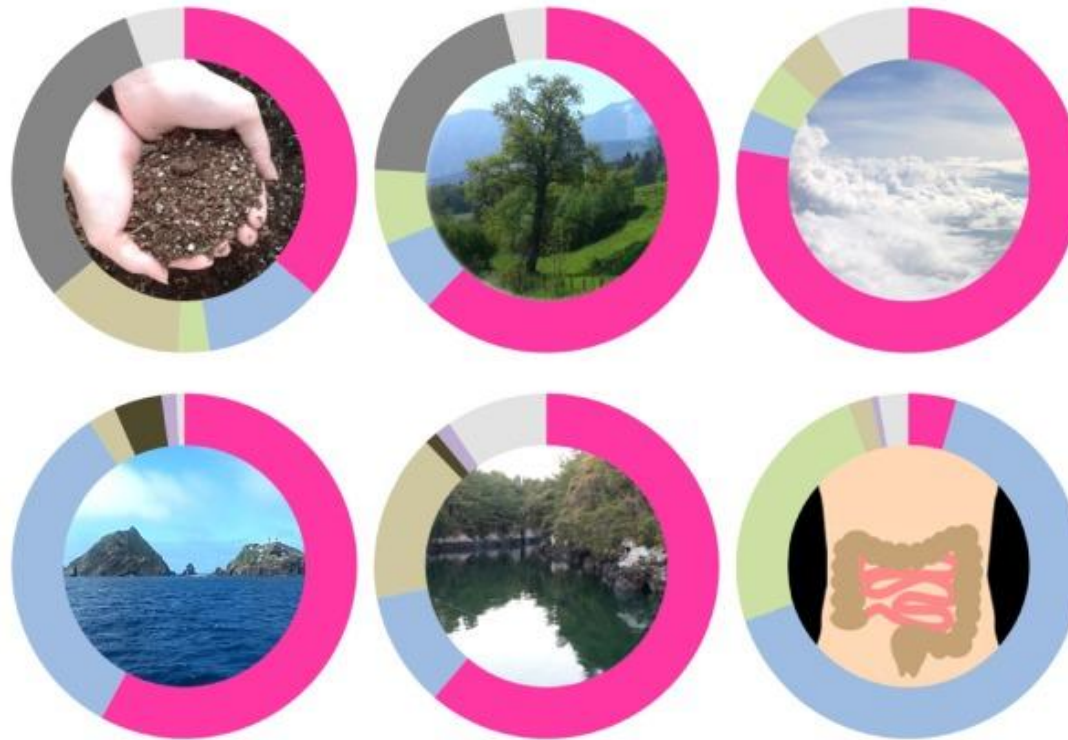


# Taxonomie bactérienne

---

<b>Taxonomic rank</b>	<b>Example</b>
Domain	Bacteria
Kingdom	Bacteria
Phylum	Proteobacteria
Class	$\gamma$ -Proteobacteria
Order	Enterobacteria
Family	Enterobacteriaceae
Genus	<i>Escherichia</i>
Species	<i>E. Coli</i>

# La composition bactérienne varie selon les spécimens naturels



	Relative abundance (%)					
	Soil	Plant leaf	Air	Ocean	Freshwater	Human gut
<i>Proteobacteria</i>	36.5	62.0	77.9	57.9	61.3	4.5
<i>Bacteroidetes</i>	11.2	7.0	3.9	32.8	10.8	65.4
<i>Firmicutes</i>	2.9	7.0	4.8	0.0	0.0	24.4
<i>Actinobacteria</i>	13.0	0.0	4.6	2.6	15.8	2.2
<i>Acidobacteria</i>	30.9	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Cyanobacteria</i>	0.0	0.0	0.0	4.5	1.3	0.0
<i>Verrucomicrobia</i>	0.0	0.0	0.0	1.4	1.5	0.7
<i>Others</i>	5.5	4.0	8.9	0.7	9.5	2.8

# Développement du microbiome

Stérile jusqu'à la naissance

Colonisation pendant l'accouchement

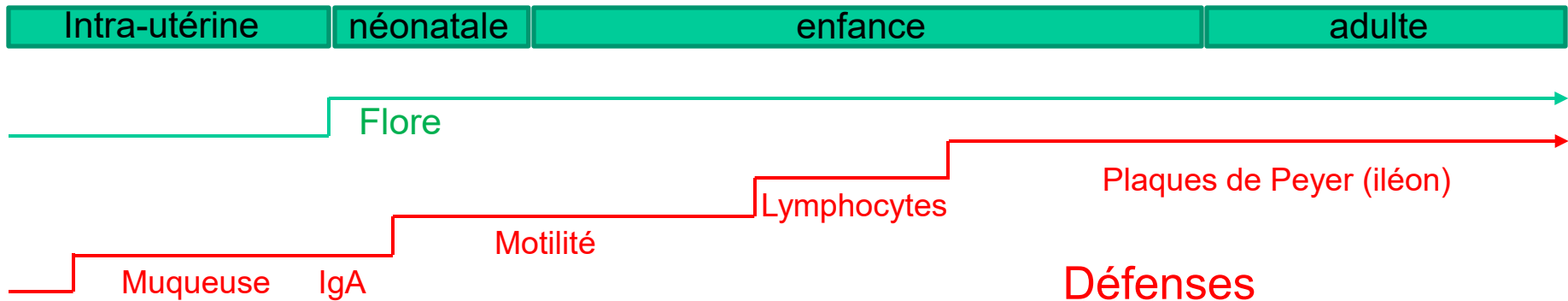
Colonisation dépend de l'alimentation

si allaitement maternel en 24 h 90% bifidobactères et lactobacilles

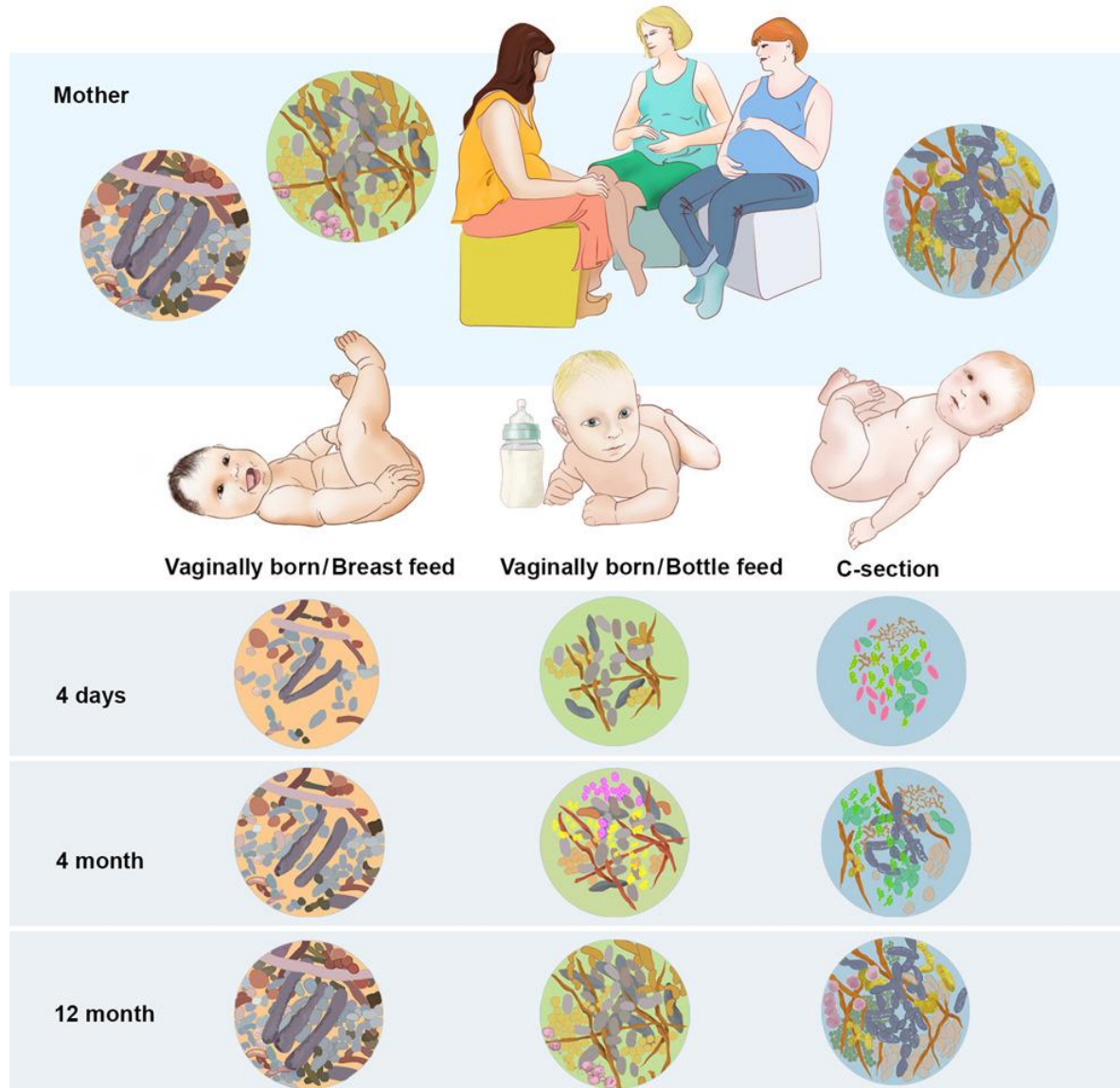
si allaitement synthétique, en 24h 90% entérocoques

Jour 1, surtout aérobies. Jour 2-3, 90% anaérobies. Jour 7,  $10^8$ - $10^{10}$  bactéries /g selles

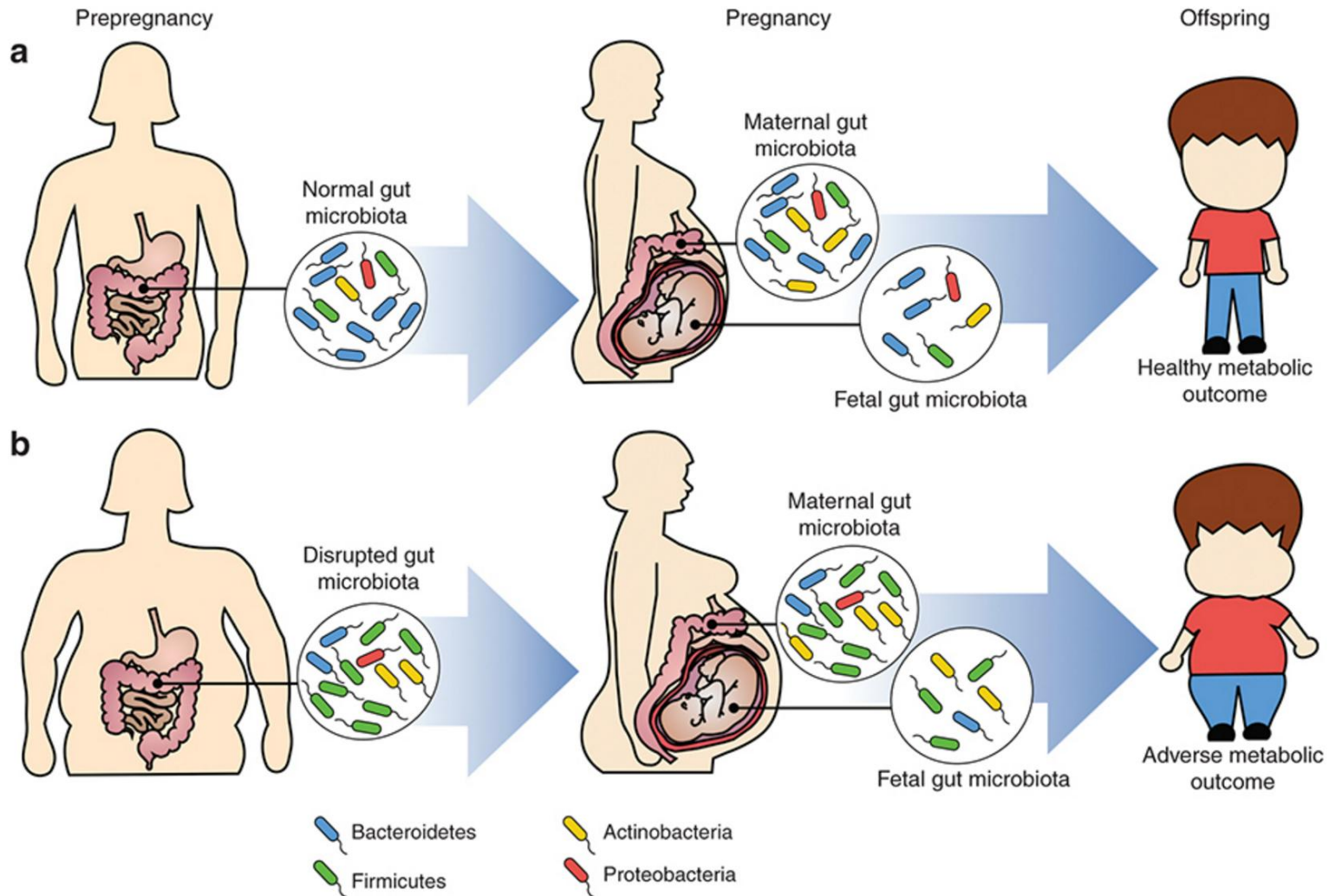
Flore adulte vers 25 ans!



# Le microbiote intestinal chez les nourrissons



# Les mères obèses partagent un microbiote similaire à celui de leurs enfants



# Rôles essentiels du microbiote intestinal -1

- **Protection contre les pathogènes**

Compétition pour les sites de liaison et les nutriments

- **Digestion et fermentation**

- Métabolise les fibres et polysaccharides non digestibles
- Produit des AGCC (acétate, propionate, butyrate) qui nourrissent l'épithélium et modulent le métabolisme
- Améliore le rendement énergétique des aliments

- **Absorption des nutriments**

- Favorise la récupération de  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ , **sels biliaires**
- Produit les vitamines B et K
- Recycle œstrogènes, hormones thyroïdiennes, phytoestrogènes
- Métabolise certains carcinogènes alimentaires

# Rôles essentiels du microbiote intestinal -2

- **Modulation du système immunitaire**

- Induit la tolérance aux commensaux
- Renforce la réponse contre les pathogènes

- **Effets sur le tube digestif**

- Stimule la croissance et la différenciation épithéliale
- Permet la différenciation des entéro-endocrines
- Augmente la sécrétion de mucus

- **Métabolisme**

- Module le tissu adipeux, la glycémie
- Contribue à la prévention de maladies métaboliques (diabète, obésité)

# Merci pour votre attention!

