PHYSIOLOGIE DES GRANDES FONCTIONS

CHAPITRE II : Physiologie Digestive

I- Introduction

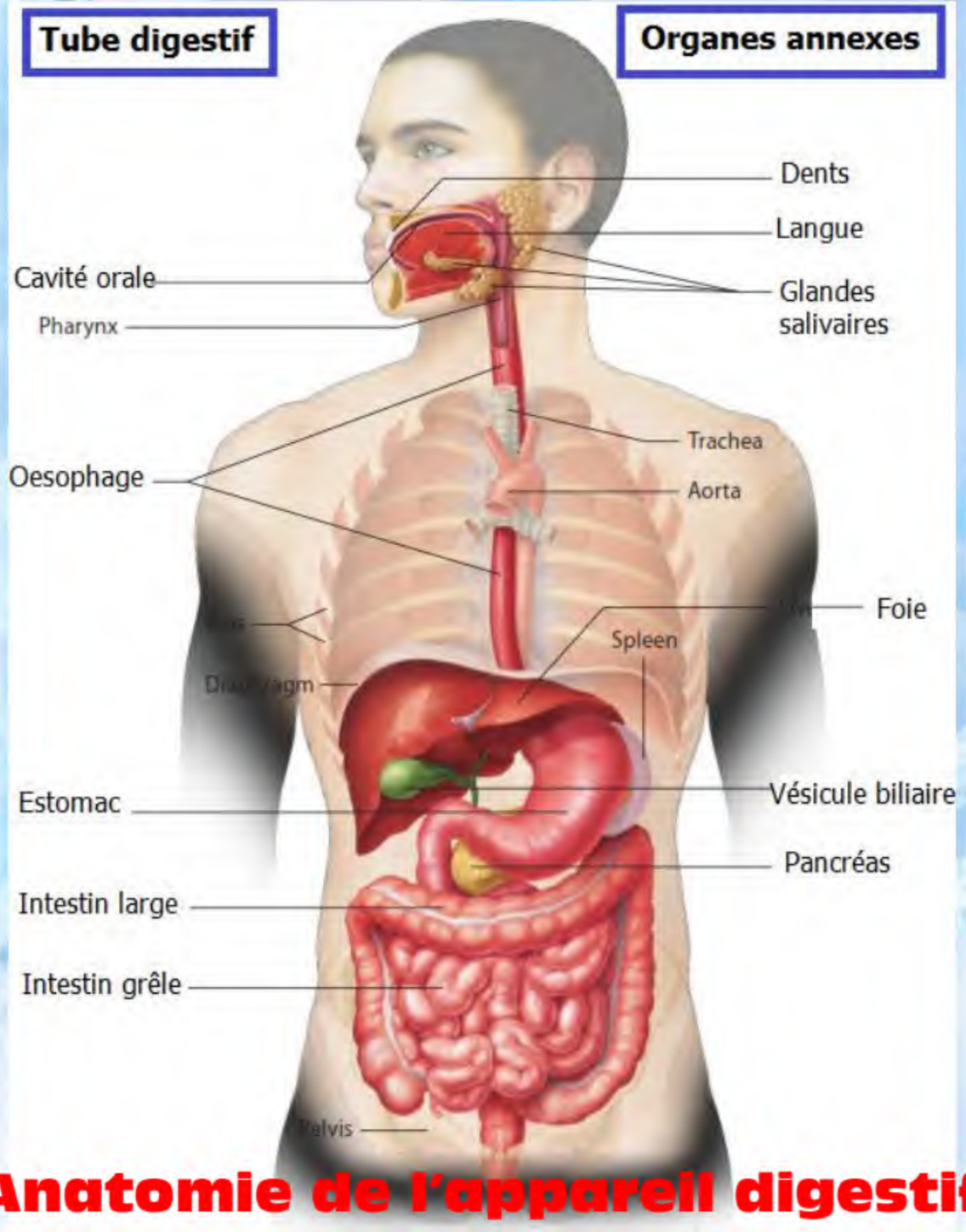
- Les organismes autotrophes: capable de synthétiser leur propre matière organique par photosynthèse.
- Les organismes hétérotrophes: se nourrissent en consommant de la matière organique déjà synthétisée
- Le système digestif assure la transformation de la nourriture en des éléments facilement assimilable par les cellules: les nutriments.
- Le système digestif assure l'approvisionnement de l'organisme en nutriments.
- Après digestion, l'appareil digestif assure le transfert des nutriments vers le milieu intérieur.

twitrounds.com

Anatomie/histologie l'appareil digestif

Les organes de l'appareil digestif s'étendent depuis la tête jusqu'à la cavité abdominale. Il comportent:

- ❑ **Le tube digestif**: canal alimentaire, environ 4,5m. Il est constitué par les organes suivants: bouche, pharynx, œsophage, estomac, intestin grêle et gros intestin.
- ❑ **Les organes digestifs annexes**: ne font pas partie du tube digestif, mais ils intervient dans la digestion (dents, langue, glandes salivaires, le pancréas exocrine, le foie et la vésicule biliaire).



Anatomie de l'appareil digestif

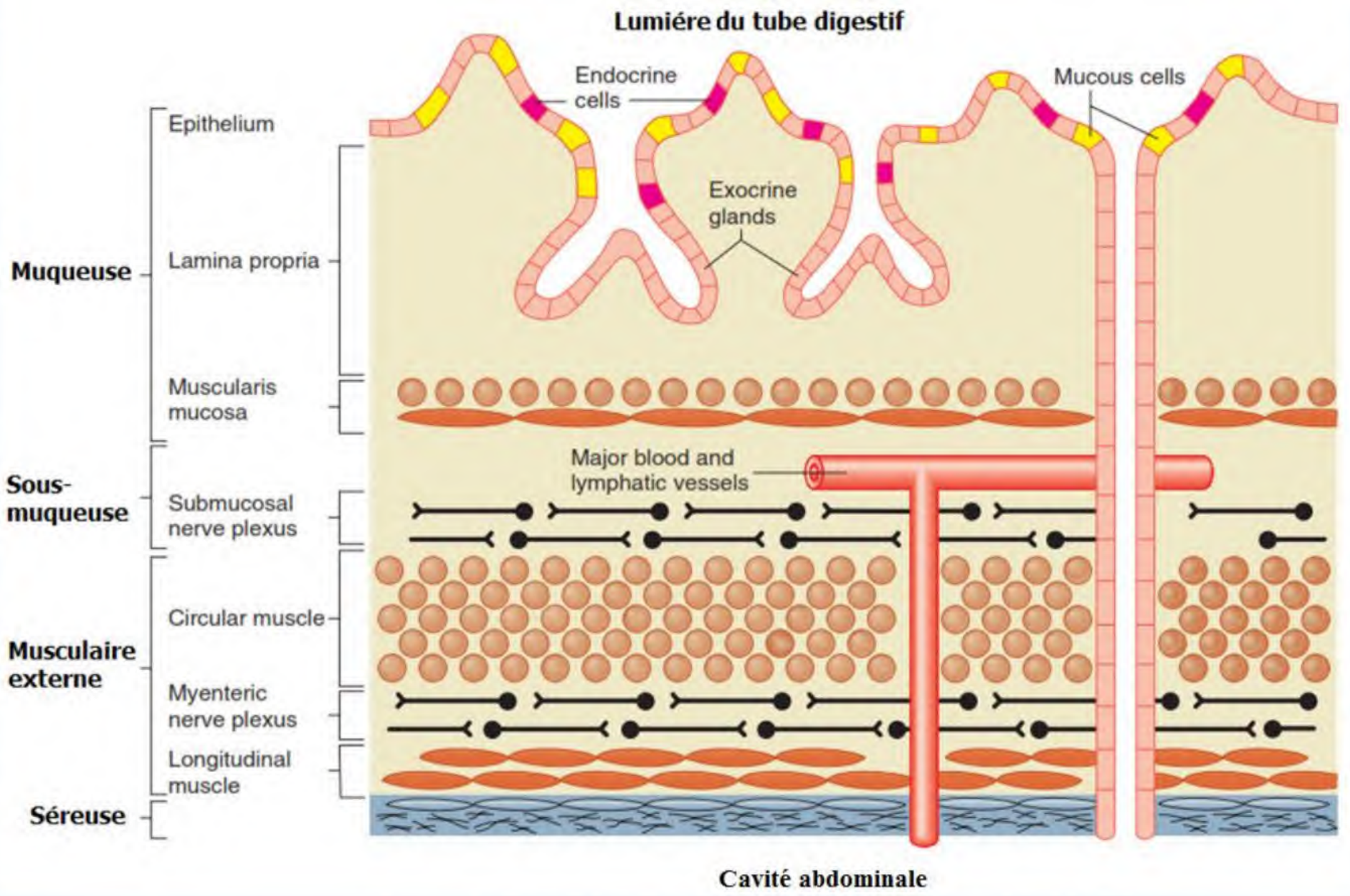
Histologie de la paroi de l'appareil digestif

1- Muqueuse:

Revêtement interne du TD. Couche protectrice, sécrétrice (suc digestif, les hormones digestives) et absorbante (cellules épithéliales).

2- Sous-muqueuse:

une couche épaisse de tissu conjonctif (distensibilité et de l'élasticité du T.D.). Richement vascularisée, elle contient également un réseau de neurones: **plexus sous-muqueux** (contrôle des sécrétions du TD).


Lumiére du tube digestif
Endocrine cells
Mucous cells
Exocrine glands
Epithelium
Lamina propria
Muqueuse
Muscularis mucosa
Major blood and lymphatic vessels
Sous-muqueuse
Submucosal nerve plexus
Circular muscle
Musculaire externe
Myenteric nerve plexus
Longitudinal muscle
Séreuse
Cavité abdominale

3- Musculature externe:

i. **Circulaire interne**: fibres disposées de façon circulaire et dont la contraction réduit localement le diamètre.

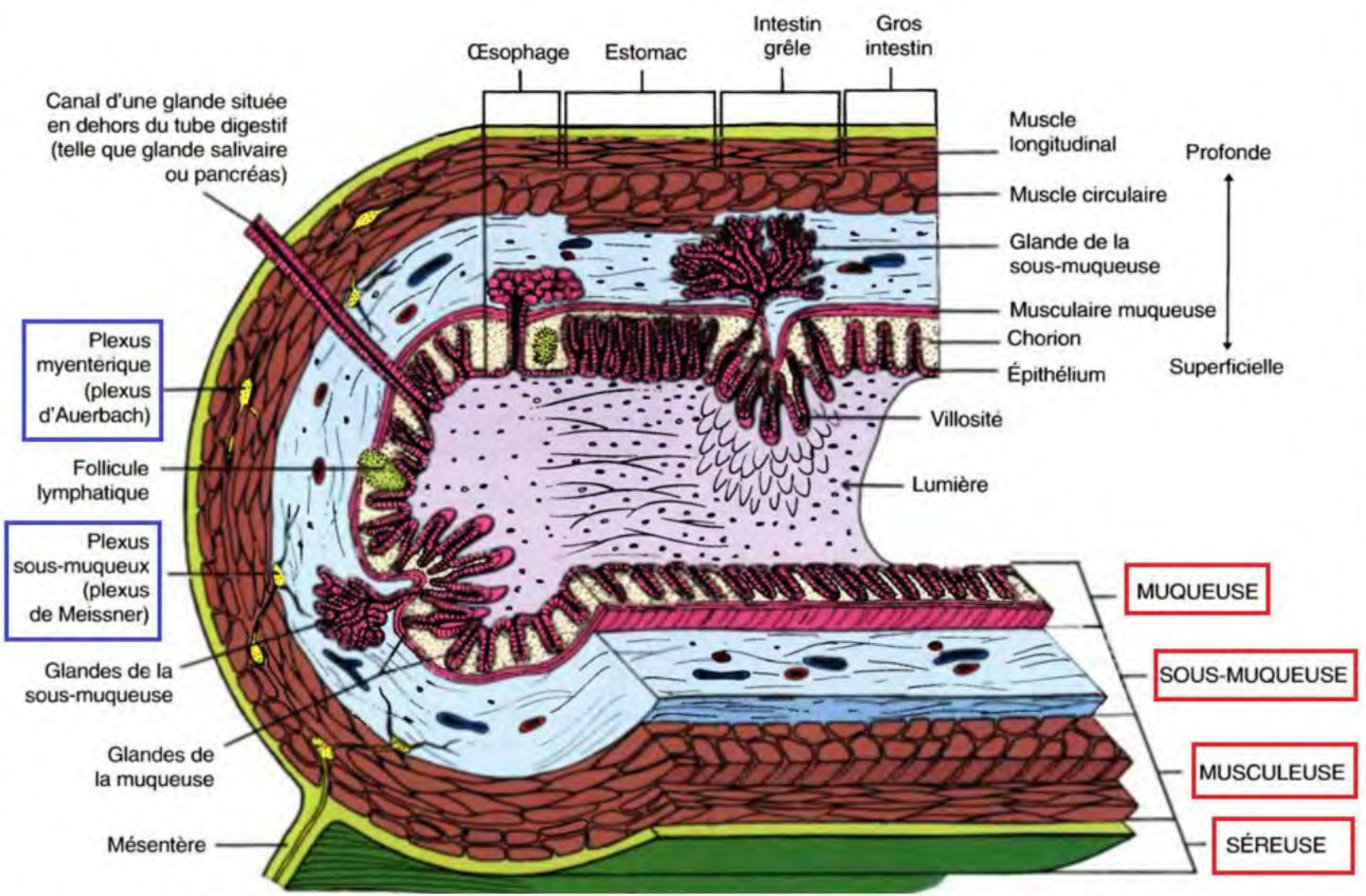
ii. **Longitudinale externe**: la contraction des fibres longitudinales raccourcit le tube.

Elle contient un réseau de fibres nerveuses: **plexus myentérique**, situé entre les deux couches (contrôle de l'activité locale de l'intestin).

4- Séreuse:

Couche conjonctive externe recouvrant le T.D.

Sécrétion aqueuse lubrifiante (facilite le glissement entre les organes digestifs et les organes voisins)



Modifications régionales de la paroi du tube digestif

Processus digestifs de base:

1- Motilité (Motricité): contraction du muscle lisse du T.D et comporte 2 types de mouvements:

i. propulsifs;

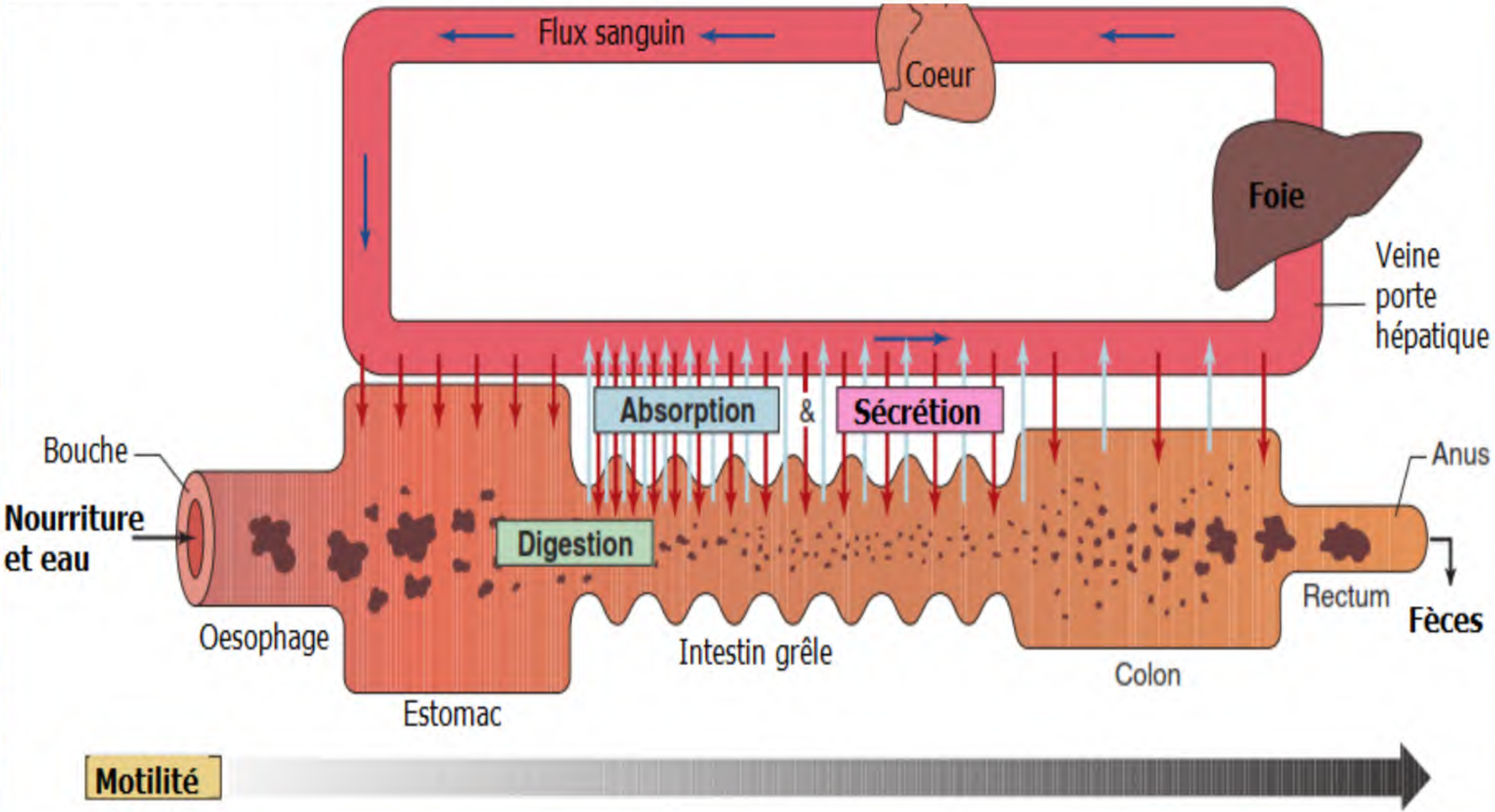
ii. de brassage.

2- Sécrétion: sucs digestifs sécrétés par les glandes exocrines: enzymes digestives, sels biliaires, mucus….

3- Digestion: fragmentation mécanique et/ou chimique des macromolécules en petites éléments absorbables par le T.D.

4- Absorption: transfert dans le sang des nutriments, ainsi que l'eau, les vitamines et les électrolytes.

Processus digestifs de base



Contrôle de la fonction digestive:

Le tube digestif dispose de mécanismes qui permettent d'ajustement précis des fonctions digestives:

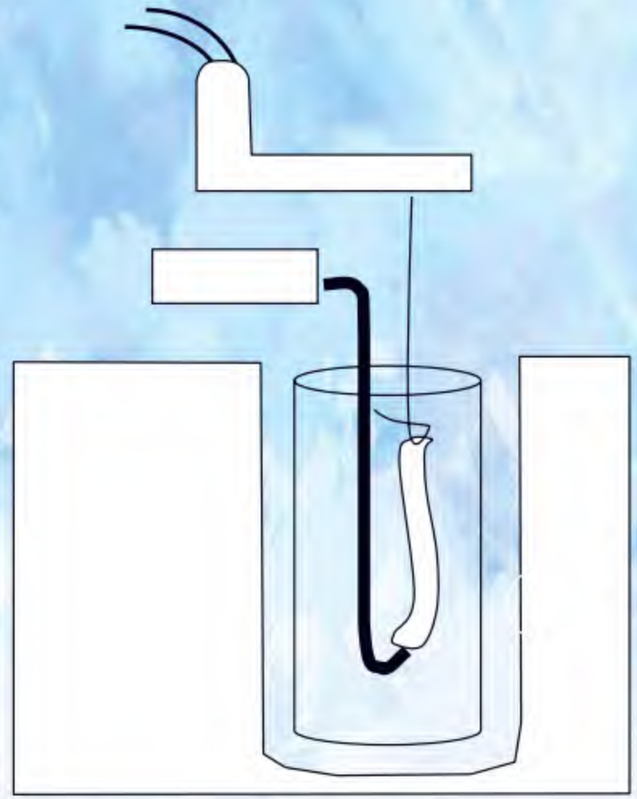
1. **Automatisme intestinal:** l'intestin est doué d'une activité contractile spontanée (mais modulée par le SN).
2. **Contrôle nerveux:** intrinsèque (SN entérique) et extrinsèque (Sympathique et parasympathique).
3. **Contrôle hormonal**: assuré par les hormones digestives.

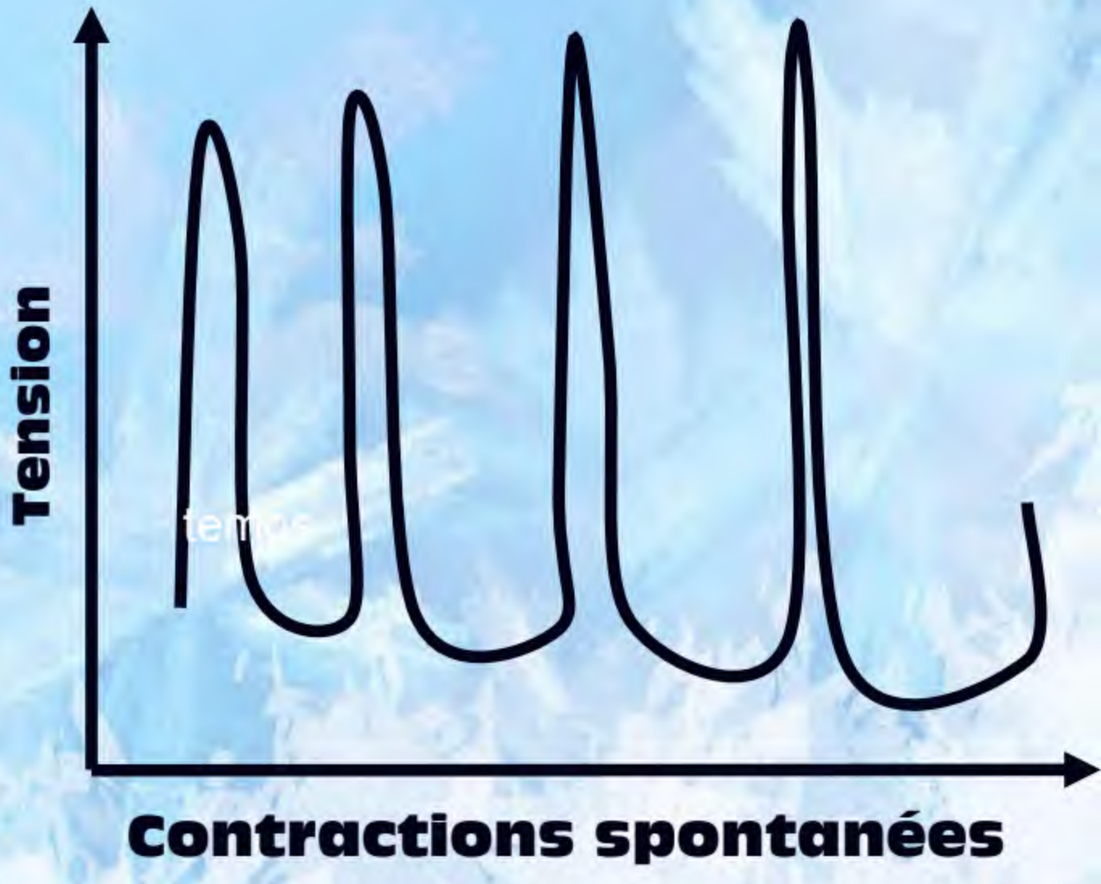
1- Automatisme intestinale

- Activité pacemaker: cellules interstitielles de CAJAL (paroi du TD)
- Ce ne sont pas des cellules nerveuses, mais des cellules d'origine mésenchymateuse
- Elles jouent le rôle de pacemake de l'intestin et elles assurent la genèse des ondes lentes,
- Le feuillet de muscle se comporte comme un syncytium fonctionnel
- Elles contrôlent la fréquence et la propagation des contractions intestinales.
- La fréquence des contractions diffère selon les organes

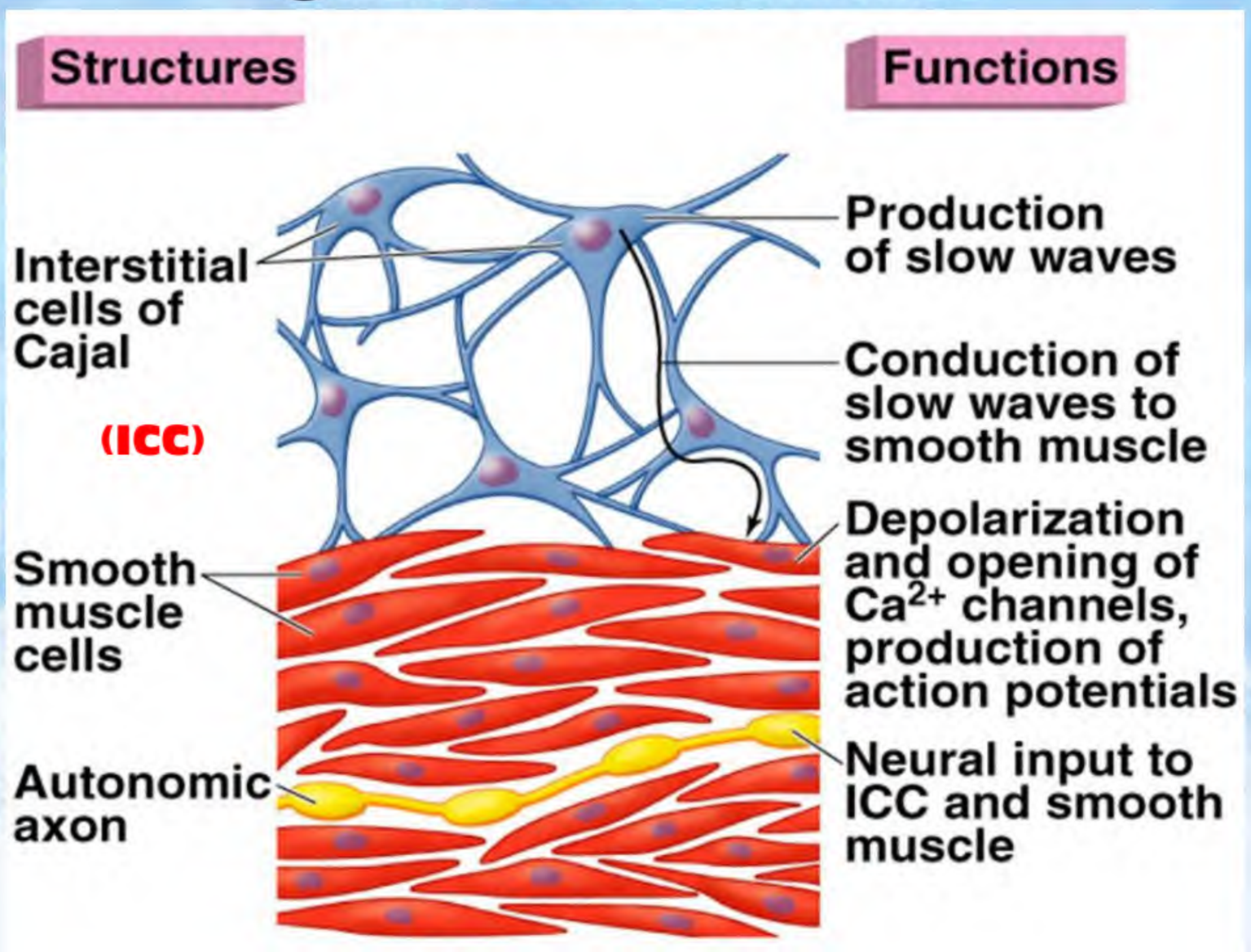
Automatisme intestinale: mise en évidence in vitro

Fragment isolé d'intestin

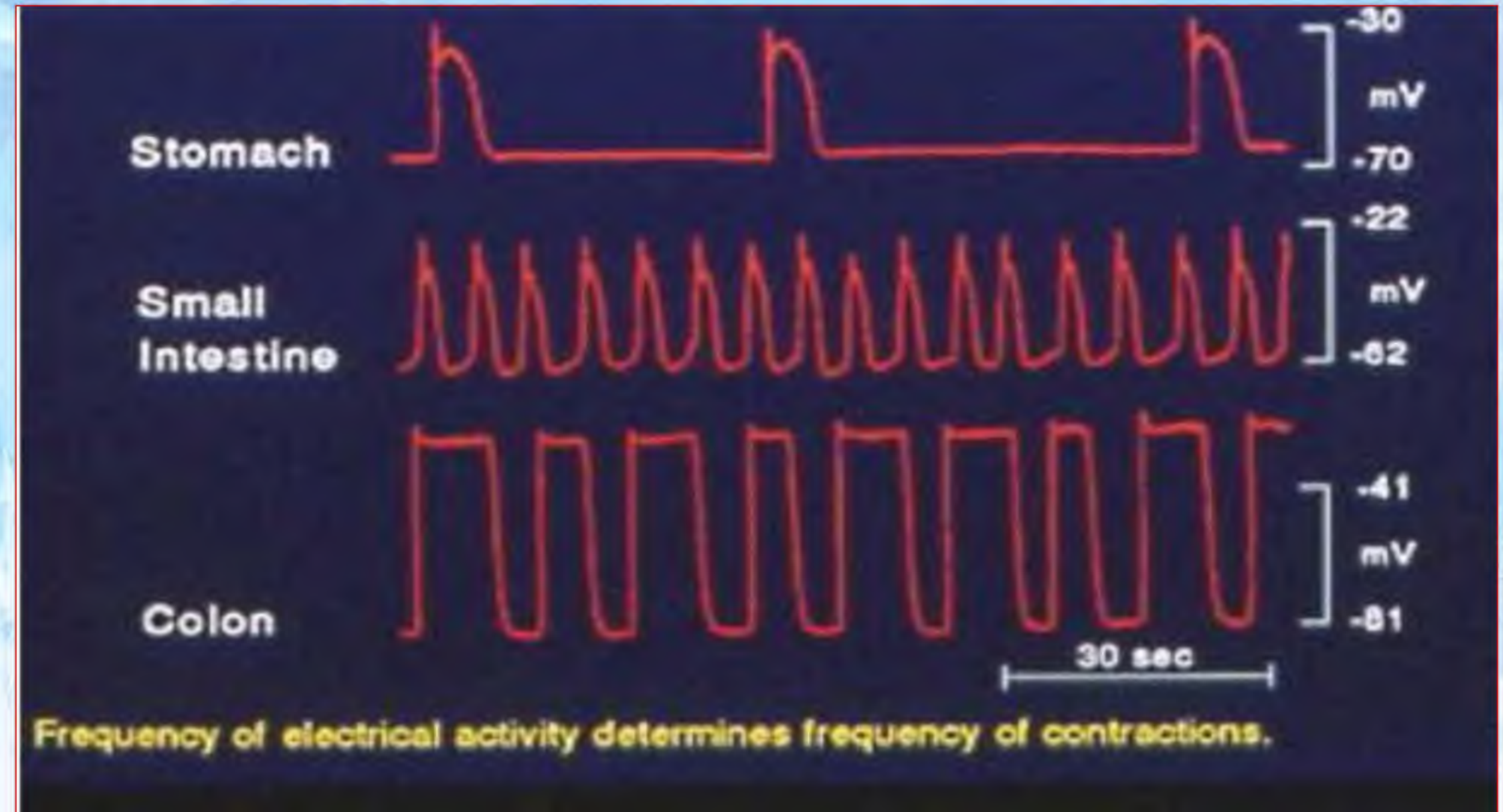




Les cellules de Cajal:
Cellules à l'origine de l'automatisme des fibres lisses gastro-intestinales



La fréquence de l'activité électrique des cellules de CAJAL n'est pas la même tout au long du tube digestif:



2- Plexus nerveux intrinsèques

Innerve les muscles et les cel. sécrétrices du T.D.

i- Plexus myentérique (plexus d'AURBACH):

Localisation: au niveau de la musculature externe,

Rôles: contrôle de la motricité gastro-intestinale.

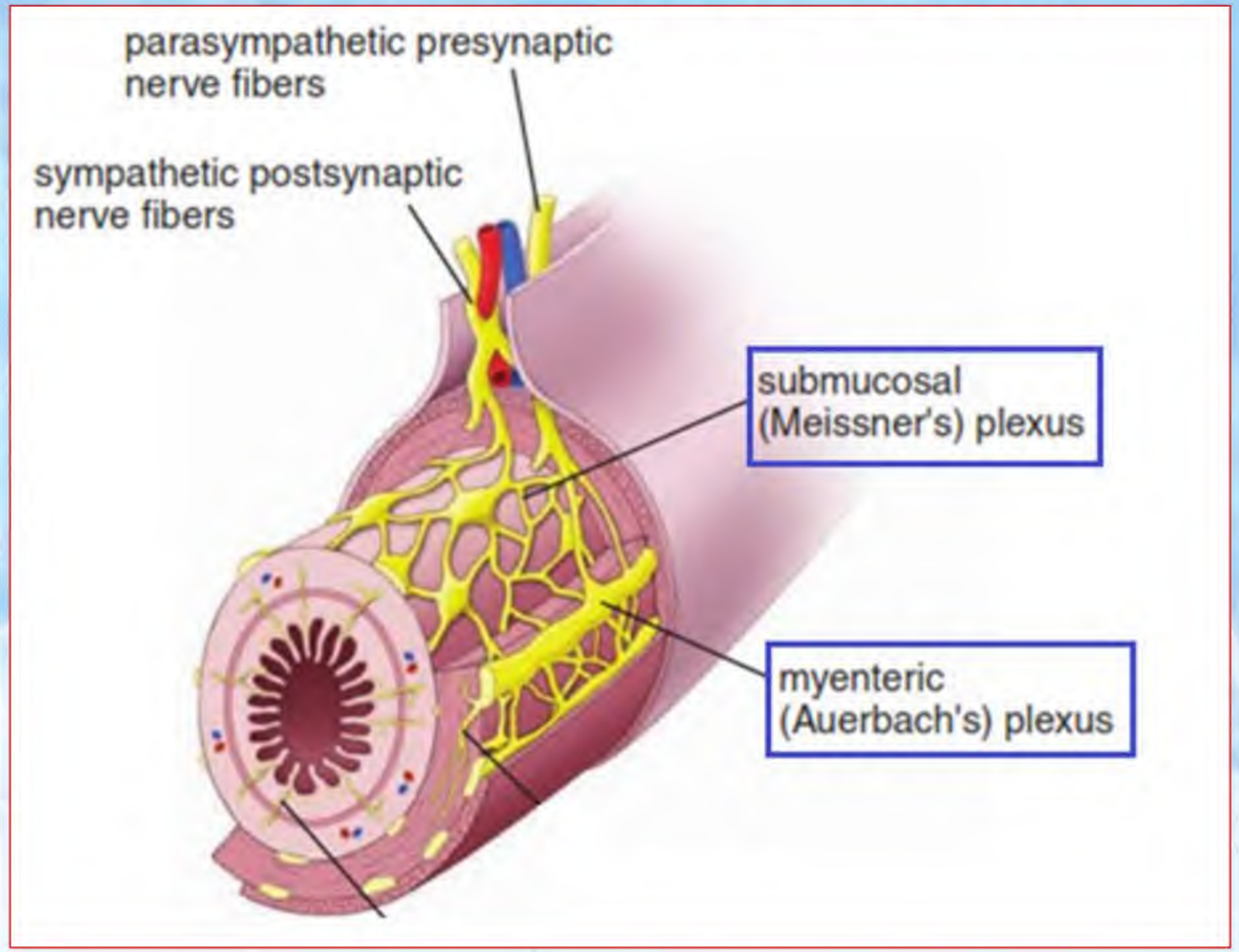
ii- Plexus sous-muqueux (plexus de MEISSNER):

Localisation: sous muqueuse.

Rôles:- Contrôle du débit sanguin et des sécrétions gastro-intestinales.

- Réception des informations sensorielles à partir de l'épithélium gastro-intestinal et des récepteurs à l'étirement (mécanorécepteurs).

- **Le système nerveux entérique (intrinsèque): plus de 2 millions de neurones, qui forment le plexus myentérique et le plexus sous-muqueux.**



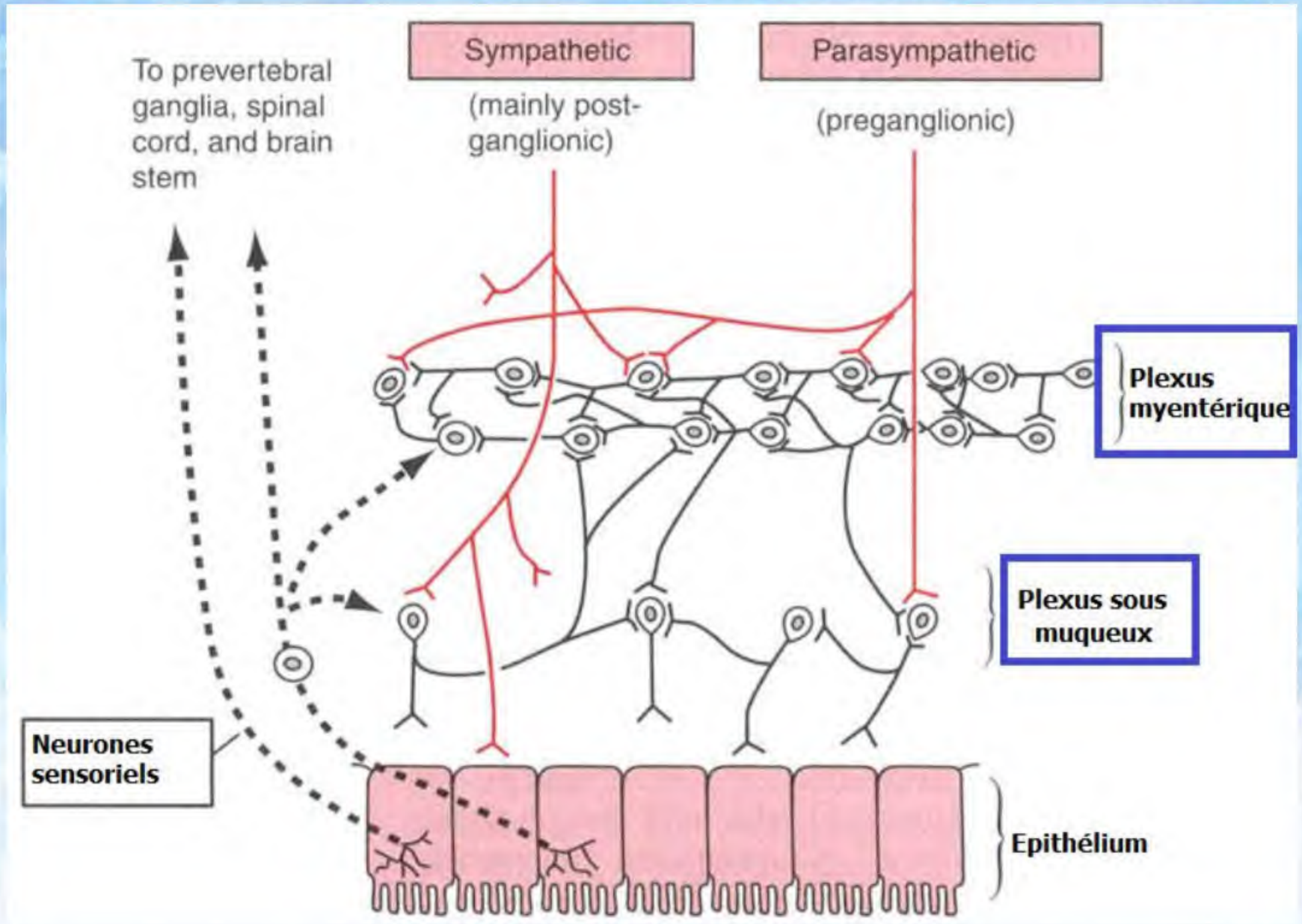
3- Innervation extrinsèque

L'innervation extrinsèque contrôle:

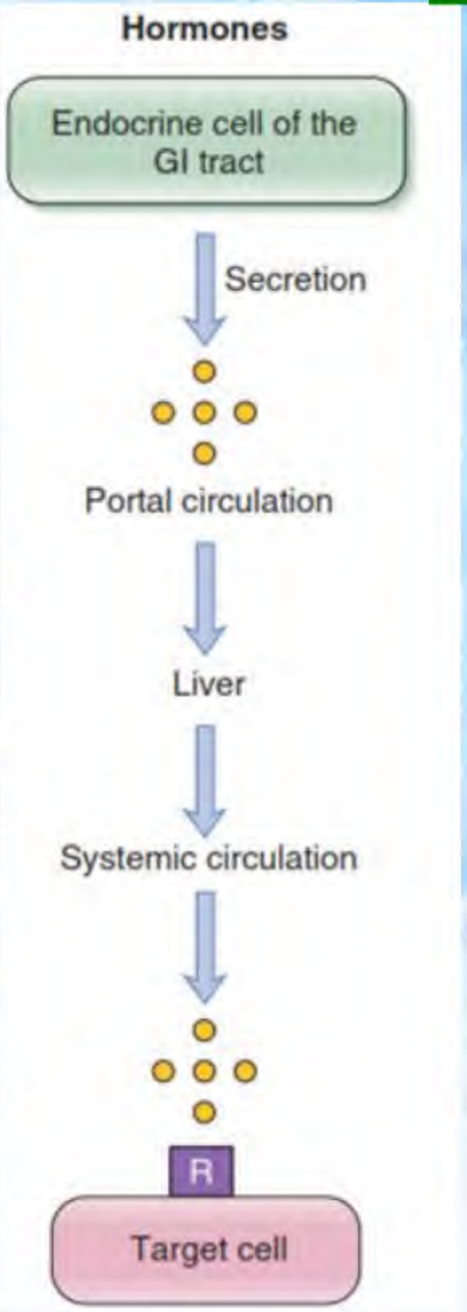
1. motilité et sécrétions digestives.
2. activité des plexus intrinsèques.
3. sécrétion des hormones digestives.

- **Sympathique**: inhibe la motilité et les sécrétions digestives.
- **Parasympathique**: augmente la motilité et les sécrétions d'enzymes et d'hormones digestives.

Contrôle du système nerveux intrinsèque par le système nerveux extrinsèque (parasympathique & sympathique):



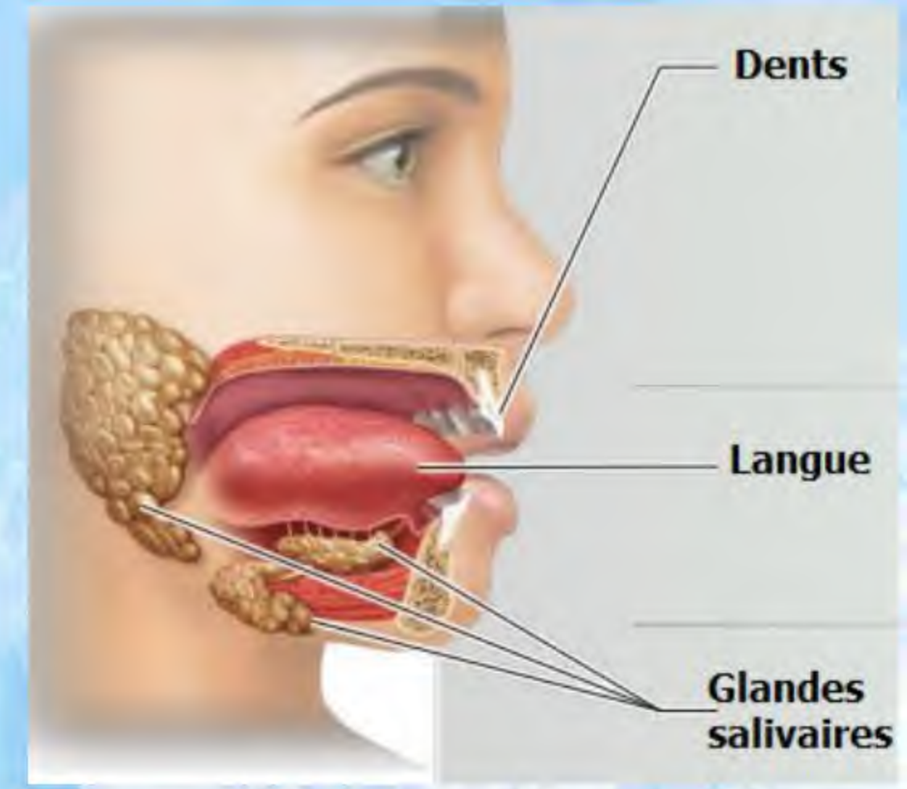
4- Hormones digestives



Hormone	Lieu de production	Stimulus de la sécrétion	Actions
Gastrine	Principalement dans la muqueuse de l'antre pylorique ; une petite quantité sécrétée par la muqueuse intestinale.	Distension de l'estomac, protéines partiellement digérées et caféine dans l'estomac, et pH élevé du chyme gastrique.	*Effets majeurs* : stimule la sécrétion de suc gastrique, augmente la motilité gastrique, favorise la croissance de la muqueuse gastrique. *Effets mineurs* : contracte le sphincter œsophagien inférieur, relâche le sphincter pylorique et le sphincter iléo-cæcal.
Peptide inhibiteur gastrique (GIP)	Muqueuse intestinale.	Acides gras et glucose qui pénètrent dans l'intestin grêle.	Stimule la sécrétion d'insuline par les cellules bêta du pancréas, inhibe la sécrétion de suc gastrique et ralentit l'évacuation gastrique.
Sécrétine	Muqueuse intestinale.	Chyme acide (niveau élevé de H^+) pénétrant dans l'intestin grêle.	*Effets majeurs* : stimule la sécrétion de suc pancréatique et de bile riches en HCO_3^- (ions bicarbonate). *Effets mineurs* : inhibe la sécrétion de suc gastrique, favorise une croissance normale et l'entretien du pancréas, augmente les effets de la cholécystokinine.
Cholécystokinine (CCK)	Muqueuse intestinale, encéphale.	Protéines (acides aminés) et triglycérides (acides gras) partiellement digérés qui pénètrent dans l'intestin grêle.	*Effets majeurs* : stimule la sécrétion de suc pancréatique riche en enzymes digestives ; provoque l'éjection de la bile de la vésicule biliaire et l'ouverture du sphincter de l'ampoule hépato-pancréatique (sphincter d'Oddi) ; et induit la satiété (sensation d'être rassasié). *Effets mineurs* : inhibe l'évacuation gastrique, favorise une croissance normale et l'entretien du pancréas, augmente les effets de la sécrétine.

A- PHASE BUCCALE

- **Motilité**: La première étape de la digestion est la mastication (aliments découpés, broyés et fragmentés mécaniquement par les dents et mélangés à la salive).
- **Digestion**: Elle est limitée à l'hydrolyse des polysaccharides en disaccharides par l'amylase salivaire.
- **Absorption**: absente, à l'exception de quelques médicaments.



Pharynx et œsophage

1-Motilité = déglutition. Poussée du bol alimentaire par la langue dans le pharynx.

Phénomène reflexe. L'arrivé du bol dans le pharynx stimule les mécanorécepteurs qui envoient des messages au centre de la déglutition (bulbe rachidien).

Le centre stimule les muscles responsables de la déglutition. Elle se fait en deux étapes:

1-Oropharyngée: transfert du bol alimentaire de la bouche à l'œsophage: phénomène volontaire.

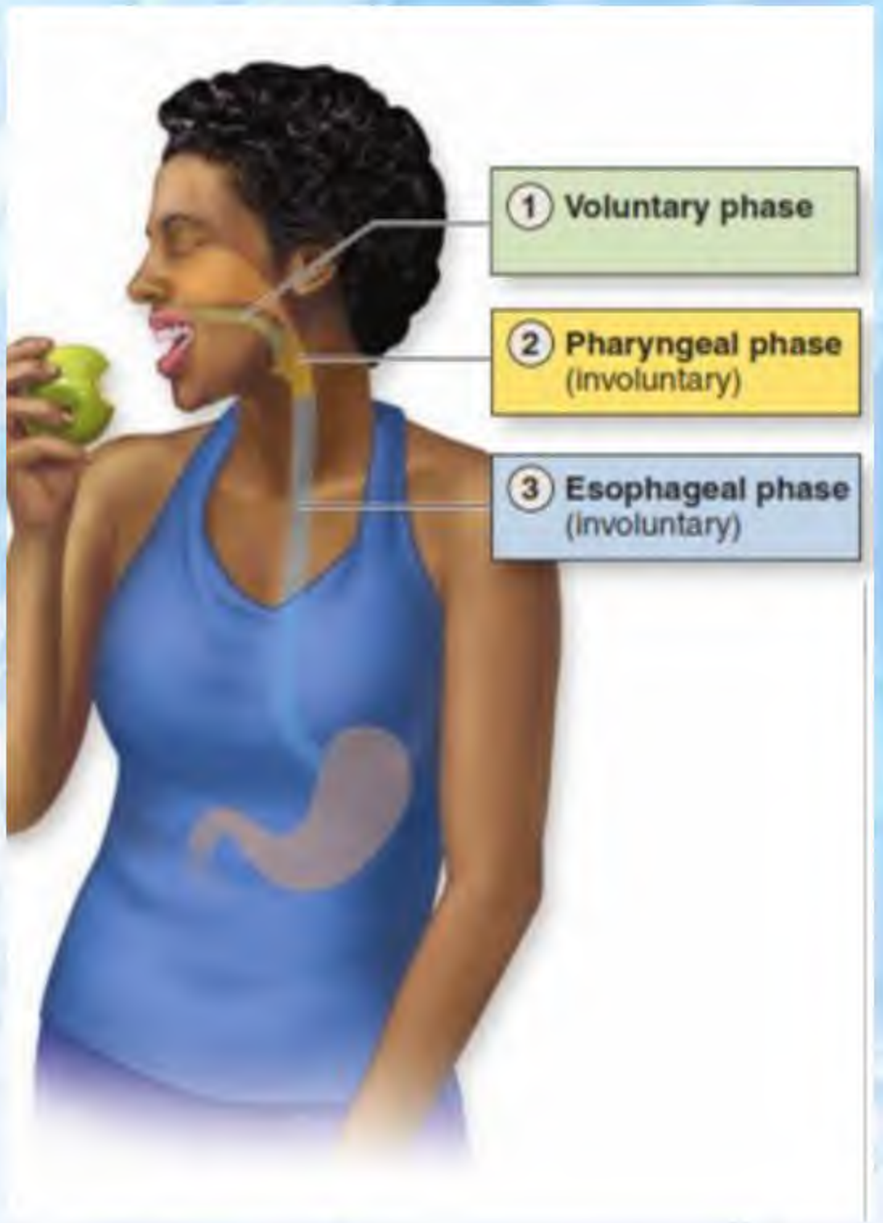
2-Œsophagienne: Le centre de la déglutition commande l'onde péristaltique.

2- Sécrétion: mucus à rôle protecteur.

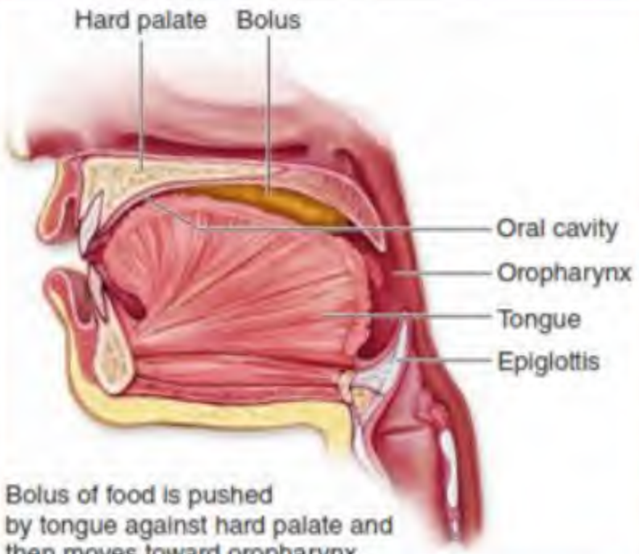
3- Digestion: absente.

4- Absorption: absente.

twitrounds.com

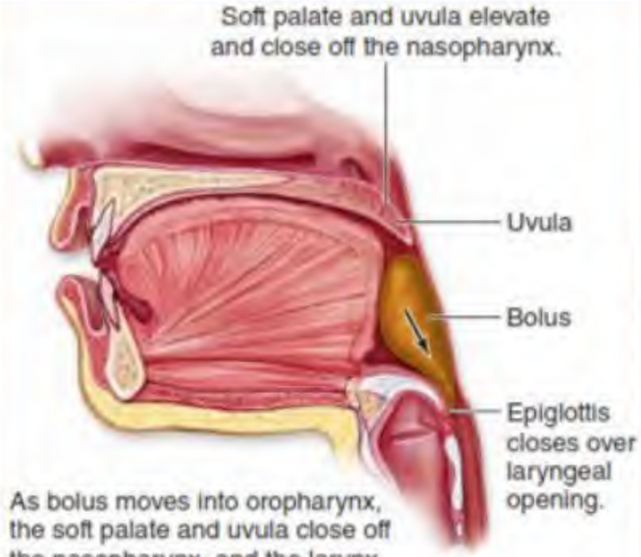


1 Voluntary phase



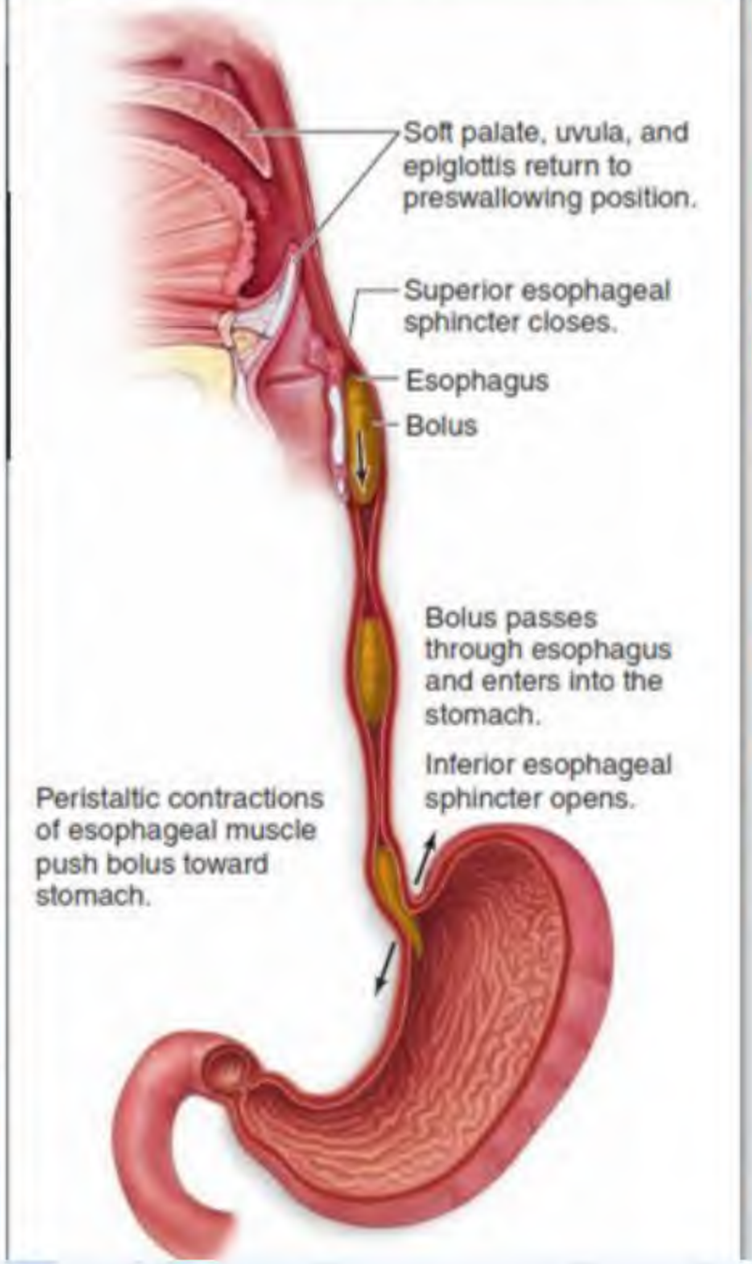
Bolus of food is pushed by tongue against hard palate and then moves toward oropharynx.

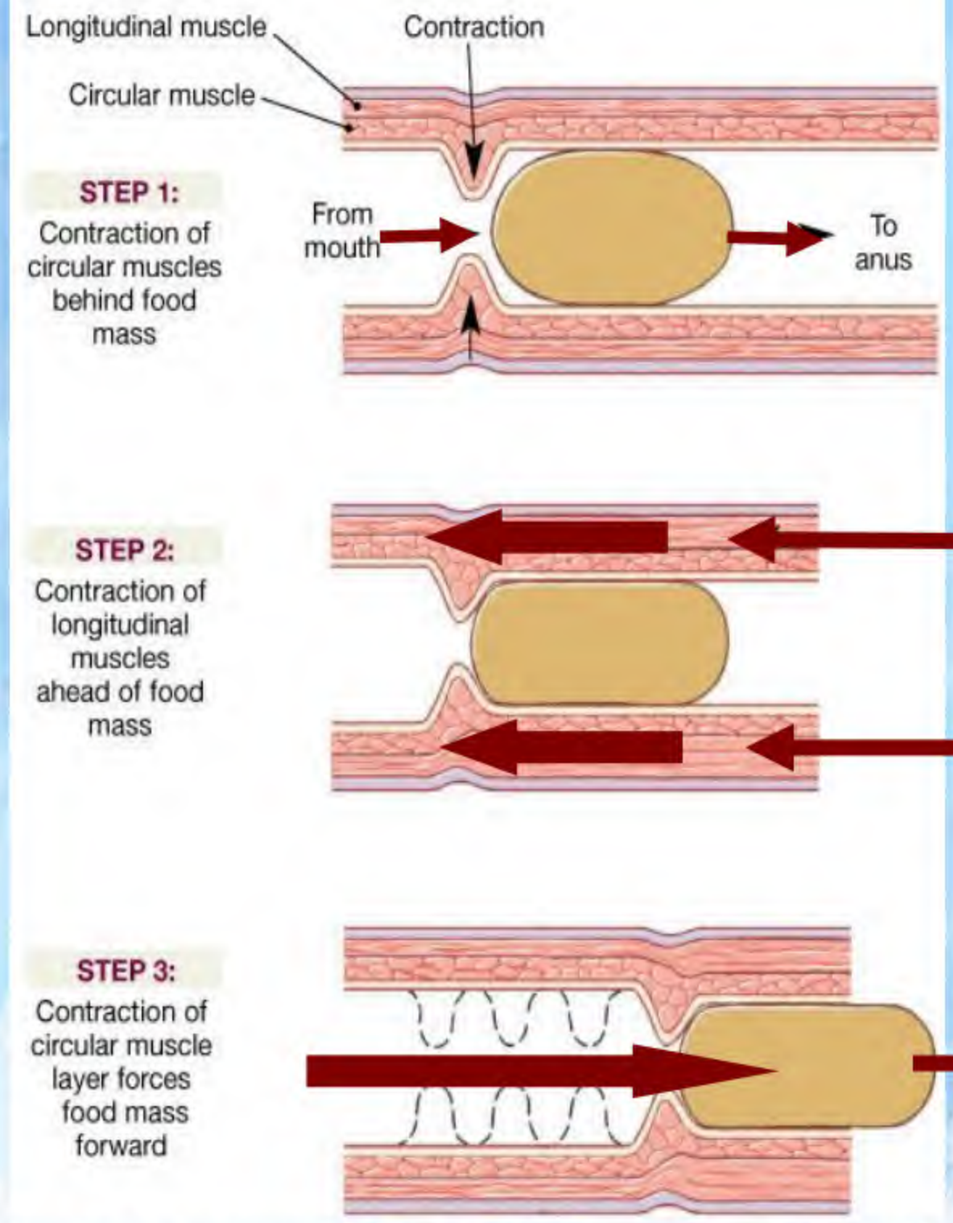
2 Pharyngeal phase (involuntary)



As bolus moves into oropharynx, the soft palate and uvula close off the nasopharynx, and the larynx elevates so the epiglottis closes over laryngeal opening.

3 Esophageal phase (involuntary)





Contraction circulaire

Contraction longitudinale

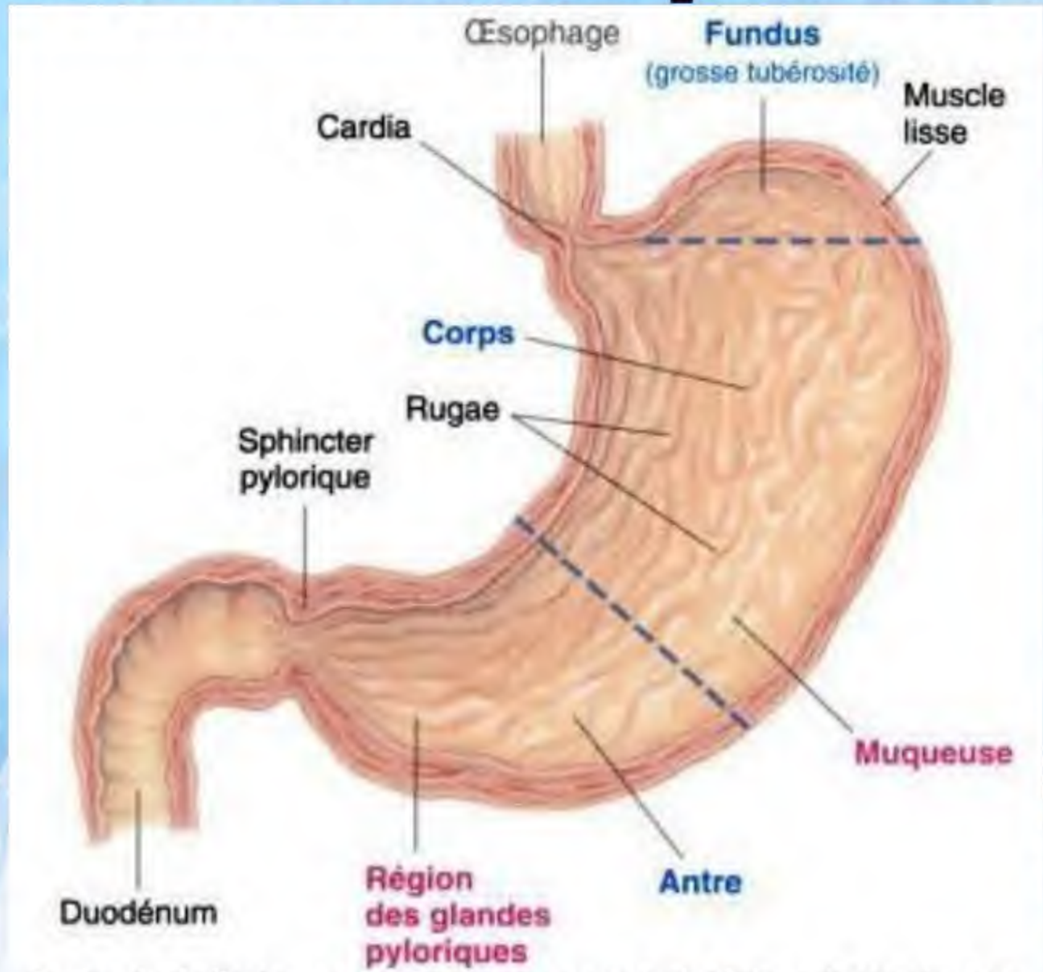
Contraction circulaire

<u>Péristaltisme:</u> un anneau de contraction qui progresse le long d'un organe tubulaire en propulsant son contenu en aval vers une zone encore relâchée.

B- PHASE GASTRIQUE

Un sac en forme de J, situé entre l'œsophage et l'intestin grêle. On le divise en trois parties:

- **Fundus: partie supérieure;**
- **Corps: la partie moyenne;**
- **Antre: la partie distale.**



Anatomie de l'estomac L'estomac comporte trois régions de structure et de fonctions distinctes : le fundus, le corps et l'antre.

1- Motilité:

Complexe, elle assure le:

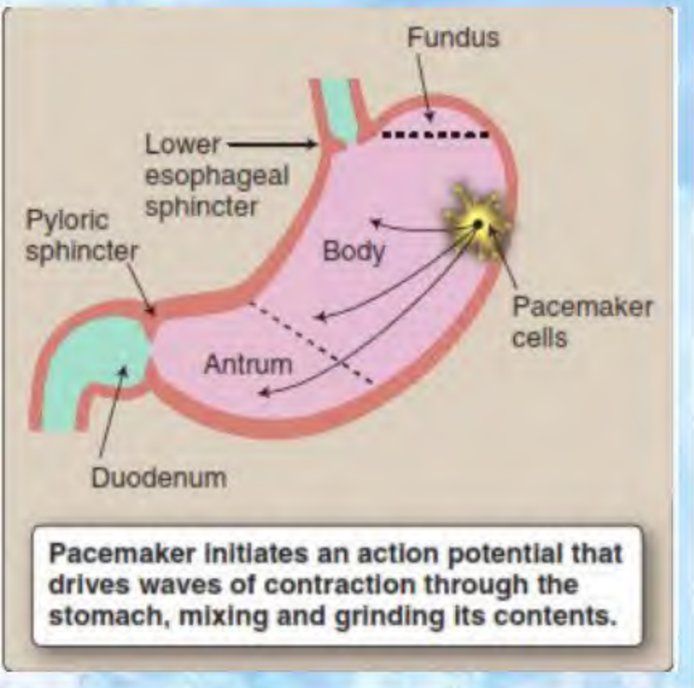
i-Remplissage: Le volume vide (50mL) est X 20 par 20 après un repas (1L) = relaxation réceptive: muscle lisse de la partie proximale.

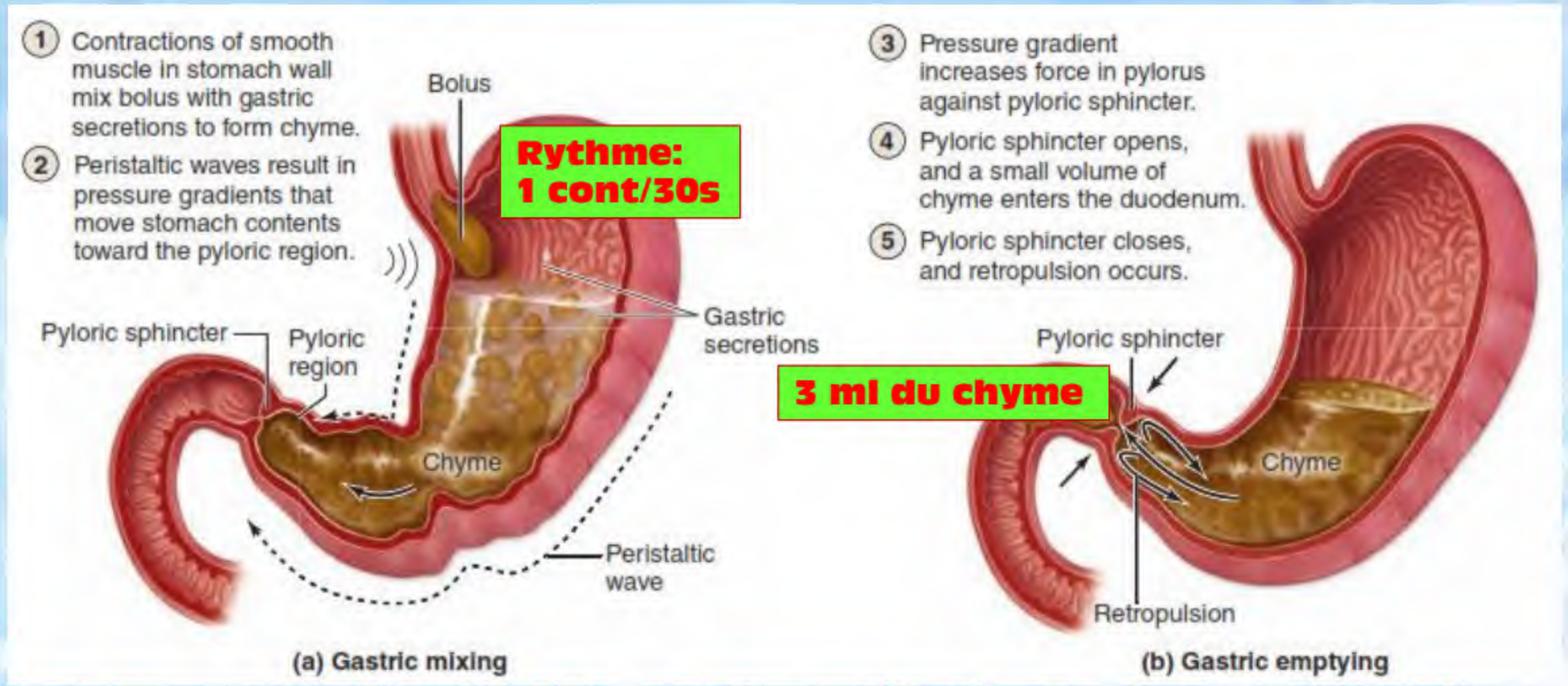
ii-Stockage: dans le corps. stockage des aliments avant leur évacuation vers l'intestin grêle.

iii- Brassage: Les contractions *péristaltiques* de l'antre assure le mélange des aliments au suc gastrique. Le bol = chyme.

iv- Evacuation: La contraction *péristaltique* de l'antre est la force motrice pour l'évacuation. La vitesse de l'évacuation dépend de plusieurs stimuli provenant de l'estomac et de l'intestin.

Complexité de l'activité motrice de l'estomac: mvt propulsif, mvt rétrograde, mvt non propulsif.





<u>Contractions péristaltiques de l'antre</u>:
(a) brassage du contenu, (b) et évacuation de l'estomac. La partie proximale assure le remplissage.

2- sécrétions gastriques:

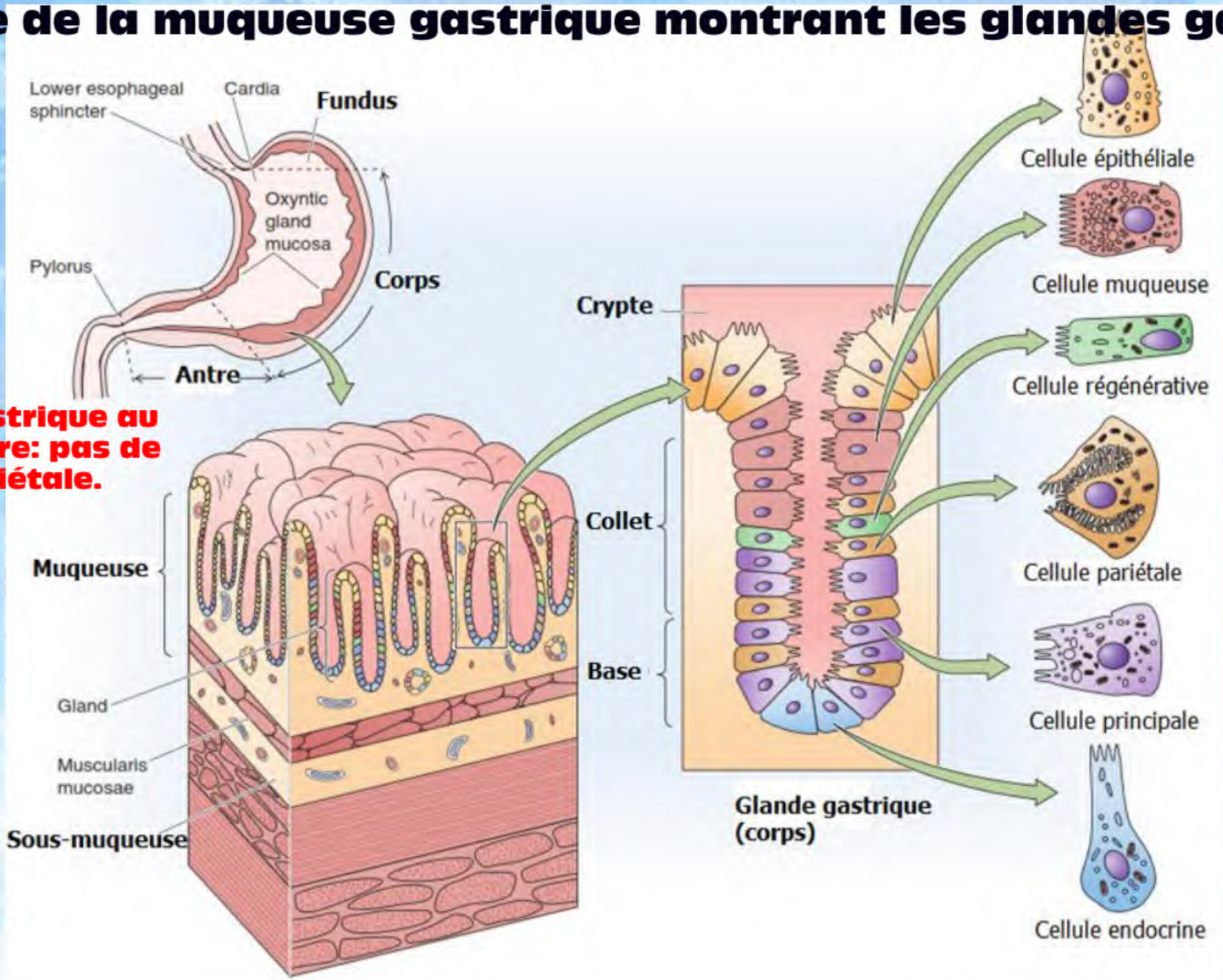
Environ 2L/j. Liquide incolore, inodore, pH = 1.

Les cellules sécrétrices font partie de la muqueuse gastrique.

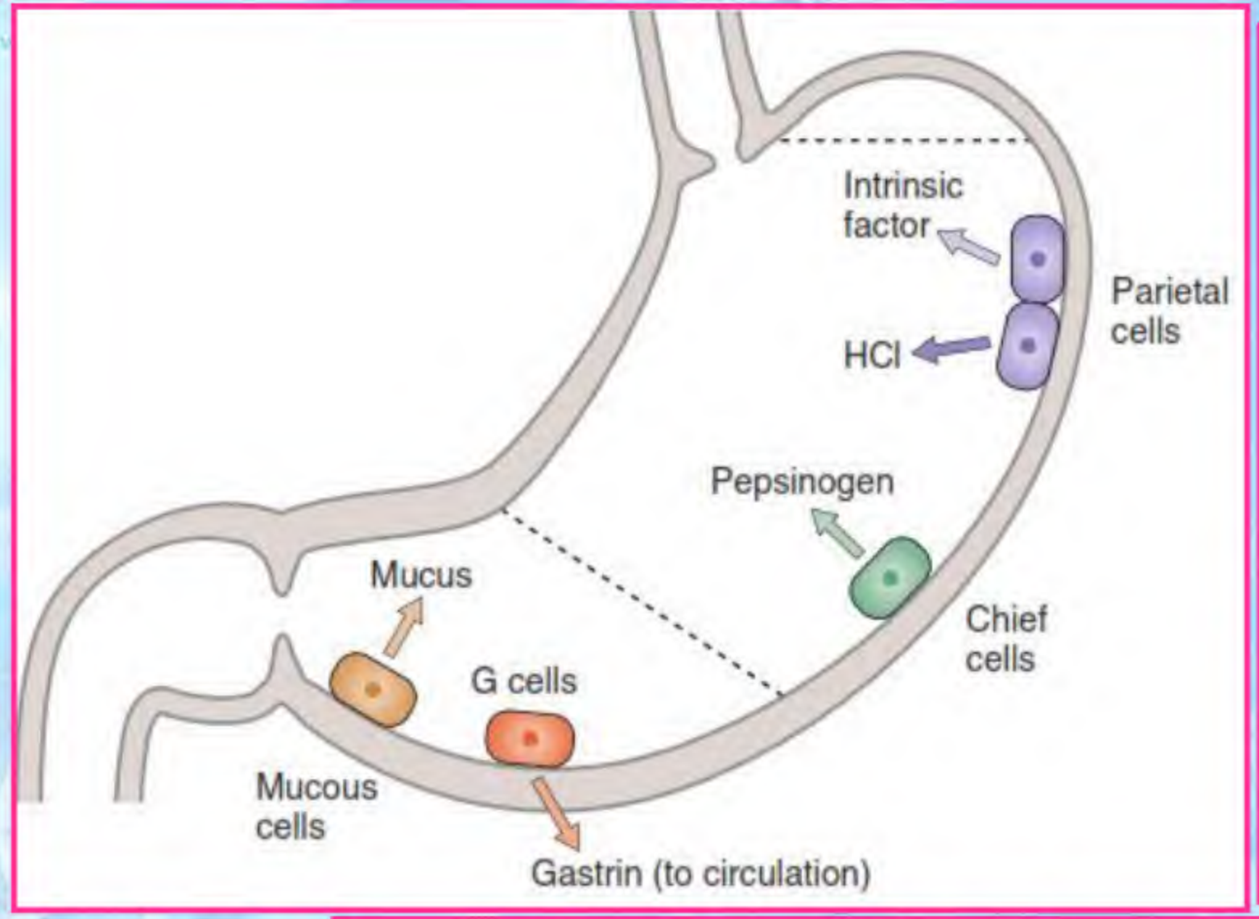
1. **Cellules à mucus**: sécrètent le mucus: rôle protecteur contre: les agressions mécaniques, l'autodigestion par les enz. dig. et l'attaque par HCl.
2. **Cellules pariétales**: sécrètent l'HCl (active la pepsinogène en pepsine active);
3. **Cellules principales**: sécrètent la pepsinogène (précurseur de la pepsine).

Les sécrétions gastriques se font en 3 étapes:

Structure de la muqueuse gastrique montrant les glandes gastriques



N.B: Glande gastrique au niveau de l'antre: pas de cellules pariétale.

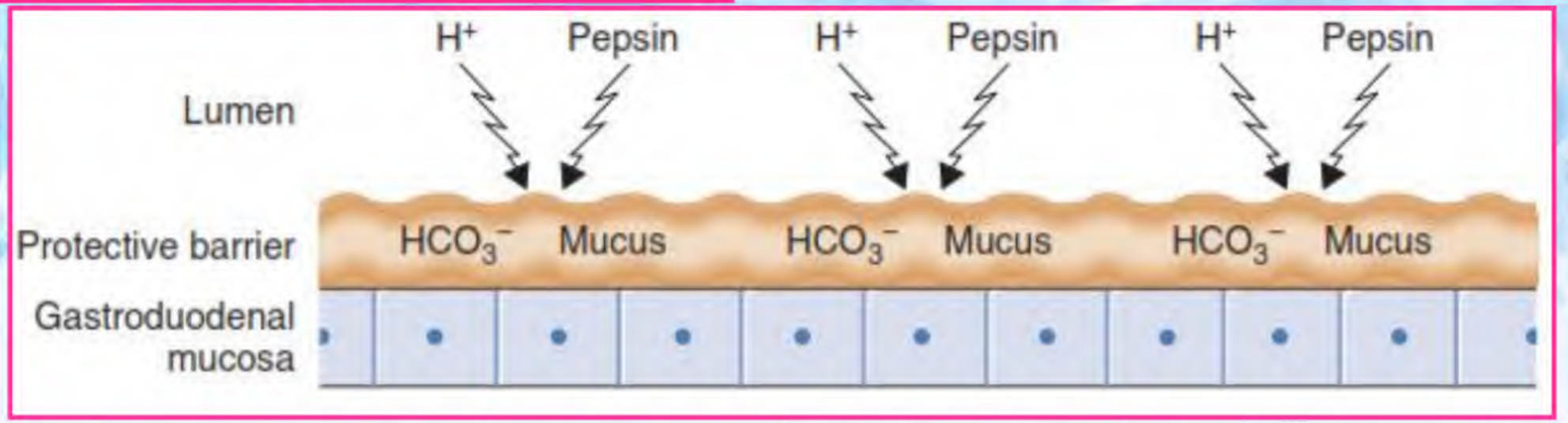


Auto-digestion:3 mécanismes protectifs

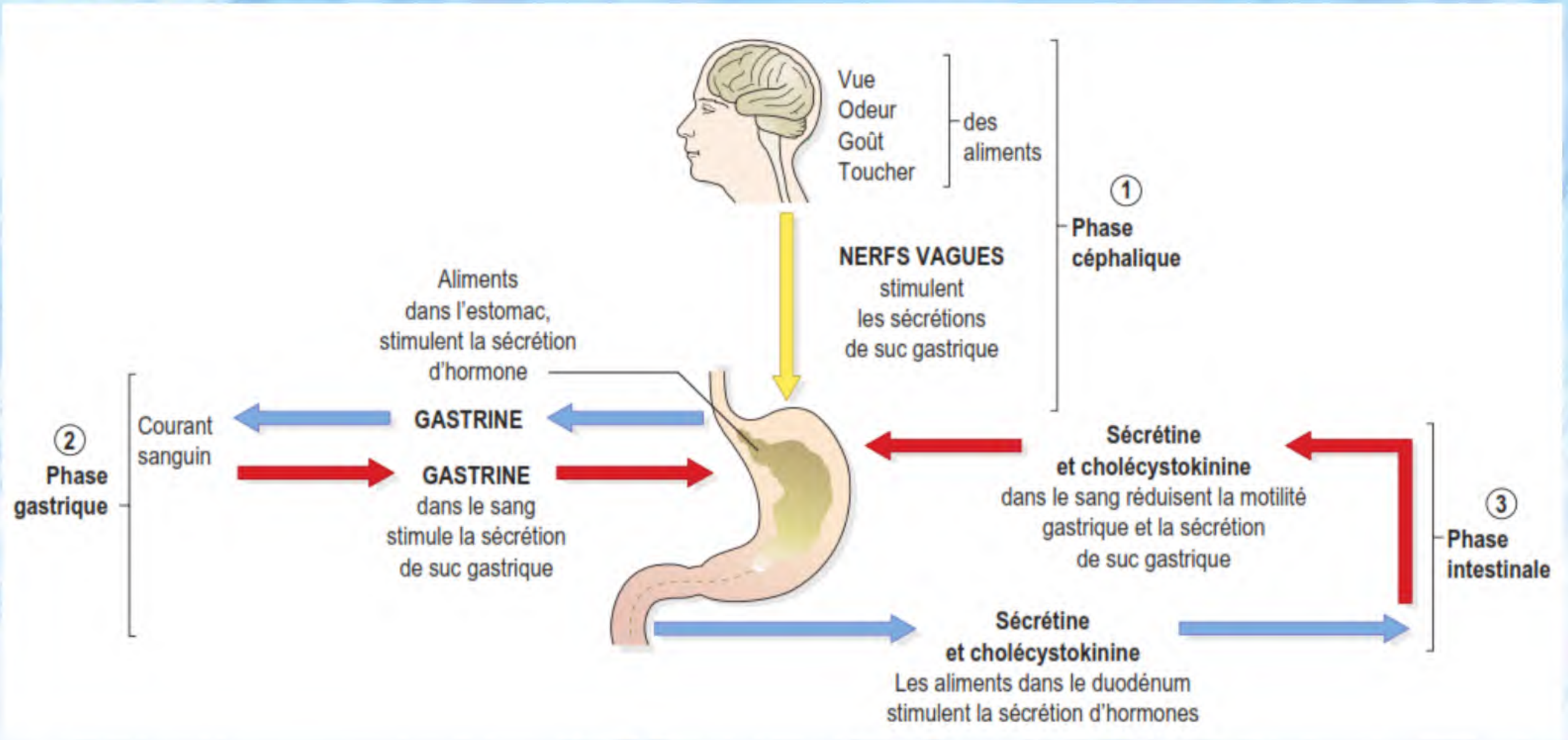
i.Revêtement muqueux: hautement alcalin, résistant à l'action de l'acide et des enzyme.

ii.Jonctions étanches: l'épithélium gastrique est très étanche. Protection parfaite contre l'auto-digestion.

iii.Renouvellement rapides des cellules épithéliales: elles ont une courte durée de vie (3-6j).



Contrôle des sécrétions gastriques:



3- digestion:

Dans le corps de l'estomac, la digestion est minime, il y a peu de mélange avec le suc gastrique (aliments encore à l'état semi-solide).

La digestion des glucides se poursuit dans le corps de l'estomac sous l'action de l'amylase salivaire.

Dans l'antre, les aliments sont bien mélangés à l'HCl et à la pepsine, la digestion des protéines par le suc gastrique commence.

4- absorption:

Pas d'absorption à travers la muqueuse gastrique.

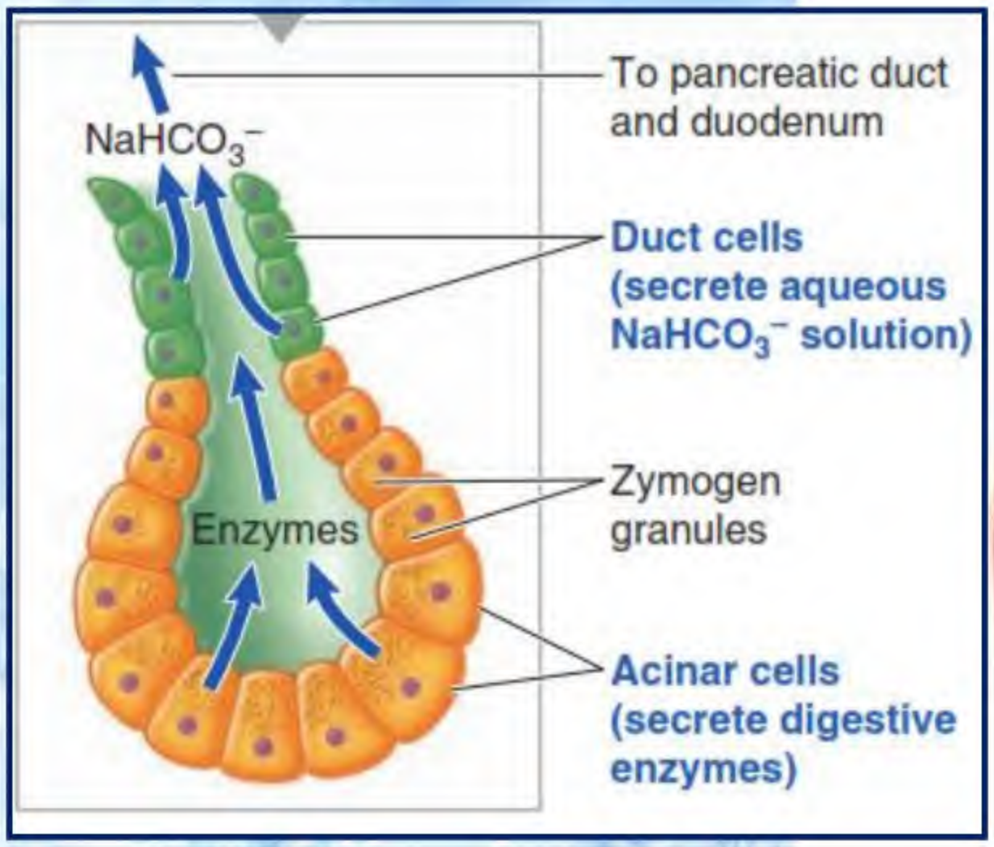
Sécrétions pancréatiques

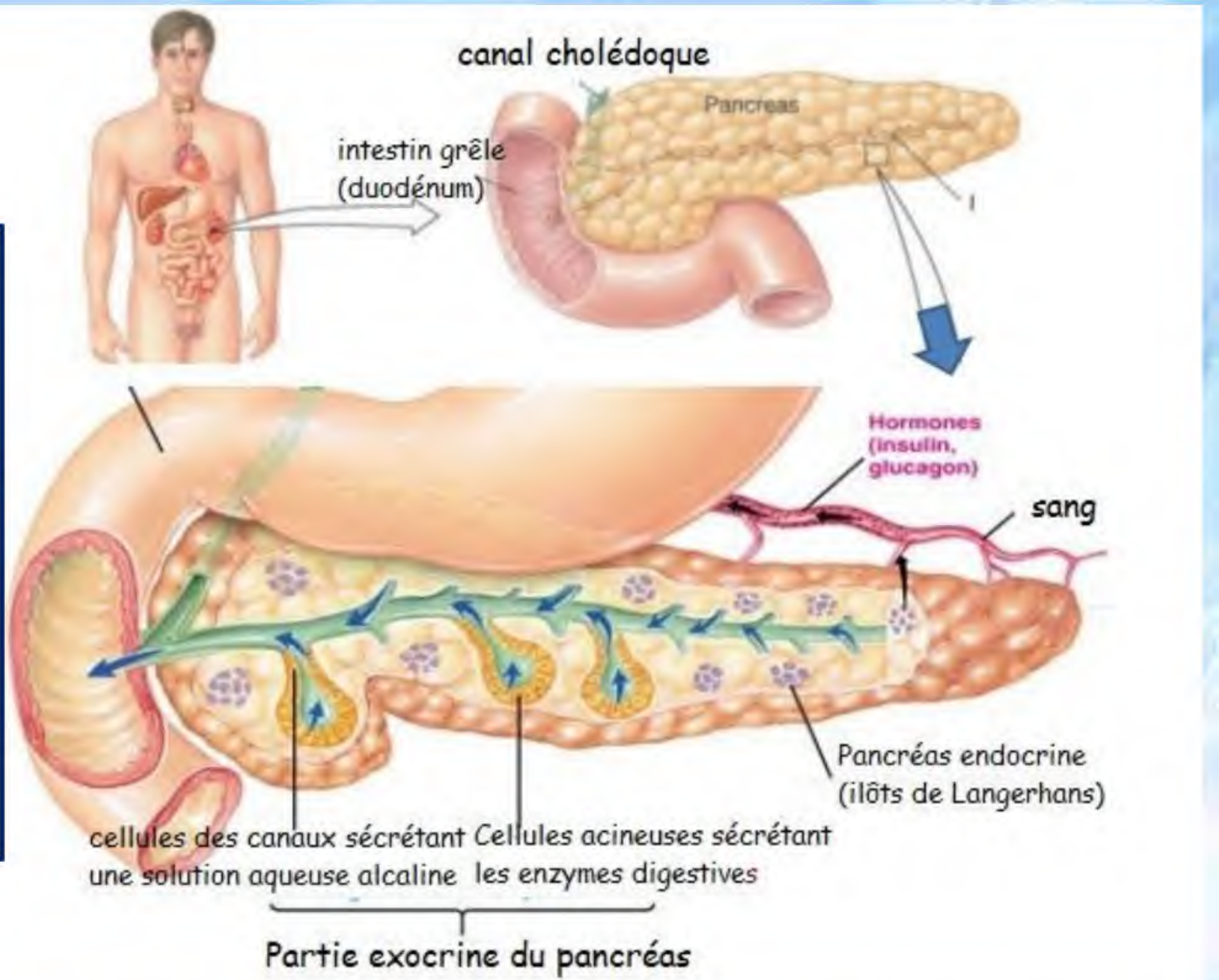
Le suc pancréatique:

i. **Enzymes digestives:** enzymes protéolytiques (trypsine, chymotrypsine, procarboxypeptidase), amylase pancréatique, lipase pancréatique.

ii. **Solution aqueuse alcaline:** riche en Bicarbonate de Na^+. Neutralise le chyme acide venant de l'estomac dans le duodénum.

La stimulation des sécrétions pancréatiques a lieu pendant la phase intestinale de la digestion.



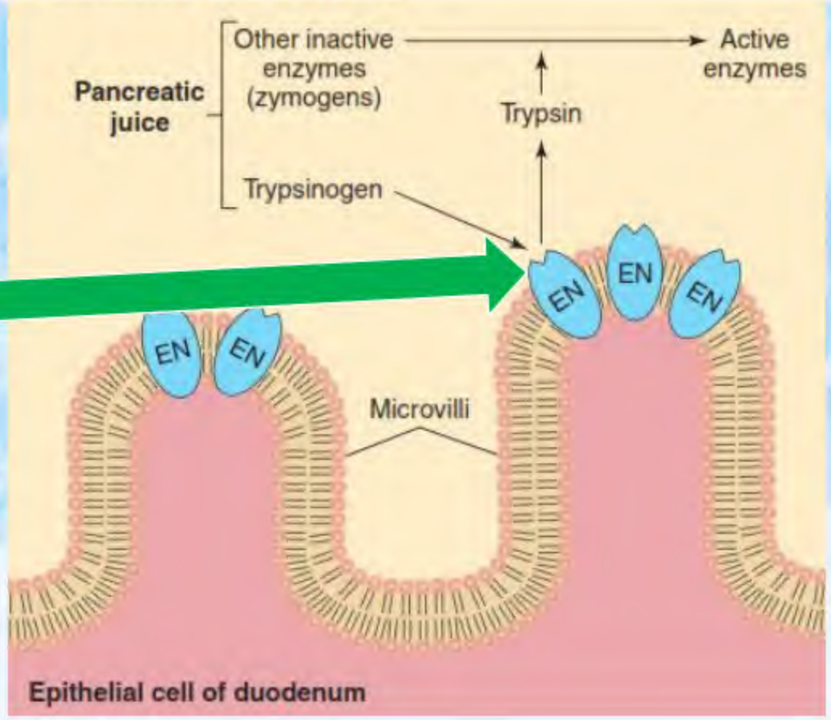


représentation schématique du pancréas exocrine et endocrine

Enzyme	Zymogen	Activator	Action
Trypsin	Trypsinogen	Enterokinase	Cleaves internal peptide bonds
Chymotrypsin	Chymotrypsinogen	Trypsin	Cleaves internal peptide bonds
Elastase	Proelastase	Trypsin	Cleaves internal peptide bonds
Carboxypeptidase	Procarboxypeptidase	Trypsin	Cleaves last amino acid from carboxyl-terminal end of polypeptide
Phospholipase	Prophospholipase	Trypsin	Cleaves fatty acids from phospholipids such as lecithin
Lipase	None	None	Cleaves fatty acids from glycerol
Amylase	None	None	Digests starch to maltose and short chains of glucose molecules
Cholesterolesterase	None	None	Releases cholesterol from its bonds with other molecules
Ribonuclease	None	None	Cleaves RNA to form short chains
Deoxyribonuclease	None	None	Cleaves DNA to form short chains

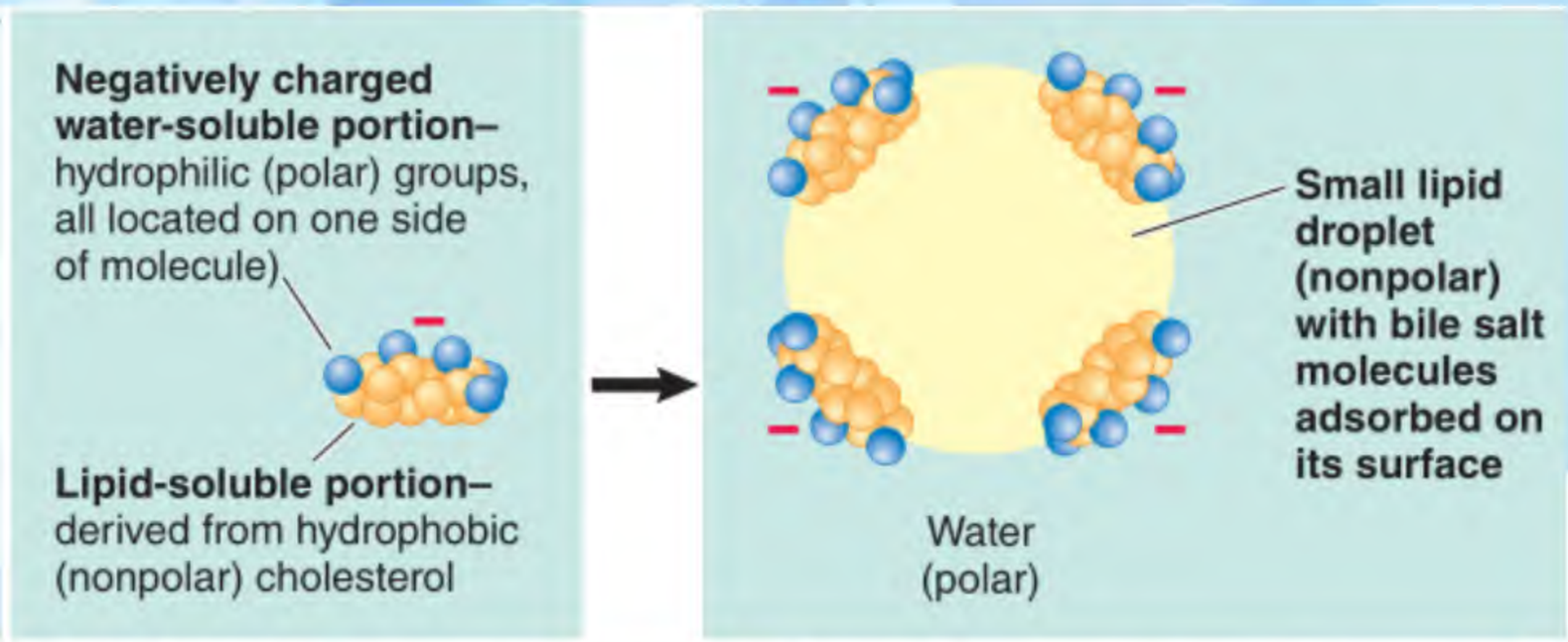
Les enzymes pancréatiques:

- **La majorité sont sécrétées sous forme inactive ou de zymogènes (granules) pour éviter l'autodigestion du pancréas.**
- **L'activation des proenzymes se fait au niveau du duodénum (bordure en brosse) par une <u>Entérokinase (EN).</u>**

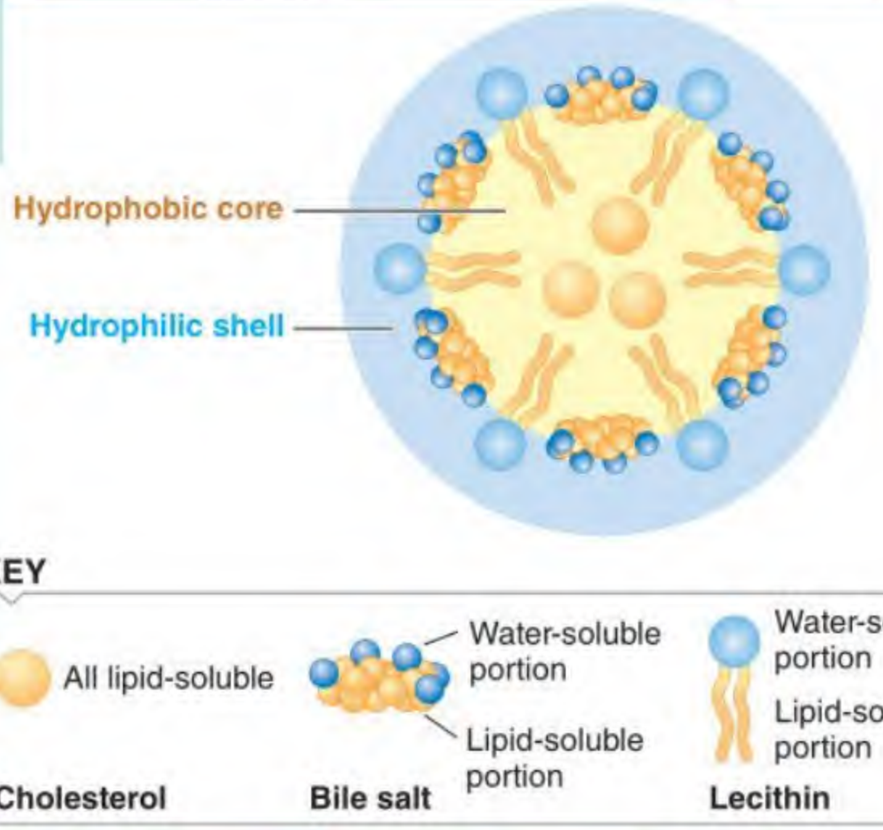


Sécrétions biliaires:

- La bile est sécrétée de façon permanente par le foie, entre les repas, elle est stockée et concentrée dans la vésicule biliaire. La quantité de la bile sécrétée varie de 250 ml à 1 litre/j selon l'importance de la stimulation.
- La bile contient de nombreux constituants organiques: sels biliaires, cholestérol.....
  - Les sels biliaires facilitent la digestion (activité détergente et émulsifiante) et l'absorption des lipides (formation des micelles).

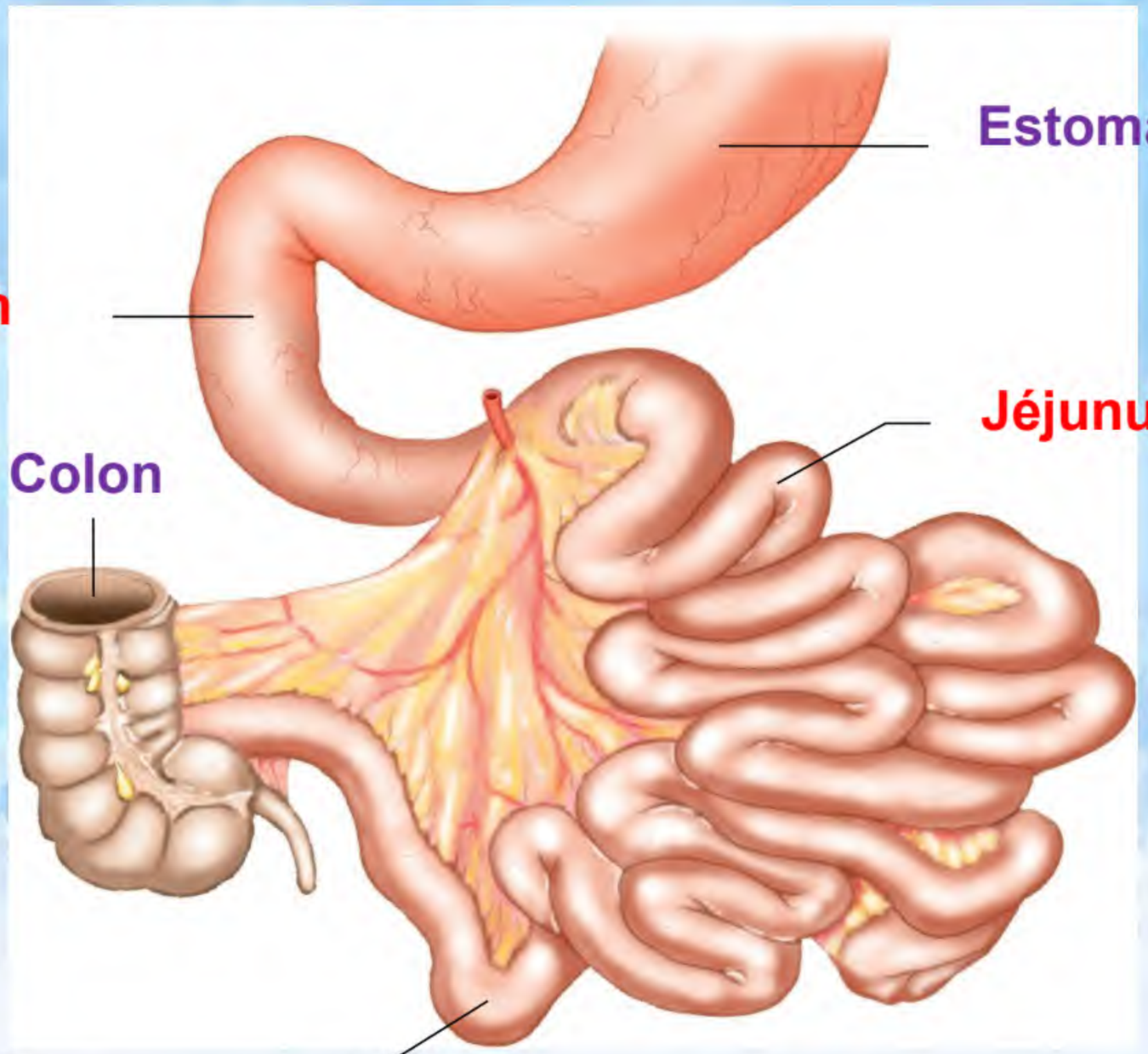


Action émulsifiante



Formation des micelles

C- PHASE INTESTINALE



1- Motilité (Motricité):

❖ La segmentation:

Contractions annulaires et stationnaires du muscle lisse circulaire tout au long de l'intestin grêle. Le chyme est poussé dans les deux sens dans les zones nouvellement relâchée.

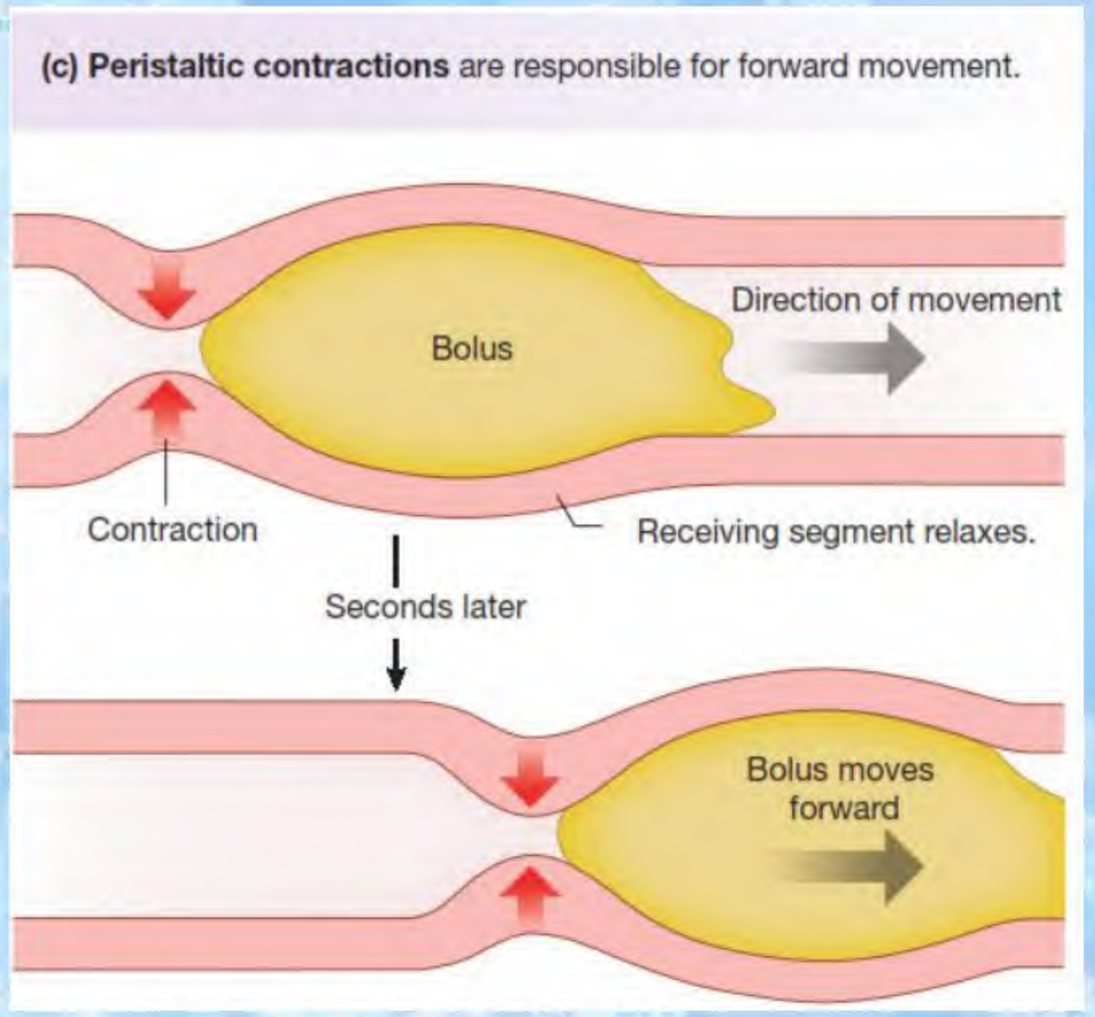
Elle devient intense juste après le repas.

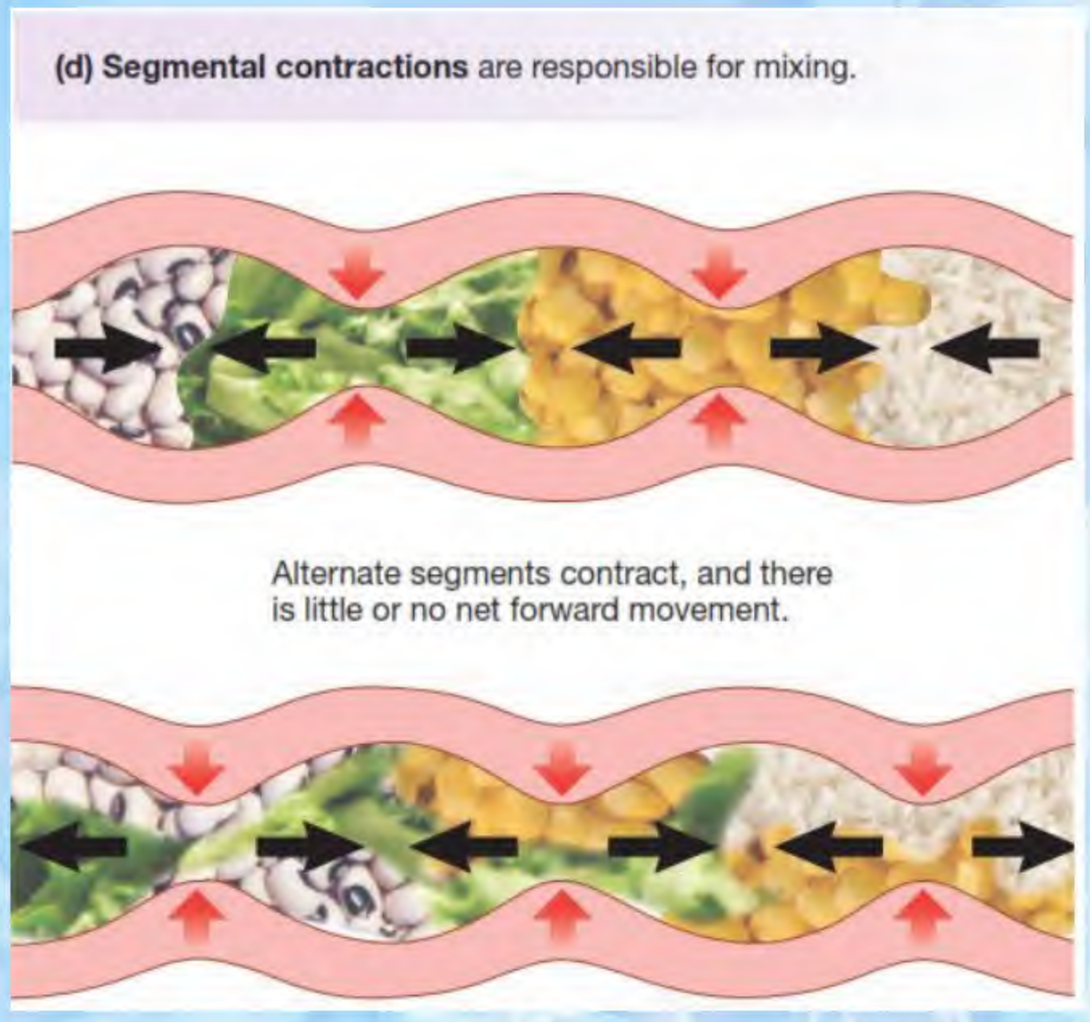
❖ Le complexe moteur migrant:

Remplace la segmentation entre les repas.

Succession de faibles contractions péristaltiques qui progressent le long de l'intestin (il parcourt l'intestin en 100 à 150 min).

Nettoie l'intestin en poussant vers le colon le reste non digéré du repas précédent.

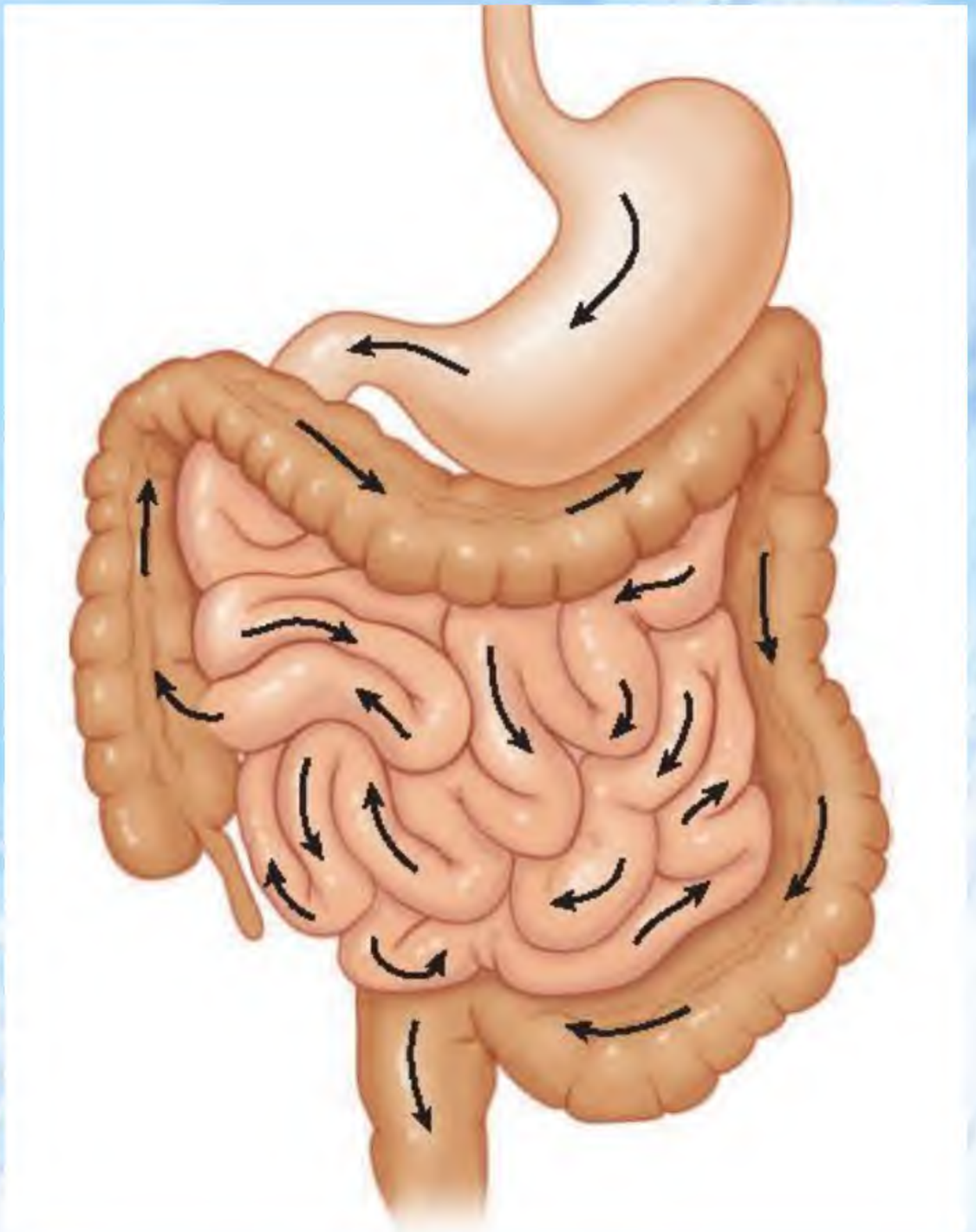




- **Plusieurs zone (segments) de l'intestin se contractent/relâchent en même temps.**
- **non propulsif: contractions stationnaires, assure le brassage.**

Le complexe moteur migrant:

- une série de contractions qui commencent au niveau de l'estomac et se terminent au niveau du gros intestin.
- entre les repas, le duodénum sécrète la motiline, une hormone qui stimule le péristaltisme.



Rôle fonctionnel du CMM

Contribue à débarrasser l'intestin :

- des particules alimentaires non digérées
- des sécrétions digestives non réabsorbées
- des bactéries ayant résisté à l'action de l'acide gastrique et des sels biliaires

2- sécrétion:

- Environ 1,5L/jour. La sécrétion augmente après un repas en réponse à la stimulation locale des cellules de la muqueuse par le chyme.
- Le mucus sécrété protège la muqueuse et il agit comme lubrifiant.
- La sécrétion intestinale ne contient pas d'enzymes digestives: Les enzymes produites par la muqueuse ne sont pas secrétées dans la lumière de l'intestin grêle, mais elles restent dans la paroi apicale des cellules épithéliales où elles agissent.

3-Digestion

3 types de digestion.

- **Extracellulaire**: faite par les enzymes pancréatiques.
- **Intra épithéliale** (membranaire): au contact de la bordure en brosse: 03 catégories d'enzymes :
  - **Entérokinase**: active la trypsinogène pancréatique (ne digère pas).
  - **Disaccharidases**: maltase, sucrase et lactase.
  - **Aminopeptidases**: hydrolysent les peptides.
- **Intracellulaire**: à l'intérieur des entérocytes. Cas des oligopeptides qui sont hydrolysés en acides aminés libres.

1- DIGESTION DES GLUCIDES.

- Commence au niveau de la bouche, catalysée par l'amylase salivaire:

Polysaccharides → Oligosaccharides.

- Au niveau de l'estomac sous l'action de l'amylase salivaire (mais rapidement inactivée).
- Lumière de l'intestin grêle: l'amylase pancréatique:

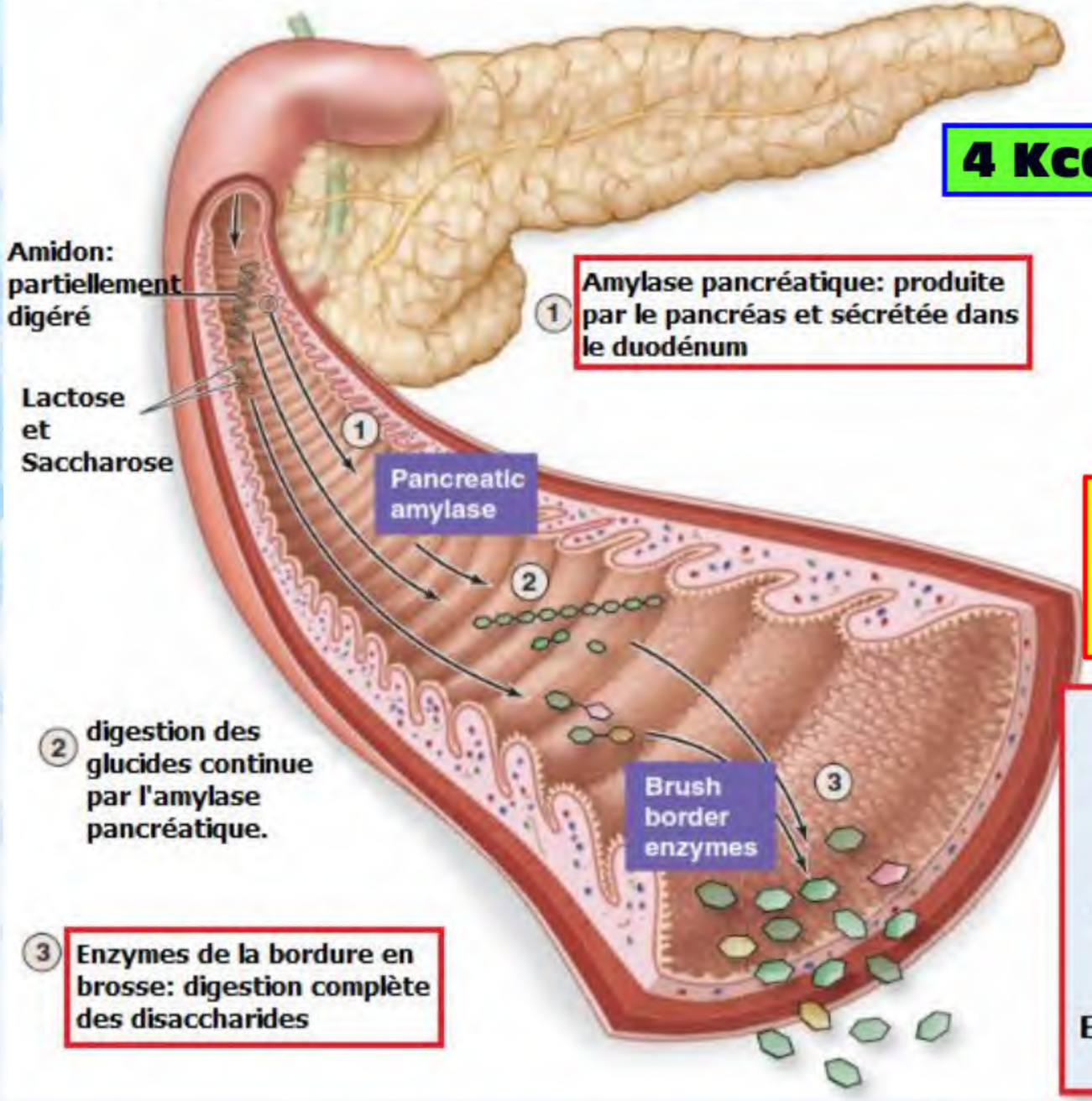
Poly et oligosaccharides → disaccharides.

- Bordure en brosse: les disaccharidases (lactase, maltase, sucrase):

oligosaccharides → monosaccharides (glucose, fructose, galactose).

Digestion des glucides:

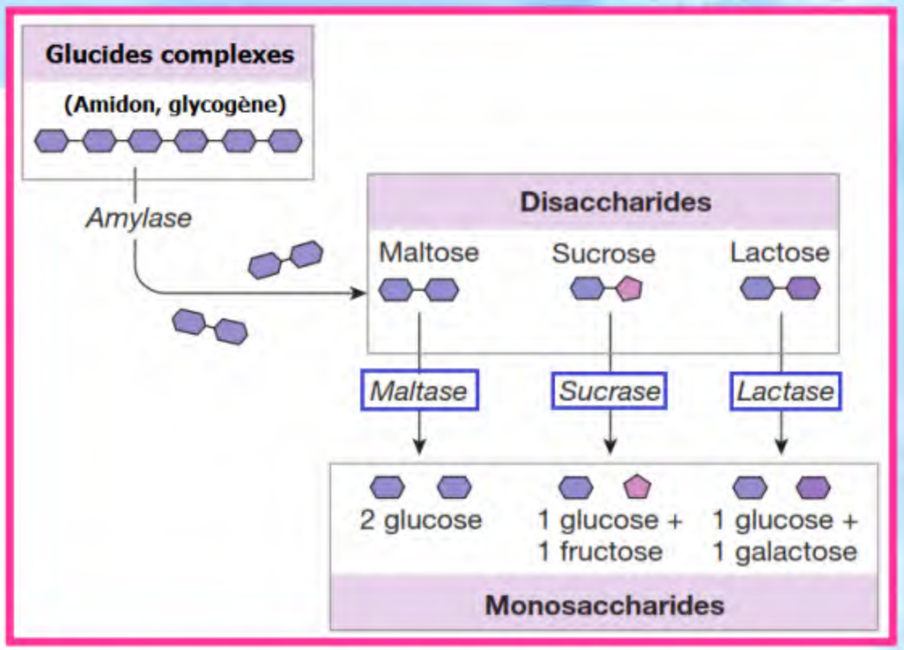
4 Kcal/g



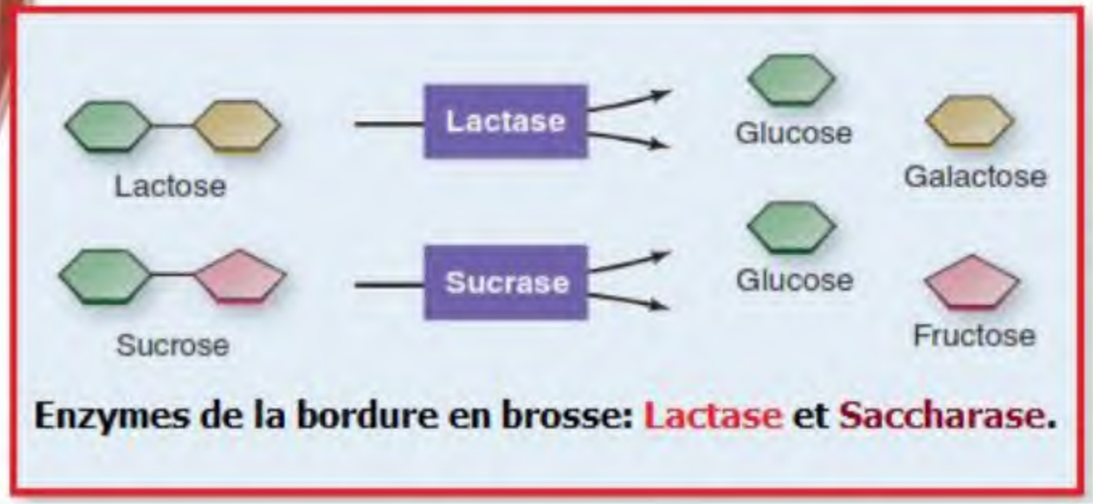
1. Amylase pancréatique: produite par le pancréas et sécrétée dans le duodénum

2. digestion des glucides continue par l'amylase pancréatique.

3. Enzymes de la bordure en brosse: digestion complète des disaccharides



!!! Amylase pancréatique: n'agit pas au niveau de la bordure en brosse!!!



Enzymes de la bordure en brosse: Lactase et Saccharase.

2- DIGESTION DES PROTÉINES.

- Minime au niveau l'estomac (10-15% des protéines ingérées). Pepsine:

protéines → poly, oligopeptides et parfois AA libres.

- Lumière du l'intestin grêle: Enzymes pancréatiques (trypsine et chymotrypsine):

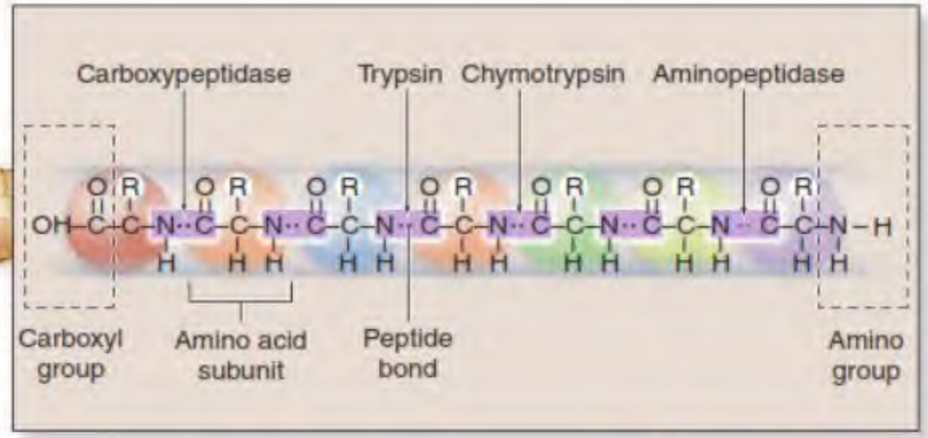
protéines → polypeptides, (seront transformés en des peptides plus petits par la carboxypeptidase pancréatique).

- Bordure en brosse: les enzymes intestinales (dipeptidase, carboxypeptidase et aminopeptidase):

peptides→AA libres.

- Les oligopeptides (2 à 3 aa) non digérée vont pénétrer à l'intérieur des entérocytes (digestion intracellulaire) où ils seront hydrolysés →AA libres.

Digestion des protéines:



(b)

Valeur énergétique: 4 Kcal/g

(a)

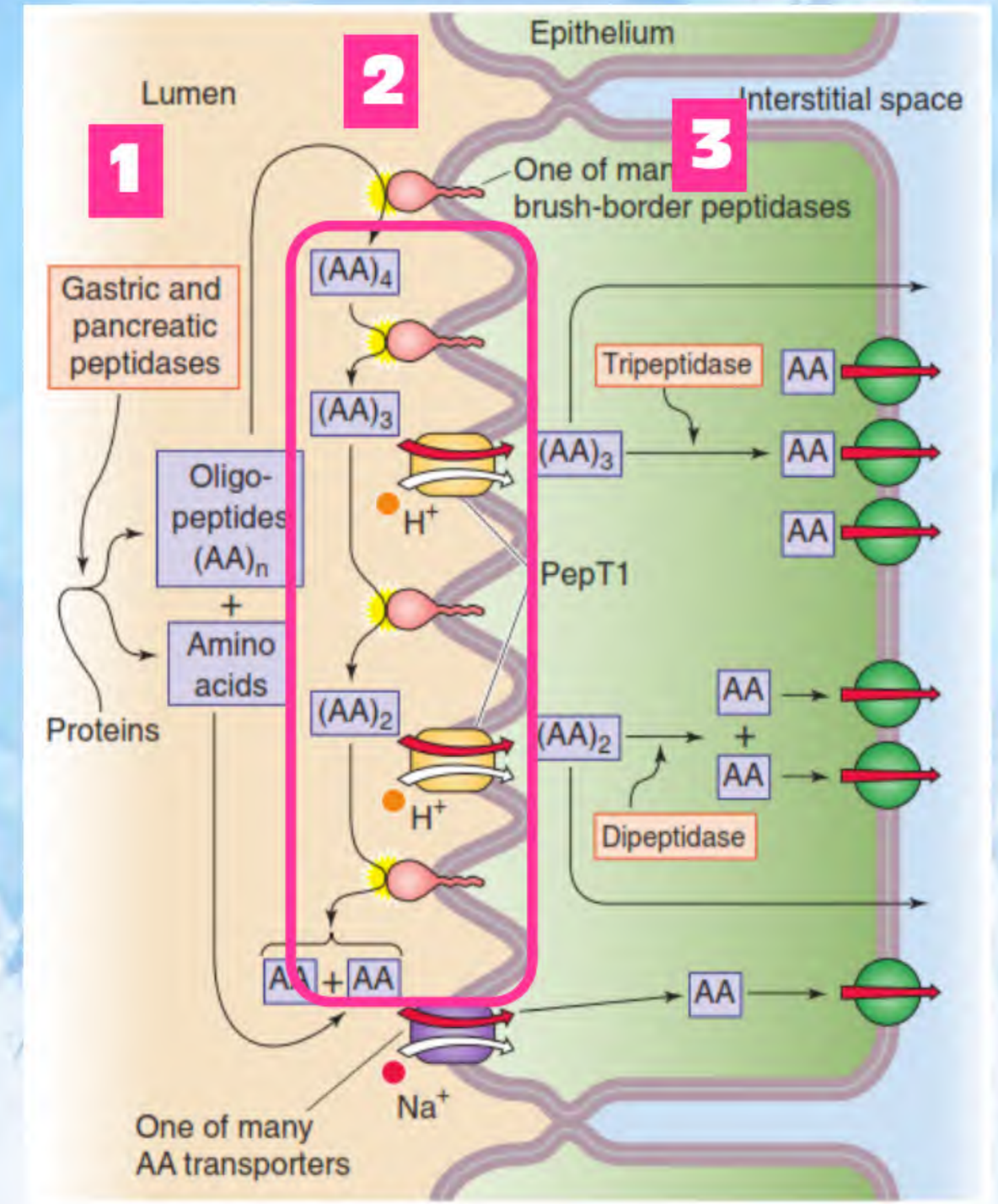
Digestion des protéines

(1): digestion extracellulaire

(2): digestion membranaire

(3): digestion cytosolique

N.B: Enzymes pancréatiques sécrétées sous forme de proenzymes.!!!

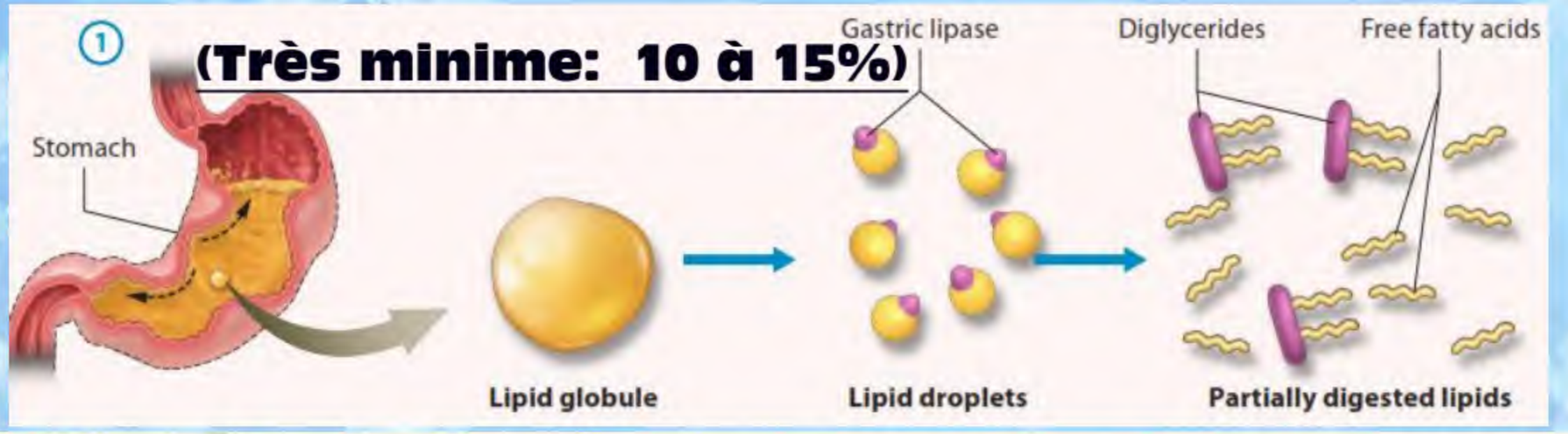


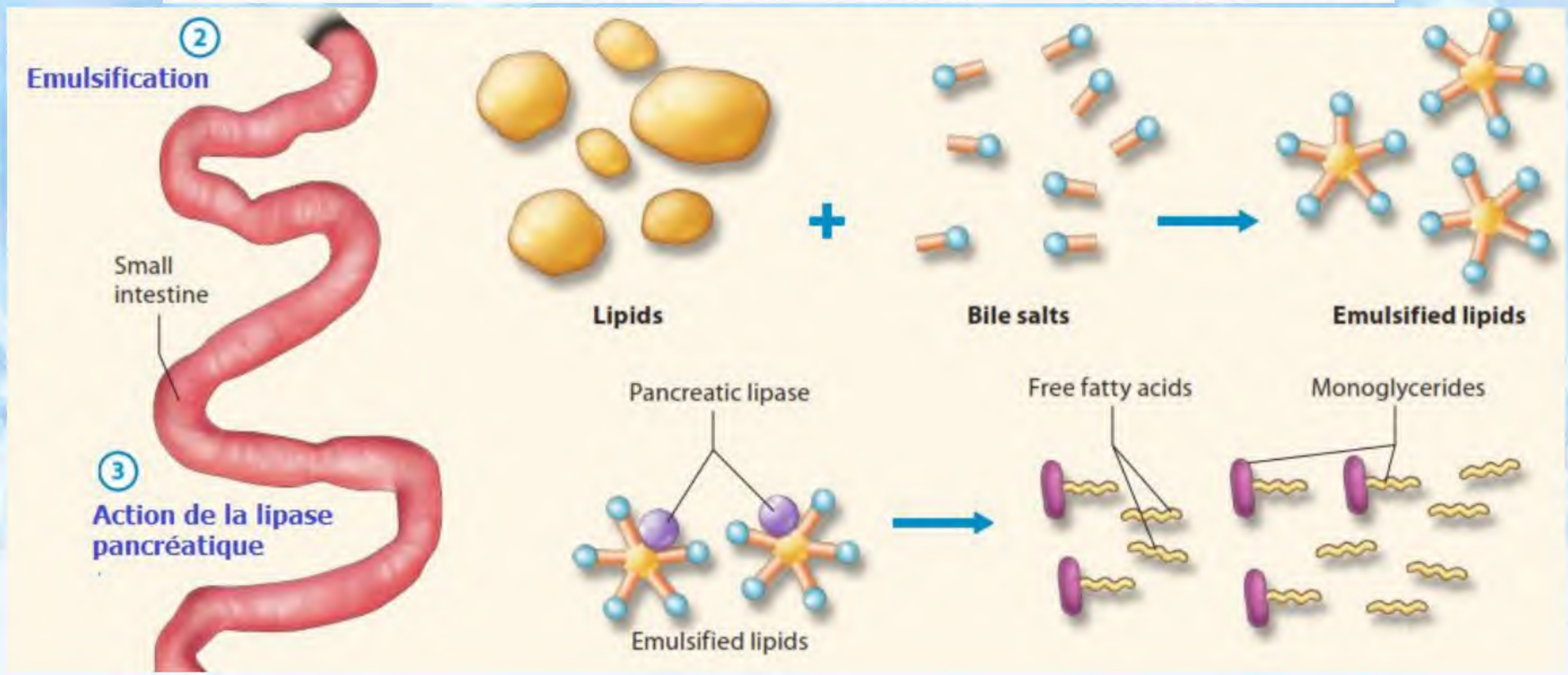
twitrounds.com

3- DIGESTION DES LIPIDES.

- 90% des lipides alimentaires sont ingérés sous forme de Triglycérides (TG).
- Les TG sont hydrophobes. Dans un environnement aqueux, ils forment des grosses gouttelettes lipidiques (faible surface de contact avec les enzymes).
- Les TG sont partiellement hydrolysés au niveau de l'estomac: lipase gastrique (active surtout chez le nouveau-né).
- Intestin grêle: les TG subissent l'action émulsifiante des sels biliaires, ce qui favorise le contact avec la lipase pancréatique qui hydrolyse les TG → acides gras et glycérol.

twitrounds.com

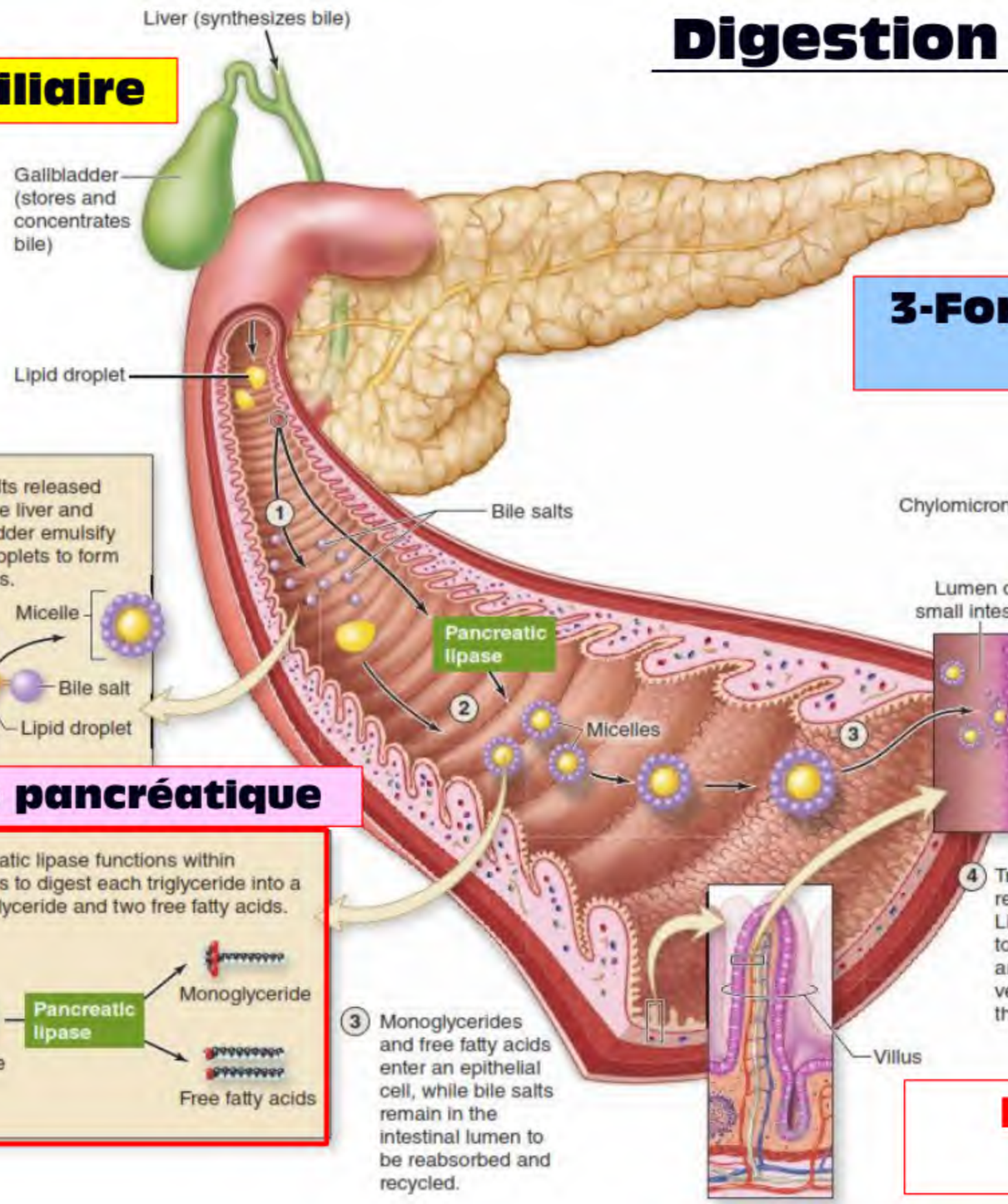




Digestion et absorption des lipides

9 Kcal/g

Vésicule biliaire



1-Emulsification

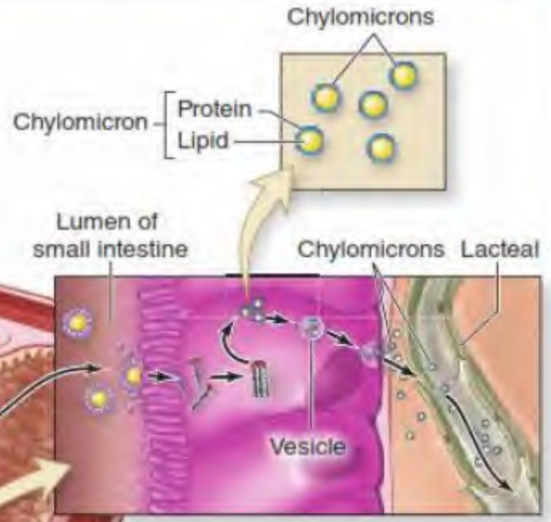
1 Bile salts released from the liver and gallbladder emulsify lipid droplets to form micelles.

2-Action de la lipase pancréatique

2 Pancreatic lipase functions within micelles to digest each triglyceride into a monoglyceride and two free fatty acids.

3 Monoglycerides and free fatty acids enter an epithelial cell, while bile salts remain in the intestinal lumen to be reabsorbed and recycled.

3-Formation des micelles et absorption

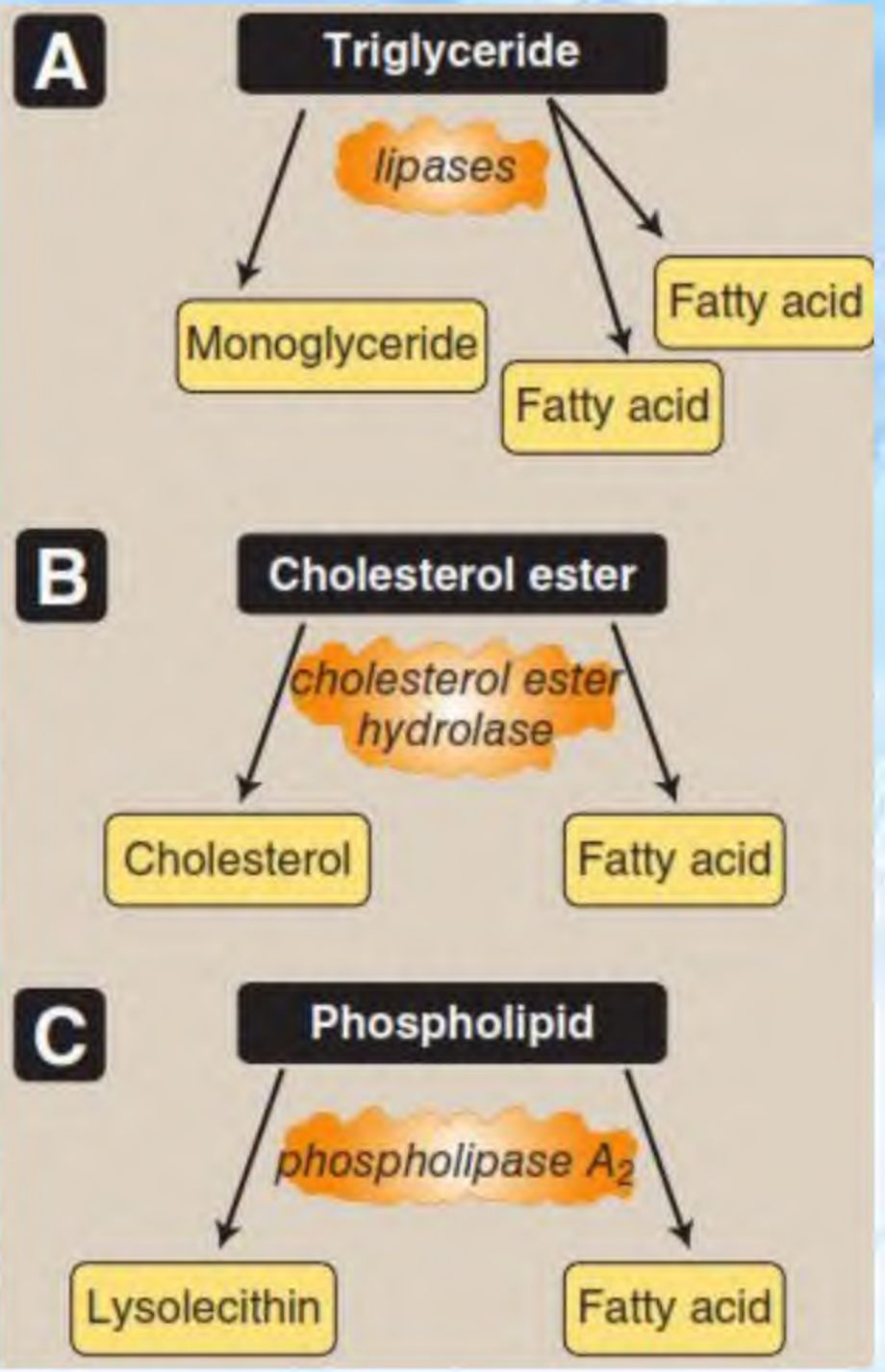


4 Triglyceride molecules are reassembled within epithelial cells. Lipids are then wrapped with protein to form a chylomicron. Chylomicrons are packaged within secretory vesicles and then exocytosed from the cells and absorbed into lacteals.

Passage dans la circ. lymphatique

Remarques:

1. La lipase pancréatique digère uniquement les triglycérides.
2. Le cholestérol (esters) est hydrolysé par la cholestérol estérase.
3. Les Phospholipides sont digérés par la phospholipase A2.



4-Absorption: Généralités

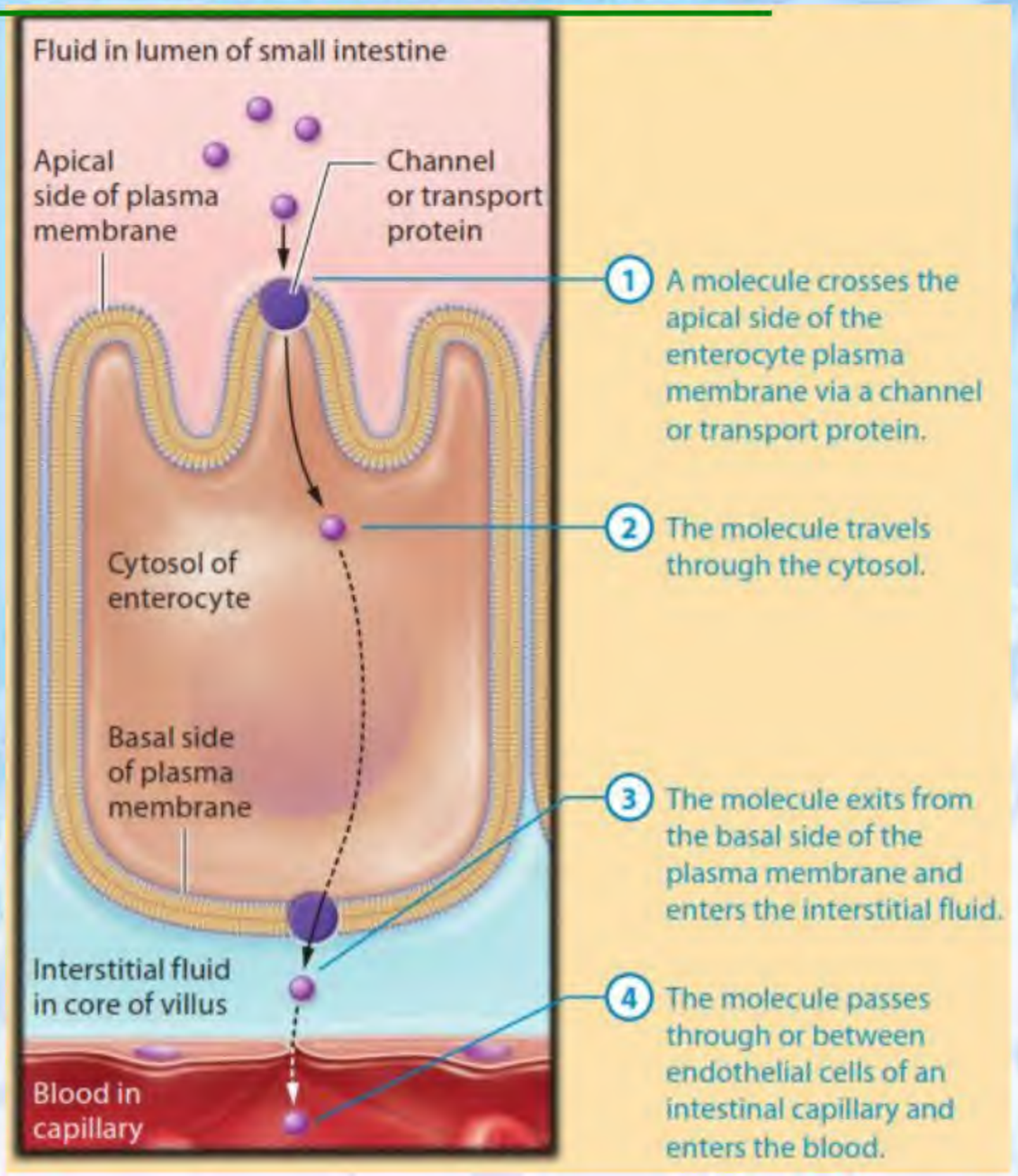
Pour être absorbée, une molécule doit :

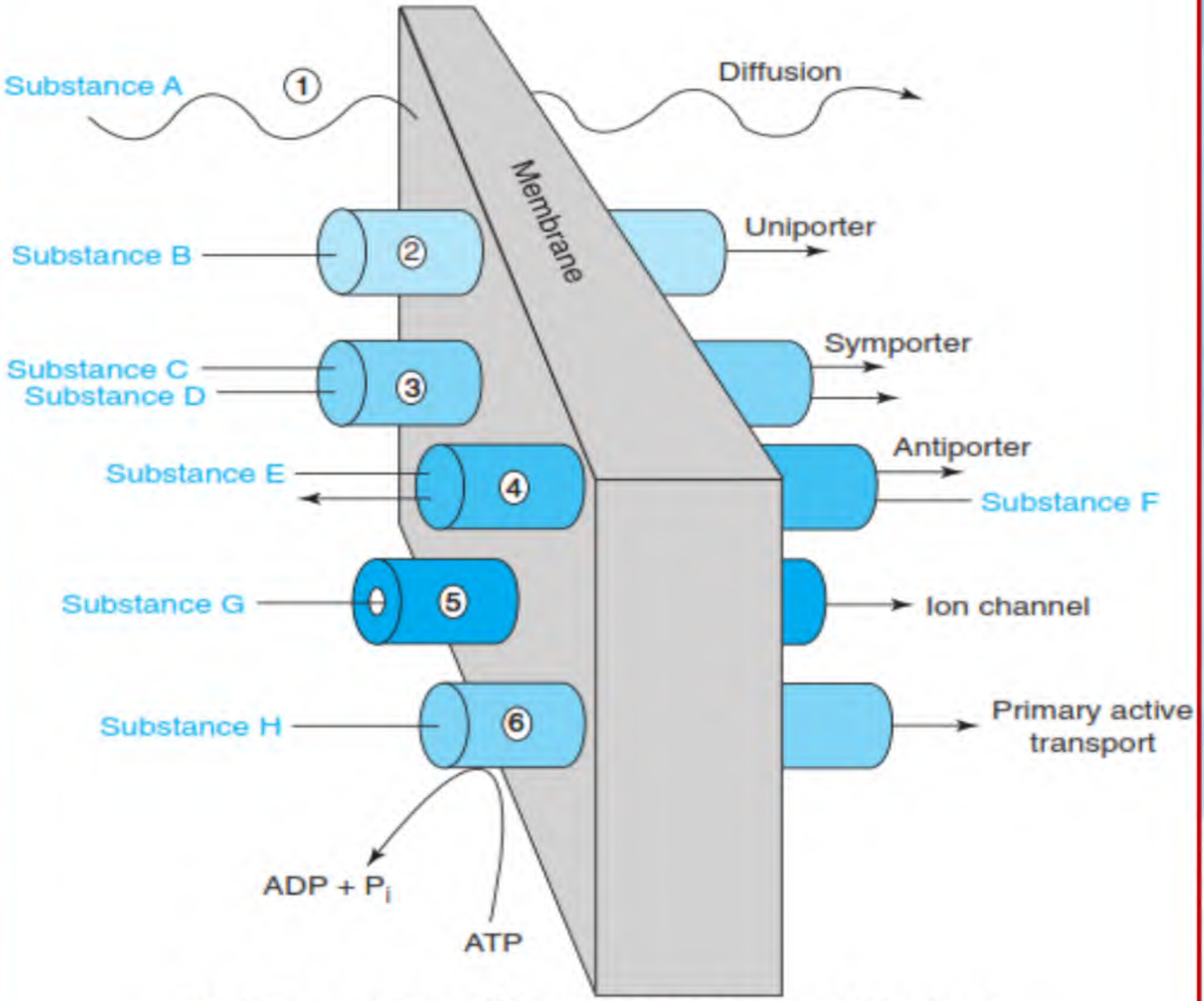
1- Passer à travers la membrane apicale de l'entérocyte.

2- Traverser le cytoplasme de l'entérocyte.

3- Quitter l'entérocyte du côté basolatéral.

4- Traverser le liquide interstitiel et entrer dans la capillaire sanguine.





Basic mechanisms of transmembrane solute transport.

I.G est parfaitement adapté à l'absorption:

Surface d'absorption considérable:

i. La paroi forme des replis: valvules conniventes qui multiplie par 3 la surface,

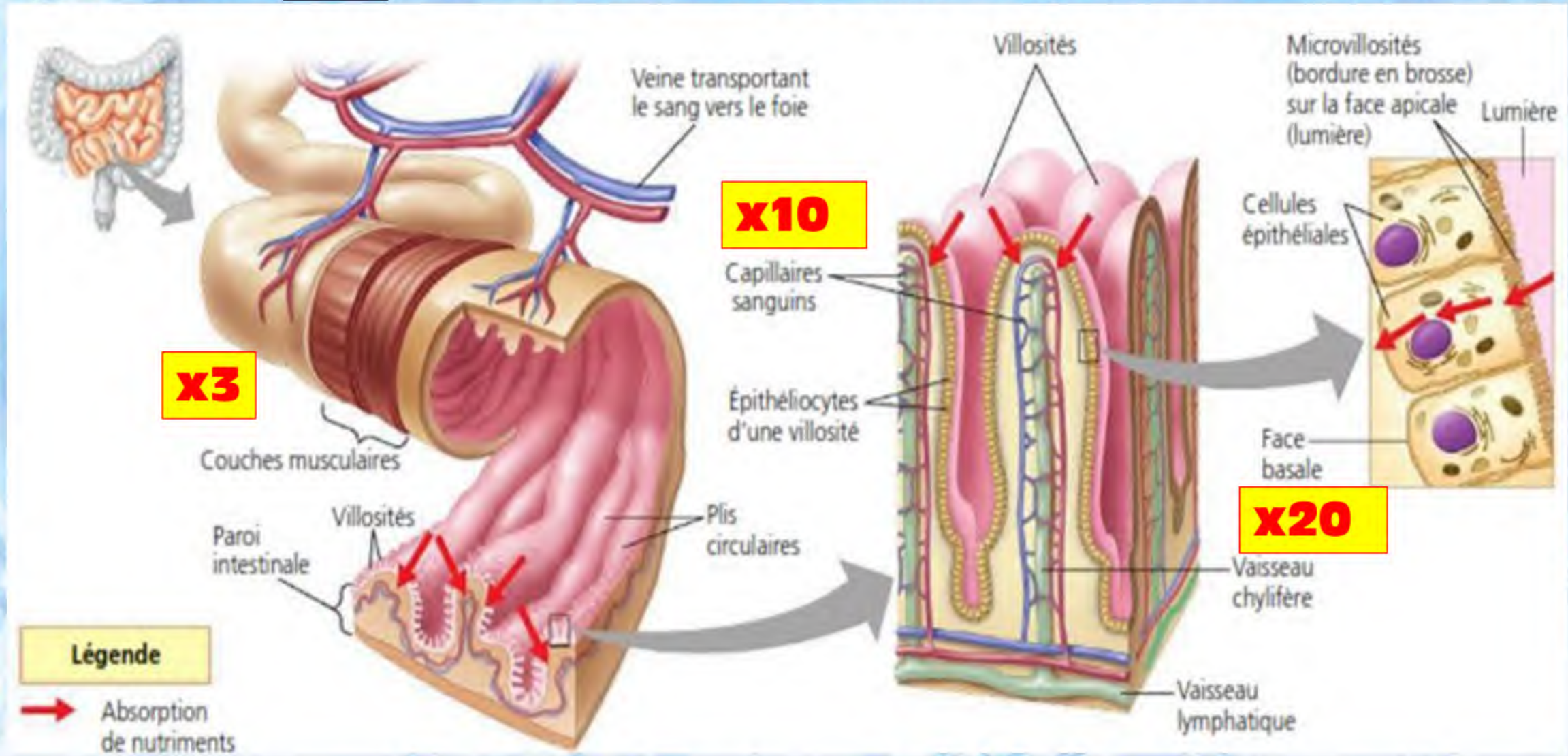
ii. La muqueuse contient des villosités sous forme de doigt de gant (multiplie par 10 la surface).

iii. Les microvillosités forment la bordure en brosse, ce qui multiplie encore une fois par 20 la surface.

Systèmes de transport:

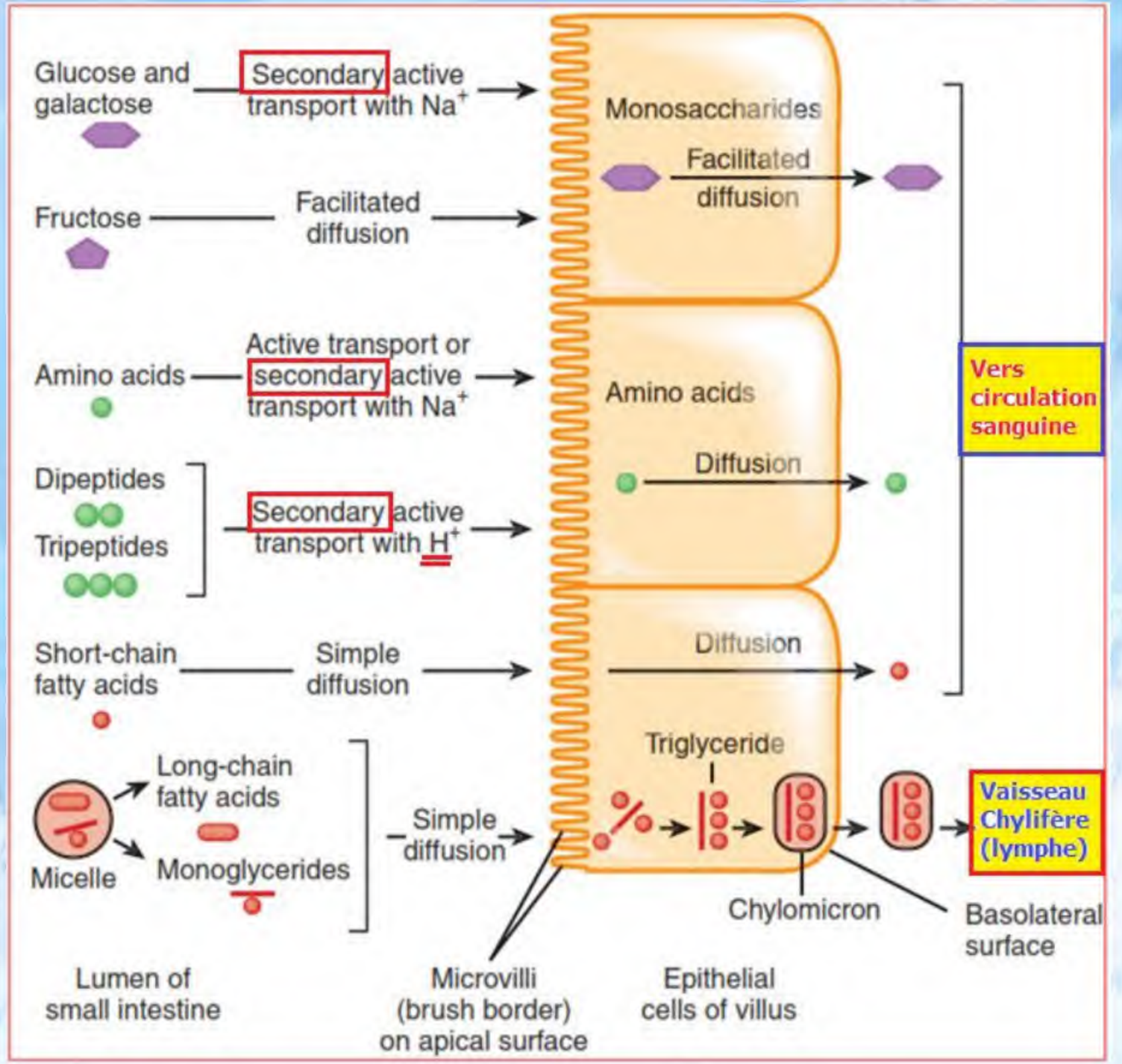
les cellules épithéliales sont dotées d'une variété de systèmes de transport spécialisés: transporteurs spécifiques, canaux...

Plis circulaires, villosités et microvillosités: augmente 600 fois la surface absorptive de l'intestin.



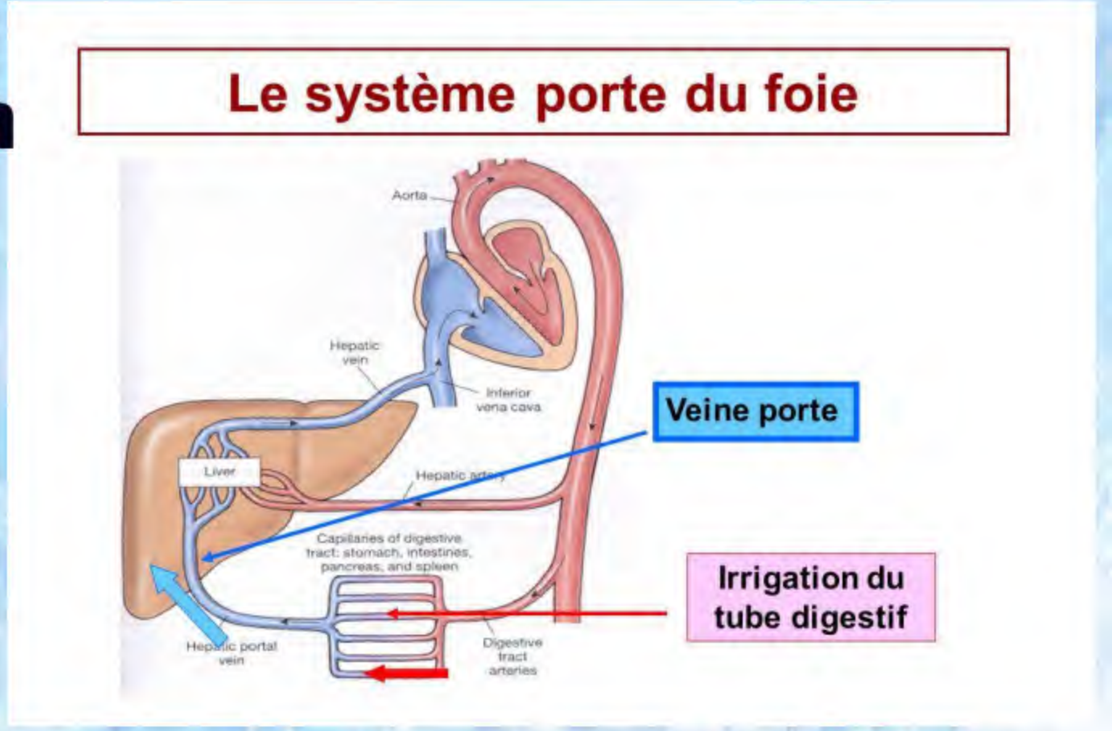
Adaptations structurelles de l'intestin grêle.

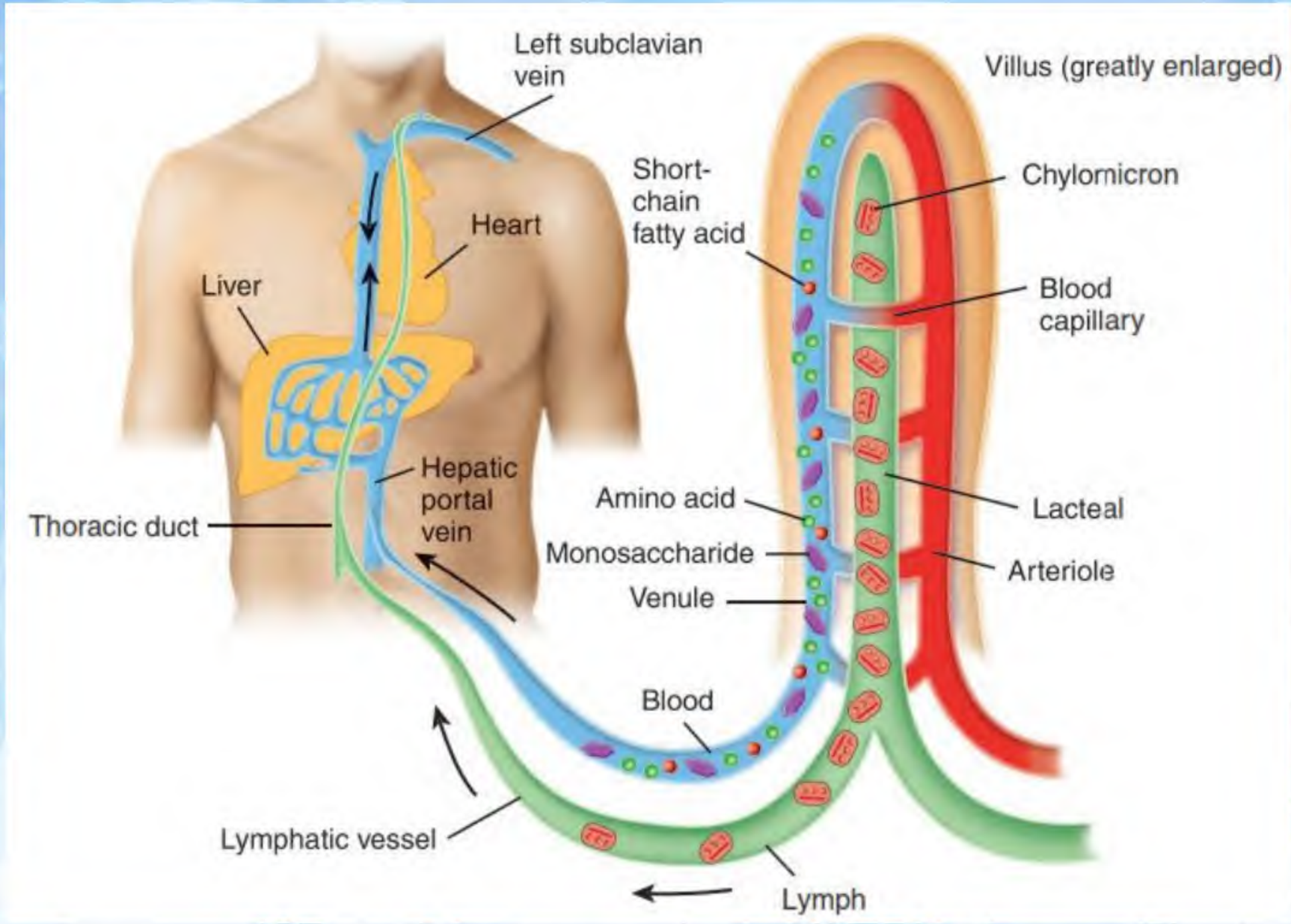
Absorption des nutriments: Résumé des mouvements des nutriments à travers les cellules absorptives intestinales



Absorption: le système porte du foie

- La plupart des nutriments absorbés passent dans le foie avant d'atteindre la circulation sanguine:
- Les nutriments riches en énergie participent à des processus métaboliques dans le foie.
- Les substances toxiques seront éliminées dans le foie avant de passer dans le sang.





(b) Movement of absorbed nutrients into the blood and lymph

Le gros intestin

- Divisé en 4 régions: le caecum, l'appendice, le côlon et le rectum.
- Le lieu de desséchement et de stockage des résidus indigestibles, des constituants non absorbés de la bile.
- Le côlon absorbe encore de l'eau et du sel et contenu résiduel forme les fèces qui seront éliminés.
- Les mouvements du côlon sont *lents* et *non propulsifs*, ils brassent le contenu dont ils favorisent le contact avec la muqueuse.
- Ce sont les *contractions haustrales* ou les haustrations qui sont dues à l'activité rythmique propre des cellules musculaires lisses (9 à 12 contraction/min).