

PHYSIOLOGIE ANIMALE

PARTIE 1 - DIGESTION

A. Nutriments et Besoins Nutritionnels.

1/ Généralités

Les nutriments sont des composés simples, c'est la partie assimilable des aliments. Le nutriment en terme général est toutes les substances utilisées par l'organisme dans le but de maintenir son bon fonctionnement.

Il existe deux grands types de nutriments :

- Macronutriments : Lipides, Glucides, eau
- Micronutriments : minéraux, vitamines

On peut classer les nutriments en fonction des quantités trouvées dans l'organisme.

Les macronutriments vont être digérés puis absorbés pour donner au final les nutriments cellulaires : oses, acides gras et acides aminés.

	vitamines	abréviation	apports recommandés	source alimentation
vitamines hydrosolubles	thiamine	vit B1	1,3 mg	céréales, levures viandes
	riboflavine	vit B2	1,5 mg	lait, légumes verts viandes, abats
	acide pantothémique	vit B5	10 mg	jaune d'oeuf, viande abats
	pyridoxine	vit B6	2 mg	viandes, volailles poissons
	niacine	vit PP	15 mg	viandes, volaill poissons
	acide folique	vit B9	300 µg	légumes verts, abat viandes
	cobalamine	vit B12	3 µg	foie, viandes, volailles, poissons
	acide ascorbique	vit C	80 mg	fruits, légumes
	biotine	vit B8	2 µg	foie, jaune d'oeuf
liposolubles	rétinol	vit A	800 µg	beurre, foie, poissons
	calciférol	vit D	10 µg	huile de poisson, (UV : synthèse cutanée)
	tocophérol	vit E	18 UI= 12 mg	huiles végétales
	phytoménadione	vit K1	35 µg	légumes verts

Figure 1

2/ S'alimenter dans quel but ?

Une alimentation doit être équilibrée et suffisante pour faire face à différents types de besoins :

Besoins énergétiques

C'est l'énergie nécessaire au maintien de l'activité de l'organisme. Ces derniers vont varier en fonction de l'âge, du sexe, de l'environnement et aussi de l'activité physique.

Les besoins énergétiques sont constitués de plusieurs besoins, c'est la dépense énergétique (DE) :

- **Métabolisme de base**

Représente 60 à 75 % de l'énergie dépensée par jours. Ceci va permettre d'assurer les fonctions vitales de l'organisme pour le fonctionnement minimum, en dehors de toute autre dépense. Pour être mesuré, l'individu doit être à jeun, au repos, neutralité thermique. Ce besoin diminuera avec l'âge.

- **Thermogenèse postprandiale**

Constitue 10% de l'énergie dépensée. Elle est liée à la digestion et l'ingestion des aliments et, une partie de l'énergie va servir aussi à la mise en place des réserves. Il y a une perte de 300Kcal/j due à la thermogenèse postprandiale.

- **Les besoins de travail et d'activité**

Energie nécessaire pour un effort physique. 60% vont servir au travail et le reste sous forme de chaleur.

Chez l'homme varie entre 2200-3400 Kcal/j. Chez la femme entre 1800-2200 Kcal/j

Varié aussi en fonction de l'âge et de la masse corporelle...

- **Les autres dépenses**

Besoin lors de la croissance chez les enfants et les adolescents. Besoin d'allaitement (700 Kcal/j)

Besoins non énergétiques :

Concernent le maintien, réparation et la protection des tissus. Les nutriments servent de substrat au métabolisme énergétique (glucides et lipides) mais aussi de substrat au niveau plastique (vitamine, oses, protéines).

3/ Besoins énergétiques

L'énergie est fournie par les glucides et les lipides sauf lors d'un jeûne à long terme où on va utiliser des protéines.

Il faudra un certain équilibre alimentaire :

Glucide 55% (1g = 4 Kcal)

Lipide 35% (1g = 9 Kcal)

Protéine 14% (1 g = 4Kcal) ** avec 1cal= 4.184 J**

- **Besoin en glucides**

L'alimentation se fait sous forme d'amidon (50% des glucides de l'alimentation). c'est un polysaccharide d'origine végétale, formé de glucoses. On trouve aussi des oligodisaccharides : saccharose (30%) lactose (10%) maltose. Peu de mono saccharose. Les apports en glucose sont d'environ 250g/j.

- **Besoin en protéines**

12 à 14% de l'apport global soit 1g de protéine par jour et par kilo de poids corporel. C'est un besoin qualitatif très important. L'organisme peut synthétiser des acides aminés à partir du glucose mais il existe des acides aminés essentiels appelés les **acides aminés indispensables** :

- Isoleucine, phénylalanine, leucine, thréonine, lysine, tryptophane, méthionine, valine, histidine, arginine.

Les acides aminés aromatiques essentiels sont en quantité suffisante dans les produits d'origine animale. Dans les végétaux on trouve très peu de lysine, méthionine et tryptophane.

- **Besoin en lipides**

Sert à l'énergie, aura un rôle structural, sous forme de phospholipides et de cholestérols, ainsi qu'un rôle fonctionnel dans la synthèse des prostaglandines. Il existe une forme visible (beurre) ou une forme cachée (viandes et jaune d'œuf).

96 % des graisses alimentaires sont ingérées sous forme de triglycérides (un glycérol dont les fonctions alcool sont estérifiées par trois acides gras identiques ou différents). Ils possèdent des acides gras à chaînes longues qui seront saturées ou mono insaturées ou poly insaturées en fonction du nombre de doubles liaisons qu'il y a sur la chaîne carbonée. Certains acides gras sont essentiels et seront bénéfiques par rapport aux saturés. Ils limiteront les accidents cardio-vasculaires. On trouve aussi des phospholipides, lécithines, des stérols et tocophérols.

4/ Autres besoins

- **Besoin en vitamines**

Elles sont indispensables à la vie mais nécessaires en petite quantité et, une alimentation équilibrée apporte toutes les vitamines nécessaires.

On peut les classer en différentes classes :

- Solubles dans l'eau : **B / C / PP**

- solubles dans les lipides **A / E / D / K**

- Hydrosolubles : agents réducteurs : **C** ou précurseurs de coenzymes : **B2**

- Liposolubles ont une action moléculaire (exemple **D** : régule le métabolisme du calcium et du phosphate et la vitamine **E** est un agent antioxydant des membranes lipidiques).

	vitamines	abréviation	apports recommandés	source alimentation
vitamines hydrosolubles	thiamine	vit B1	1,3 mg	céréales, levures viandes
	riboflavine	vit B2	1,5 mg	lait, légumes verts viandes, abats
	acide pantothémique	vit B5	10 mg	jaune d'œuf, viande abats
	pyridoxine	vit B6	2 mg	viandes, volailles poissons
	niacine	vit PP	15 mg	viandes, volaill poissons
	acide folique	vit B9	300 µg	légumes verts, abat viandes
	cobalamine	vit B12	3 µg	foie, viandes, volailles, poissons
	acide ascorbique	vit C	80 mg	fruits, légumes
	biotine	vit B8	2 µg	foie, jaune d'œuf
liposolubles	rétinol	vit A	800 µg	beurre, foie, poissons
	calciférol	vit D	10 µg	huile de poisson, (UV : synthèse cutanée)
	tocophérol	vit E	18 UI= 12 mg	huiles végétales
	phytoménadione	vit K1	35 µg	légumes verts

Figure 1

- **Besoin en sels minéraux**

Il existe des nutriments tels que le sodium, le potassium, le calcium qui ont de nombreuses fonctions et doivent être apportés en quantités suffisantes (en grammes) et les oligoéléments (quantité plus faibles : μg et mg).

Les oligoéléments (mg/l) sont parfois essentiels donc à risque de carence (iode, fer, fluor, zinc, cuivre) et il y a aussi des oligoéléments essentiels sans risque de carence (nickel, étain et manganèse). Ils ont deux fonctions importantes, avec une fonction de catalyse et vont aussi contribuer au message hormonal.

TENEUR DU CORPS HUMAIN (en g/kg)			
ÉLÉMENTS MAJEURS			
Oxygène	624,3	Carbone	211,5
Azote	31,0	Calcium	19,0
Potassium	2,3	Soufre	1,6
Sodium	0,8	Magnésium	0,27
OLIGO-ÉLÉMENTS			
Fer	0,06	Fluor	0,037
Zinc	0,033	Strontium	0,0046
Rubidium	0,0046	Cuivre	0,001
Brome	0,0029	Sélénium	0,0002
Vanadium	0,0003	Iode	0,0002
Manganèse	0,0002	Nickel	0,0001
Molybdène	0,0001	Cobalt	0,00002
Chrome	0,00002	Béryllium	0,000003
Uranium	0,000001		

Figure 2

- **Besoin en eau**

Indispensable au fonctionnement de toutes les cellules .Les besoins vont varier en fonction des pertes, qui se font par différentes voies :

- Voie urinaire (1 à 1.5 L/j)
- Voie cutanée (0.3L/jr à 1L/h)
- Voie pulmonaire (0.8L/j)
- Voie intestinale par les fèces (0.1L/j)

(Soit environ 3L/j)

Il faut un apport en eau journalier pour compenser les pertes :

- La boisson (1.5L/j)
- L'eau endogène ou de combustion (aliments) (0.3L/j) correspond à l'oxydation des nutriments (1g de glucose $\rightarrow$ 6 H₂O (2.7g)
- L'eau de constitution (0.5 à 1.5 L /j)

Il est important pour l'organisme de ne pas manquer d'eau car il ne peut pas la stocker.

B. Vue d'ensemble

Le tube digestif est composé de la bouche, de l'estomac, de l'intestin grêle, du colon et du rectum. Il existe des glandes annexes comme le foie, des glandes salivaires, le pancréas et les vésicules biliaires. Ils vont sécréter des substances grâce à des canaux qui relient au tube digestif.
Tube digestif + glandes annexes = Appareil digestif

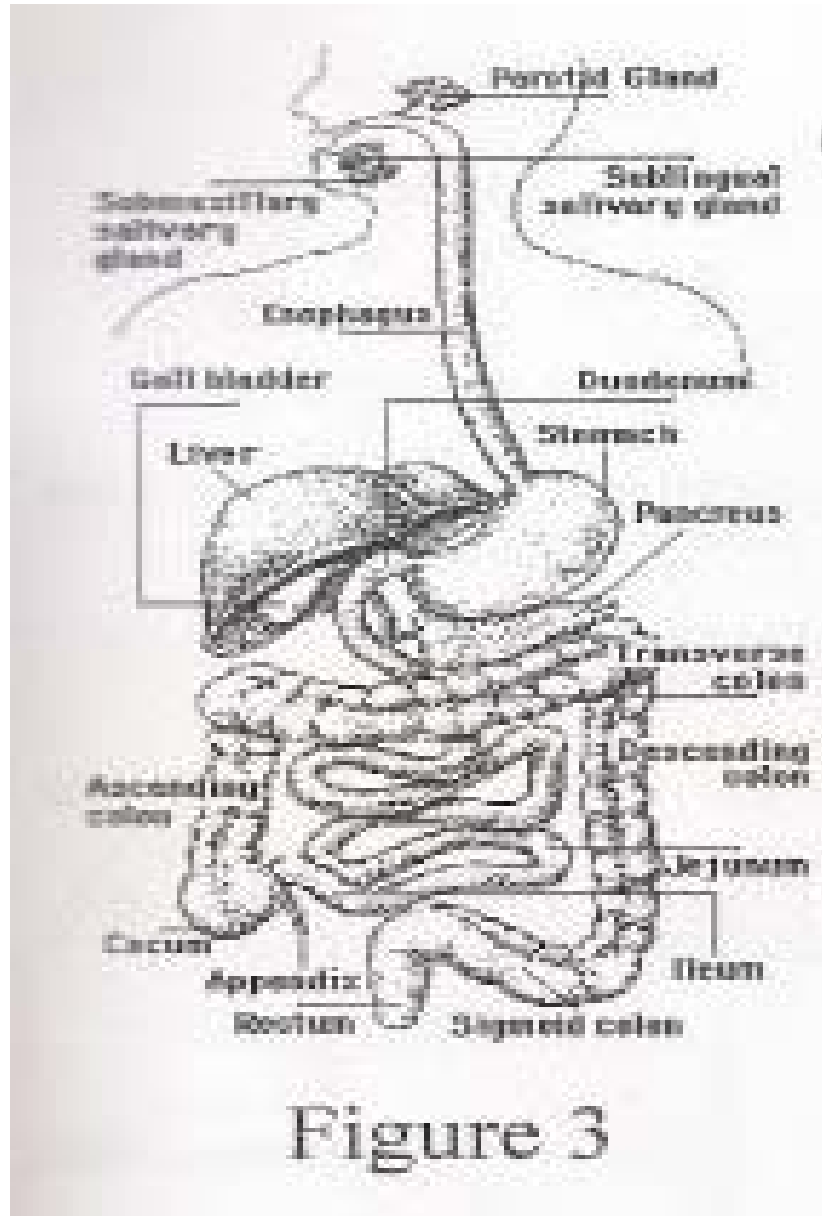


Figure 3

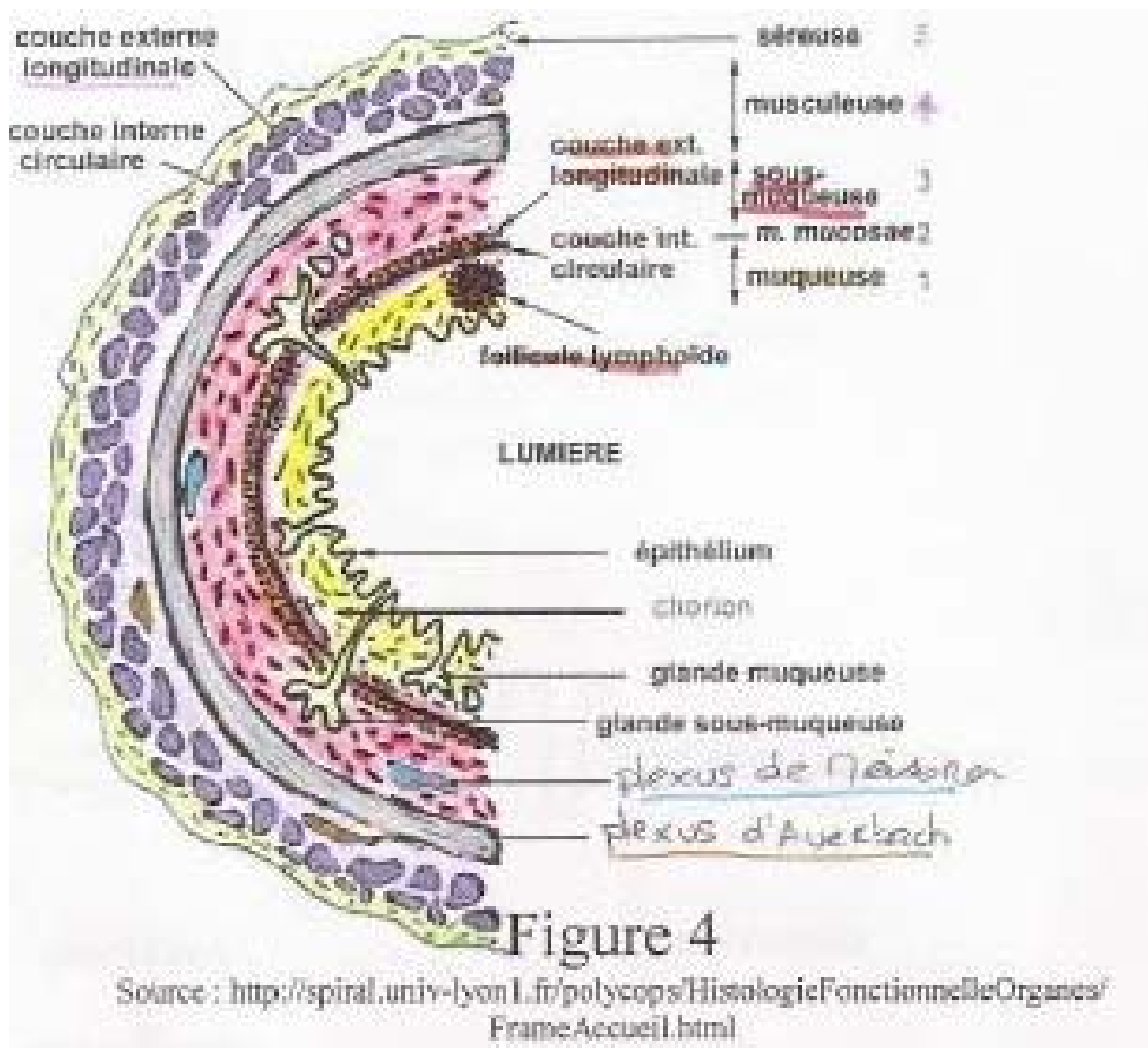
Le tube digestif mesure environ 4.5 mètres, les aliments qui transitent dans la lumière du tube digestif seront considérés dans le milieu extérieur.

Les aliments vont être dissout puis dégradés ce qui donnera des petites molécules : C'est la DIGESTION. Elle est possible grâce à de nombreuses sécrétions qui proviennent du pancréas et des glandes annexes. Ces molécules vont ensuite traverser la paroi du tube digestif et se retrouver dans la circulation sanguine.

L'appareil cardio-vasculaire et l'appareil digestif vont marcher en synergie pour apporter les nutriments jusqu'aux cellules.

A cela vient s'ajouter des phénomènes de motilité qui correspondent à des contractions des muscles du tube digestif.

C. Structure du tube digestif



La structure du tube digestif est quasi la même partout et, on retrouve différentes couches :

- **Séreuse**: couche mince de cellules et de tissu conjonctif.
- **Muscles lisses** : Ils assurent le brassage et le déplacement du contenu gastro-intestinal. On peut observer le Plexus d'Auerbach qui est un réseau de neurones.
- **La sous muqueuse** : possède du tissu conjonctif ainsi qu'un réseau de neurones (Meissner) et aussi des vaisseaux lymphatiques et sanguins.
- **La muqueuse** : Formée de 3 structures différentes : la lame basale, le chorion (tissu conjonctif) et un épithélium (en général il n'y a qu'une seule couche mais il peut arriver qu'il y ait de la kératine chez les rongeurs).

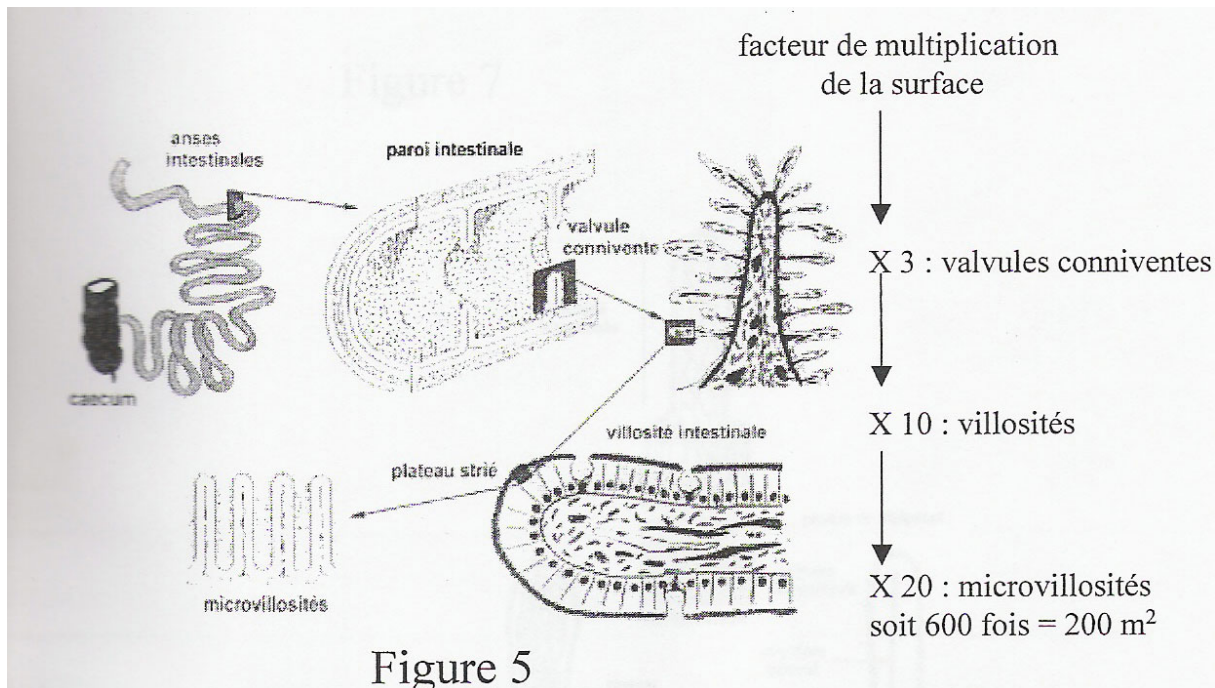
En fonction de la localisation on observe différents types de cellules. Des cellules qui sécrètent du mucus (estomac) et parfois des cellules endocriniennes.

D. Digestion et absorption

C'est la transformation des aliments en nutriments utilisables par l'organisme.
L'intestin est le carrefour entre digestion et absorption.

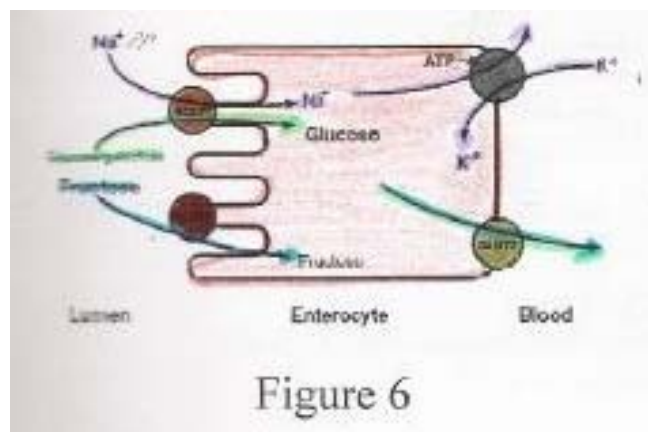
1/ Généralité d'absorption

Lieu essentiel au niveau de la muqueuse de l'intestin cette muqueuse a une structure très développée et elle va présenter des adaptations morphologiques qui vont lui permettre d'augmenter sa surface d'absorption.



La muqueuse va former des grands replis (1 à 2 cm) ce sont les valvules conniventes qui vont multiplier par 3 la surface d'absorption. Elles portent elles mêmes des villosités de 1mm qui vont multiplier par 10 la surface d'absorption. Les villosités séparées par des cryptes qui correspondent à la zone de germination des cellules intestinales. La surface de chaque villosité possède une couche de cellules épithéliales, la partie apicale possède des microvillosités ou bordure en brosse (*20). Au final on augmente de 600 fois la capacité d'absorption.

Les cellules absorbantes s'appellent les entérocytes, cellules majoritaires de la muqueuse intestinale. Ce sont des cellules polarisées et sur le côté apical on trouve des microvillosités où vont rentrer les nutriments qui vont passer dans le cytoplasme puis dans le pôle basal pour passer dans le milieu intérieur.



L'absorption se fait sur un mode trans-cellulaire (2 membranes). Il y a différentes interactions :

- **Pinocytose** : formation de vésicules, qui déversent leur contenu dans le cytoplasme.
- **Interaction physique** avec la membrane, diffusion passive via des ports, dissolution à travers la membrane (molécules liposolubles) se fait selon un gradient.
- **Interaction chimique** : diffusion facilitée et transport actif (nécessite de l'ATP)

2/ Devenir des Glucides

- **digestion de l'amidon**

La digestion de l'amidon commence par l'amylase salivaire dans la bouche puis elle est détruite dans l'estomac par l'acidité. La digestion de l'amidon se poursuit dans le duodénum par des amylases pancréatiques qui permettent la libération du glucose, du maltose et d'oligosaccharides.

Au niveau de la bordure en brosse de l'intestin grêle, d'autres enzymes interviennent pour libérer du glucose qui provient des disaccharides (par une disaccharidase). Il en existe différents types comme la saccharase iso maltase qui dégrade le saccharose, le maltose et certains oligo en lactase (nourrissons) qui n'agit sur le lactose qu'elle transporte. On va obtenir des cellules de glucose disponibles dans les cellules intestinales.

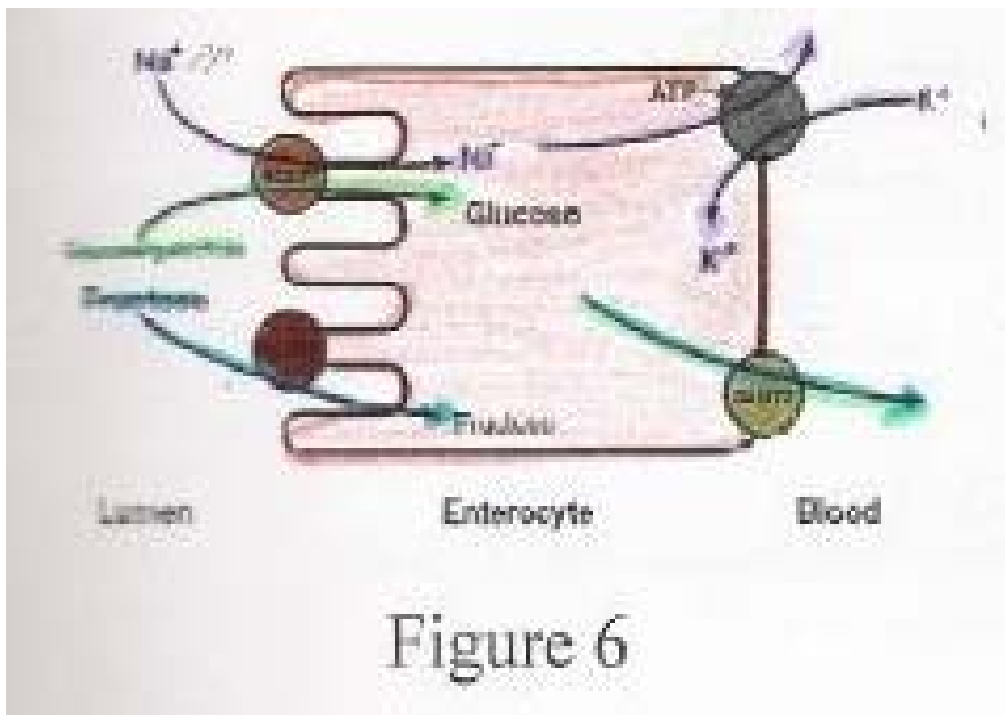
- **digestion des disaccharides et autres**

Ils ne subissent pas de digestion avant l'intestin grêle, il y a des enzymes spécialisées au niveau de la bordure en brosse.

La cellulose, polymère végétal de glucose est indigeste. Elle va se trouver au niveau du gros intestin pour être fermentée par des cellules intestinales qui vont la métaboliser. On obtient des gaz et des acides à chaînes courtes de type butyrate.

- **absorption des glucides**

Fructose :



Il va passer la barrière épithéliale par diffusion facilitée avec le transporteur GLUT, sorte de canal (protéine membranaire). Au niveau du pôle apical le transport se fait par un GLUT5 et au niveau du pôle basal par un GLUT2.

Glucose+ Galactose :

C'est un transport actif qui va nécessiter du sodium donc de l'ATP. $[Na^+]$ dans la lumière est très concentré, il va y avoir des tendances à rester dans la cellule ce qui permet l'entrée de molécules de Glucose ou Galactose.

Ils vont interagir avec une protéine membranaire **SGLT1** qui est aussi un transporteur, le sodium sort ensuite de la cellule grâce à une pompe Na^+/K^+ ATPase qui entraîne une hydrolyse de l'ATP donc la consommation d'énergie.

Au niveau de la membrane basolaterale, glucose et galactose sortent de la cellule grâce à **GLUT2** en diffusion facilitée.

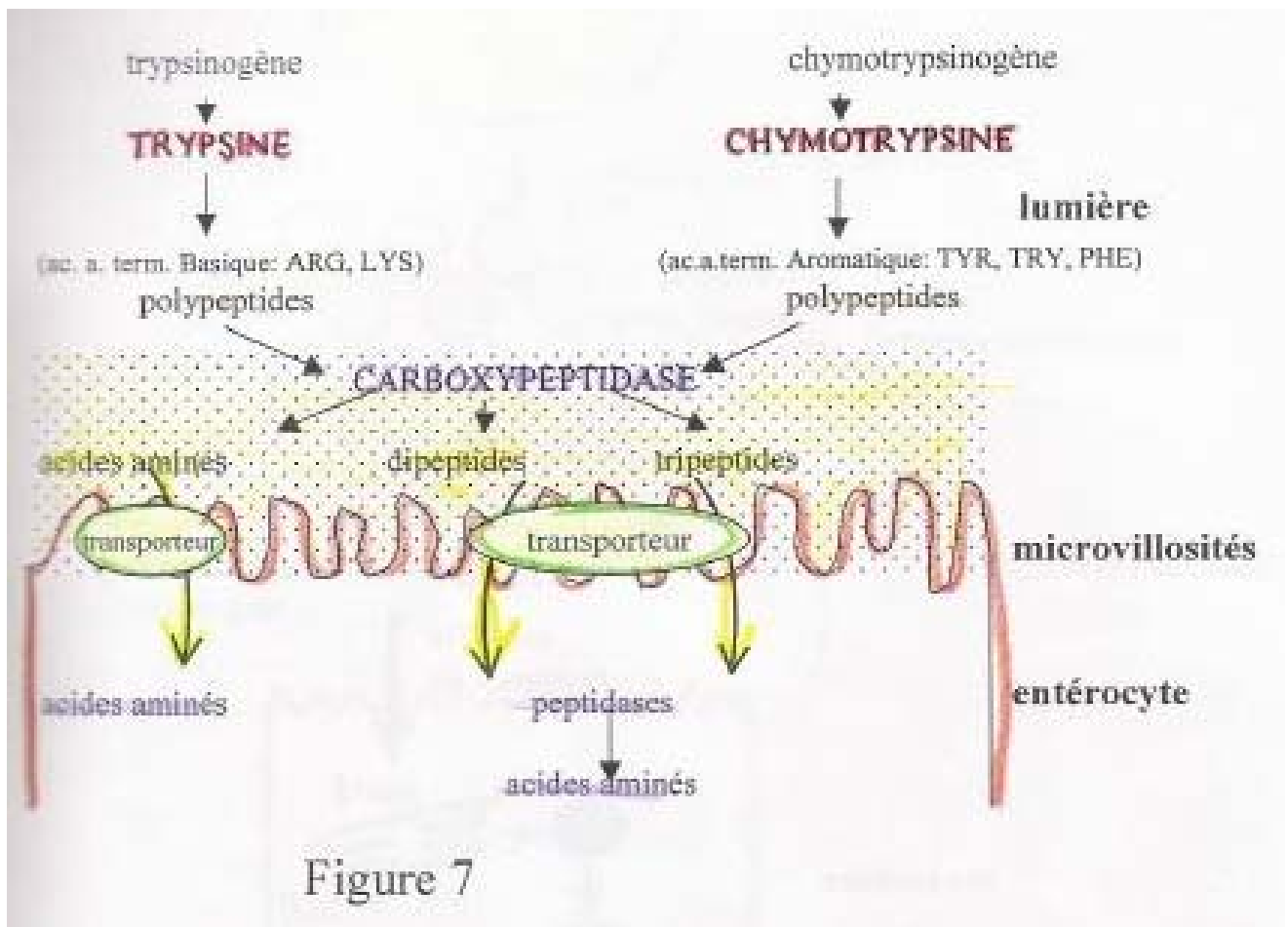
3/ Devenir des protéines

- **Digestion**

Rien ne se passe au niveau de la bouche mais commence au niveau de l'estomac grâce à la pepsine (protéine) qui va dégrader les protéines en fragments de taille importante.

Ces fragments vont être dégradés au niveau intestinal par des enzymes pancréatiques, la trypsine, la chymotrypsine pour donner des polypeptides d'environ 10 acides aminés.

A l'intérieur de l'entérocyte on peut retrouver des peptidases qui vont hydrolyser les dipeptides et tripeptides en acides aminés



- **Absorption**

Les acides aminés sont en général absorbés comme le glucose par diffusion facilitée ou transport actif. Ils vont ensuite se retrouver dans la circulation sanguine. Mais les acides aminés peuvent être absorbés à plusieurs. Ils peuvent servir à la synthèse protéique de l'entérocytes

Remarque : certaines protéines peuvent être absorbées sans être digérées (chez les nourrissons).

4/ Devenir des lipides

La digestibilité des lipides dépend de leur solubilité : les graisses et les triglycérides ne sont pas solubles dans l'eau et vont devoir subir une émulsion c'est-à-dire un éclatement des gouttes lipidiques pour former une suspension de micro gouttelettes ; c'est l'**émulsification**.

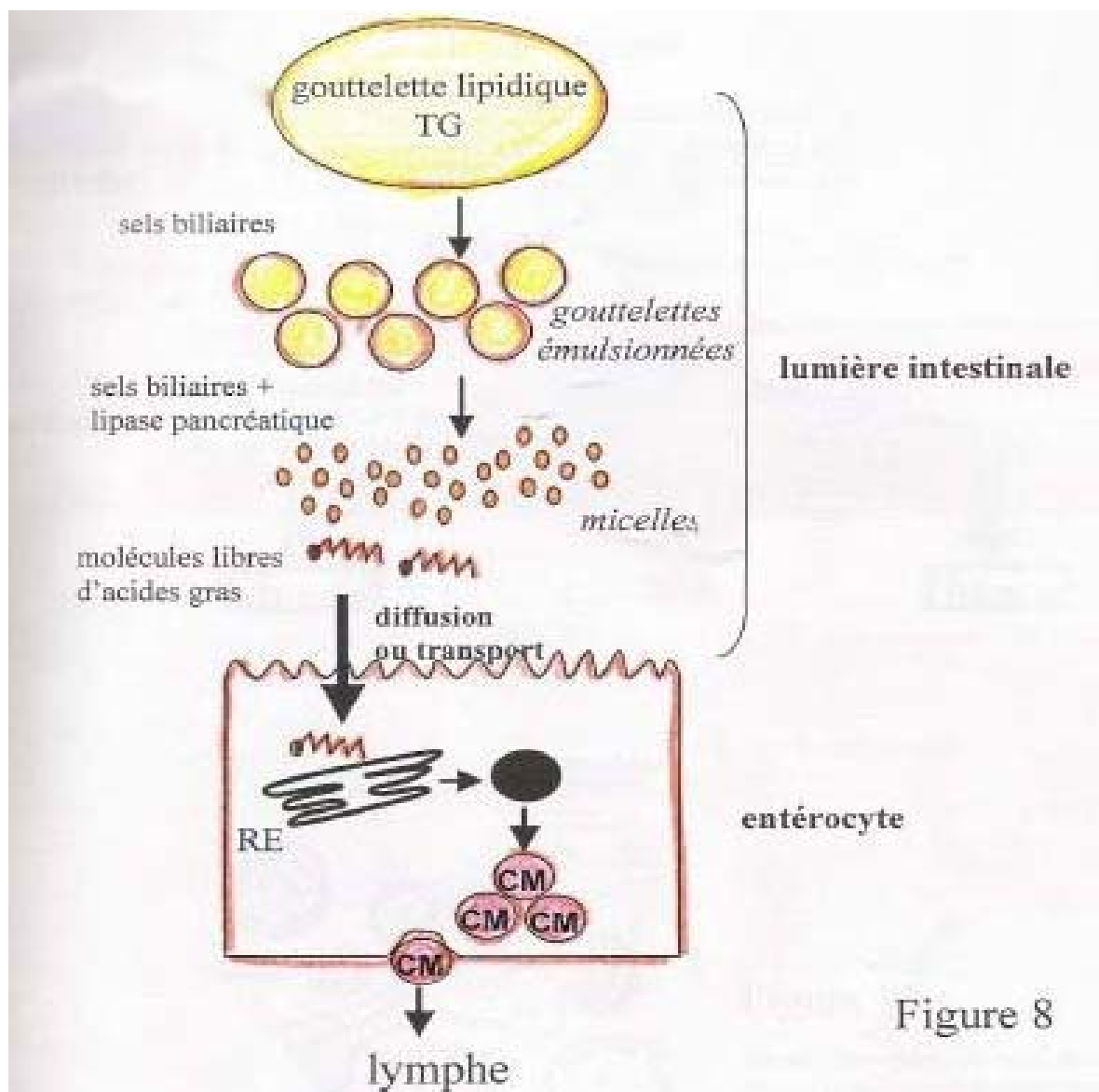
- **Digestion des triglycérides**

Dans la bouche et dans l'estomac intervient la lipase salivaire qui prépare l'émulsion ; 15% des triglycérides vont être hydrolysés, mais la majorité de la digestion se fait dans l'intestin grêle par l'intervention de la lipase pancréatique qui hydrolyse les triglycérides en 2 acides gras et un mono glycéride, mais cela n'agit pas de façon efficace car les gouttelettes lipidiques sont beaucoup trop grosses : cette enzyme est hydrosoluble et agit en surface et ne peut pas atteindre les lipides à l'intérieur de la gouttelette, il faut donc une émulsification avec des sels biliaires.

- **Digestion des autres lipides**

Les phospholipides sont hydrolysés par la phospholipase A2. On obtient un acide gras et un lysophospholipide.

Le cholestérol est hydrolysé par la cholestérol estérase pour donner un acide gras et un cholestérol libre.



Ces enzymes proviennent de suc pancréatique et, il y a différentes étapes dans cette digestion :

- Au niveau du duodénum : prise de contact des gouttelettes lipidiques avec les sels biliaires, principaux constituants de la bile. Ils sont formés à partir du cholestérol et sont amphipathiques (partie polaire hydrosoluble et partie non polaire liposoluble), ce sont des détergents très efficaces. Grâce à la partie hydrophile ils vont se distribuer à l'interface huile/eau et favoriser la fragmentation des gouttelettes lipidiques en suspension. Emulsion (particules 0,5 nm à 1Nm).
- Les sels biliaires favorisent l'éclatement d'autres particules lipidiques : microparticules (micelles) de 3µm à 10µm hydrosolubles ce qui permet l'action des lipases. Les sels biliaires fixés à la surface vont pouvoir créer des forces électrostatiques répulsives. Ils sont chargés et les phénomènes électrostatiques empêchent la reformation des gouttelettes.
- Hydrolyse des triglycérides par les lipases qui se fixent sur les micelles grâce à un cofacteur, la colipase. On obtient des micelles mixtes après les processus digestifs. Ce sont des micelles ayant intégré les produits d'hydrolyse. Elles vont être en contact avec la bordure en brosse, ne seront pas absorbées mais vont favoriser l'absorption des lipides en les maintenant sous une forme hydrosoluble.

- **Absorption**

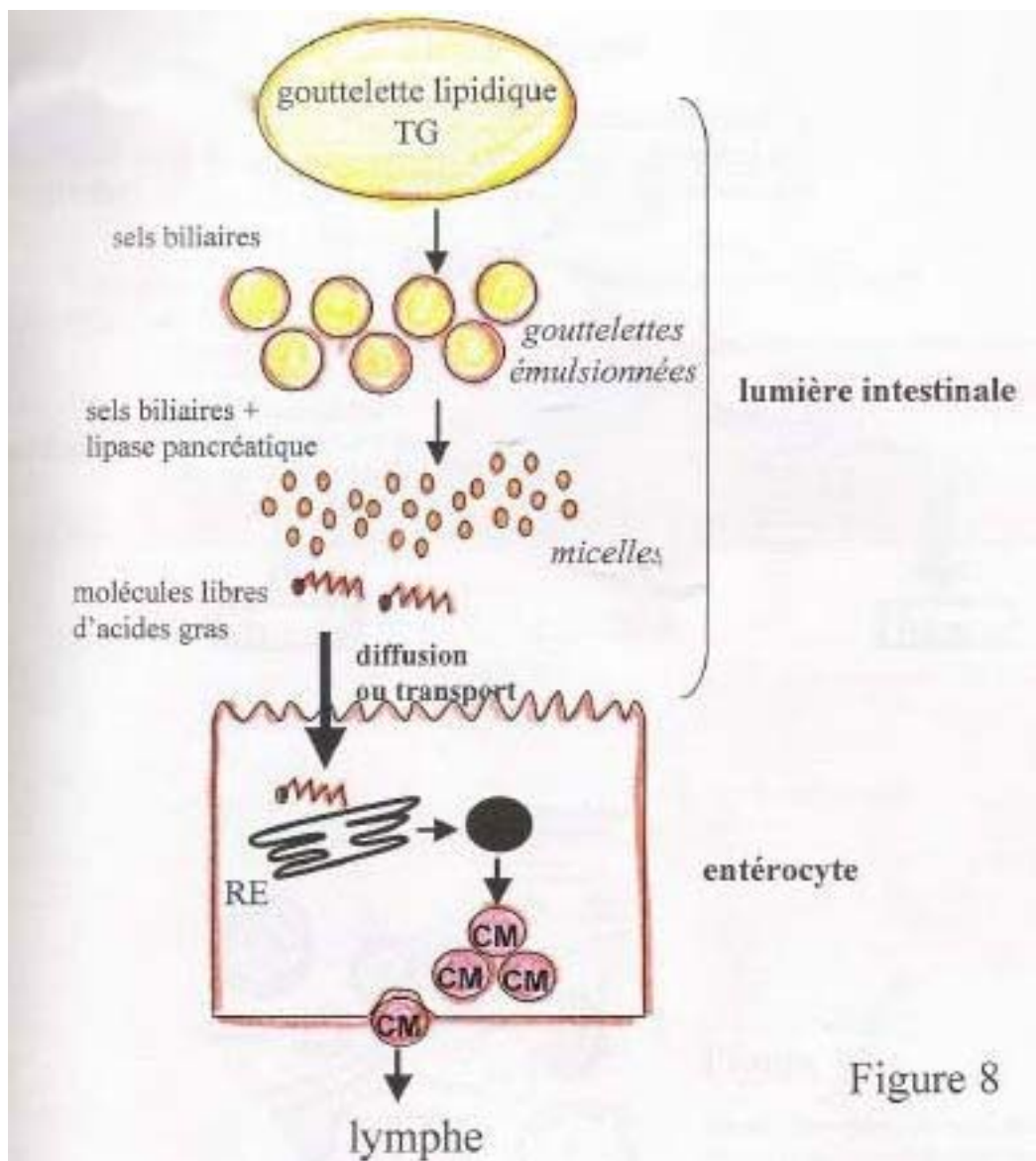


Figure 8

Les micelles vont se former, se briser, se reformer. En se brisant elles vont libérer des acides gras qui vont être absorbés par diffusion passive ou grâce à un transporteur au niveau de la membrane apicale.

Dans la cellule **les acides gras à chaîne longue** vont être amenés au niveau du REL grâce à une protéine de transport le FABP (fatty acid binding protein) pour être réesterifiés en triglycérides.

Les acides gras à chaînes courtes ne sont pas réesterifiés. Ils vont diffuser au niveau de la membrane basolaterale et on les retrouve au niveau de la circulation sanguine. Ils vont être liés ensuite à l'albumine pour rejoindre le foie via la veine porte (relie l'intestin au foie).

Le cholestérol sera aussi réesterifié.

Les triglycérides sont amenés vers l'appareil de golgi où on aura un assemblage de plusieurs lipides sous forme particulière pour former les chylomicrons : 90% triglycérides, 3% cholestérol et 5% de phospholipides. En présence d'apoprotéine ils permettent le transport des lipides en dehors des cellules.

Les particules se trouvent dans des grosses vésicules qui vont fusionner avec la membrane plasmique pour être libérées par exocytose dans la lymphe. On les retrouve ensuite dans le sang

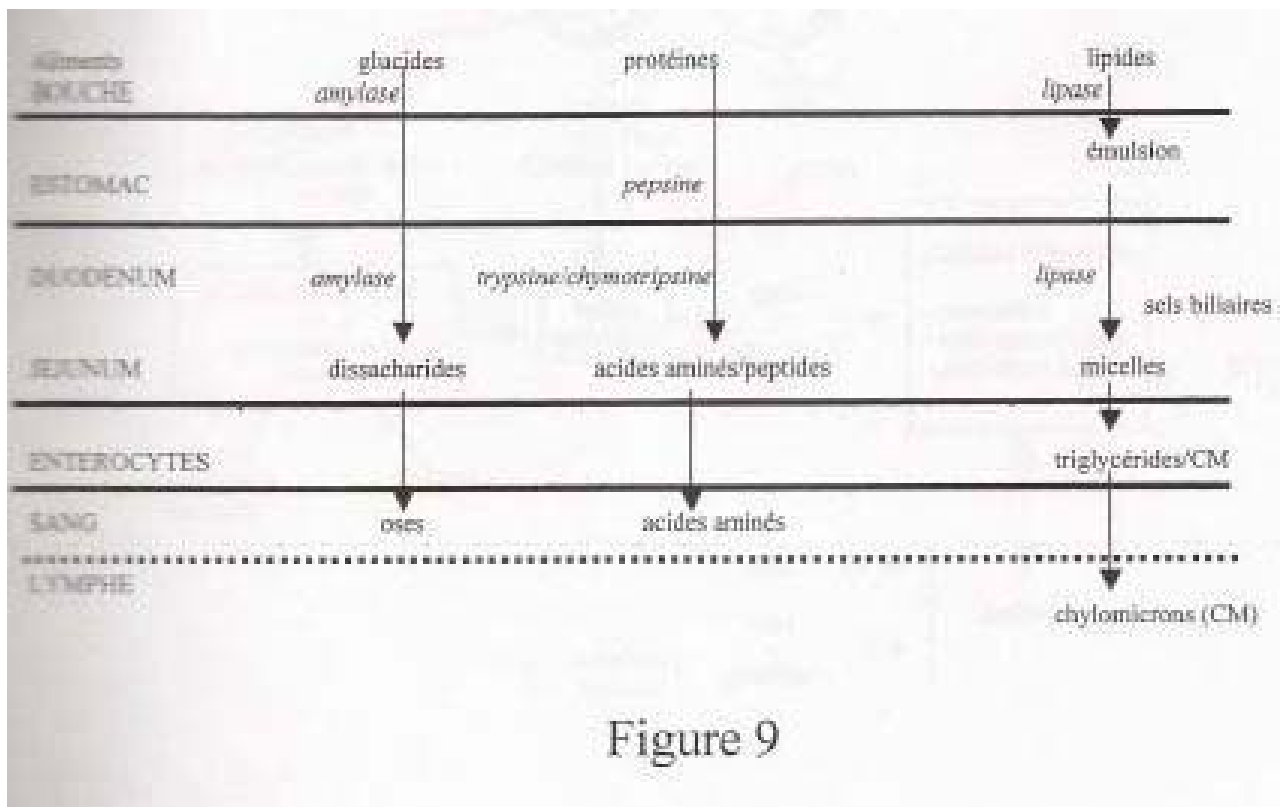


Figure 9

5/ Devenir des vitamines

Il n'y a pas de modifications enzymatiques au cours de la digestion, mais elles sont libérées des aliments.

Les vitamines seront absorbées au niveau de l'intestin par transport facilité ou actif. Les vitamines liposolubles seront liées aux lipides et solubilisées dans les micelles puis, dans l'entérocyte, elles seront intégrées aux chylomicrons et on les retrouvera dans la circulation sanguine.

6/ Devenir de l'eau et des sels minéraux

- **Absorption de l'eau**

Elle se fait selon un mouvement passif. La membrane épithéliale est très perméable à l'eau, ils vont suivre les mouvements ioniques et nutriments dans le but de suivre l'équilibre osmotique. L'intestin absorbe la majorité de l'eau provenant des sécrétions digestives et de l'alimentation.

- **Absorption des sels minéraux**

Na⁺

L'absorption se fait passivement au niveau de l'épithélium de l'intestin grêle ou activement au niveau du colon.

En général il y a un système de cotransport (cotransport Na⁺/Glucose ou Na⁺/H⁺) mais on peut aussi avoir un transport antiport Na⁺/H⁺.

Cl⁻

Va suivre les ions sodium.

Ca²⁺

Absorbé au niveau du duodénum grâce à un transport facilité selon un gradient de concentrations par l'intermédiaire de la protéine CaBP (calcium binding protéine)

Fer

Seulement 10% du fer ingéré se retrouvent dans la circulation sanguine :

- Soit sous forme Hémique (partie « hème » de l'hémoglobine)
- Soit non hémique, forme de stockage qui représente 90% du fer alimentaire.

L'absorption est maximale au niveau du duodénum et du jéjunum. Ceci va dépendre du contenu du fer dans les aliments et des réserves de l'organisme. On retrouve beaucoup d'aliments avec une charge négative ce qui va ralentir l'absorption du fer.

Quelque soit son origine, le fer va être libéré grâce à une enzyme : **L'hème oxygénase** et va se lier à une protéine : **la ferretine**. Cela sera la forme de stockage du fer. L'association du fer et de la ferretine va activer la transcription d'une protéine, la transferrine qui est un récepteur présent dans la membrane basolatérale de l'enterocyte.

La transferrase va favoriser la sortie du fer dans la circulation sanguine on va donc retrouver la forme liée dans la circulation sanguine.

E. Régulation des processus digestifs

Sauf cas particuliers, les mécanismes de régulation des processus digestif sont régulés par le volume et la composition du contenu de la lumière du tube digestif, le chyme et non par l'état nutritionnel de l'organisme sauf pour les oligoéléments.

1/ Les principes fondamentaux

C'est un réflexe digestif contrôlé par certains types de stimuli qui vont agir sur des récepteurs présents sur la paroi du tube digestif.

Premier stimulus : La distension de la paroi du tube digestif par le contenu luminal : intervention de mécano récepteurs (sensibles à l'étirement et aux pressions mécaniques).

Deuxième stimulus : Osmolarité du chyme : La concentration du chyme fait intervenir des osmo récepteurs (sensibles aux variations de pression osmotique).

Troisième stimulus : L'acidité du chyme.

Quatrième stimulus : Concentration du chyme en produits de digestion (monosaccharides, acides gras, a.a et certains peptides) : intervention de chémorécepteurs (spécifiques d'une molécule donnée).

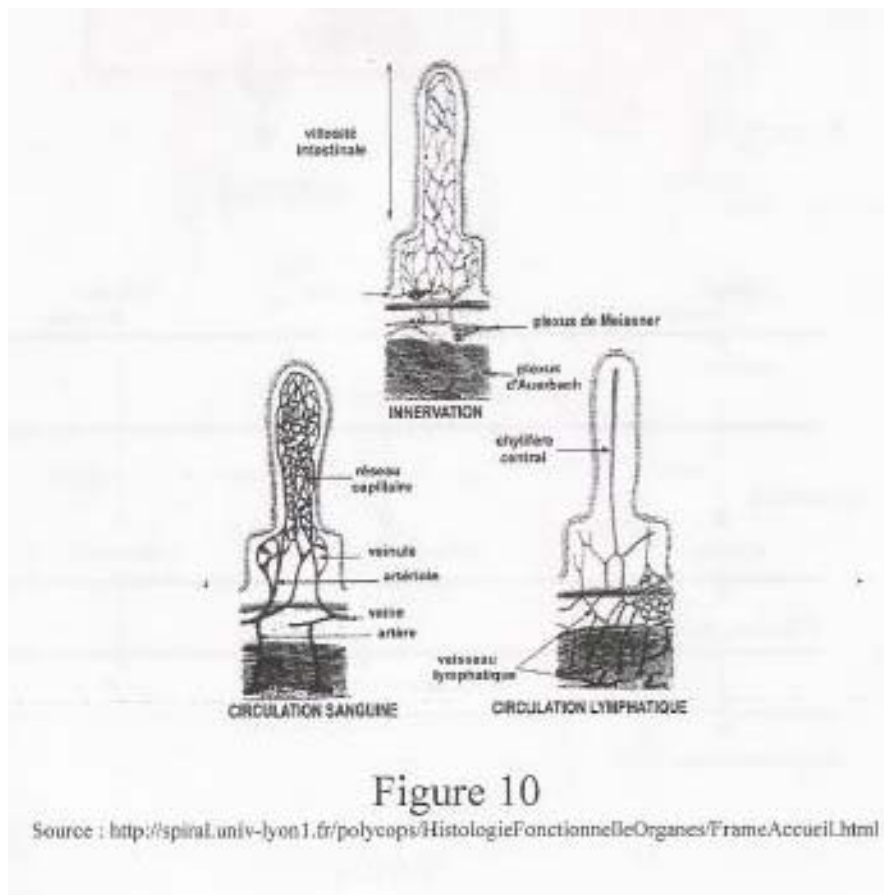
La stimulation des récepteurs va donner une réponse adéquate des effecteurs :

- couche de muscles lisses du TD
- glandes exocrines qui vont libérer des substances dans la lumière intestinale.

Il va y avoir deux grandes voies impliquées : **Nerveuses et hormonales**

2/ La régulation nerveuse

Le tube digestif possède son propre système nerveux : le système nerveux entérique
Il s'organise sous forme de plexus (Auerbach et Meissner).



Les neurones qui constituent les plexus peuvent établir des contacts synaptiques avec d'autres neurones dans le même plexus ou dans l'autre plexus ou alors, ils peuvent se projeter vers les muscles lisses ou les glandes.

L'activité d'un plexus peut modifier l'activité de l'autre plexus.

Les neurones de ces plexus sont très variés :

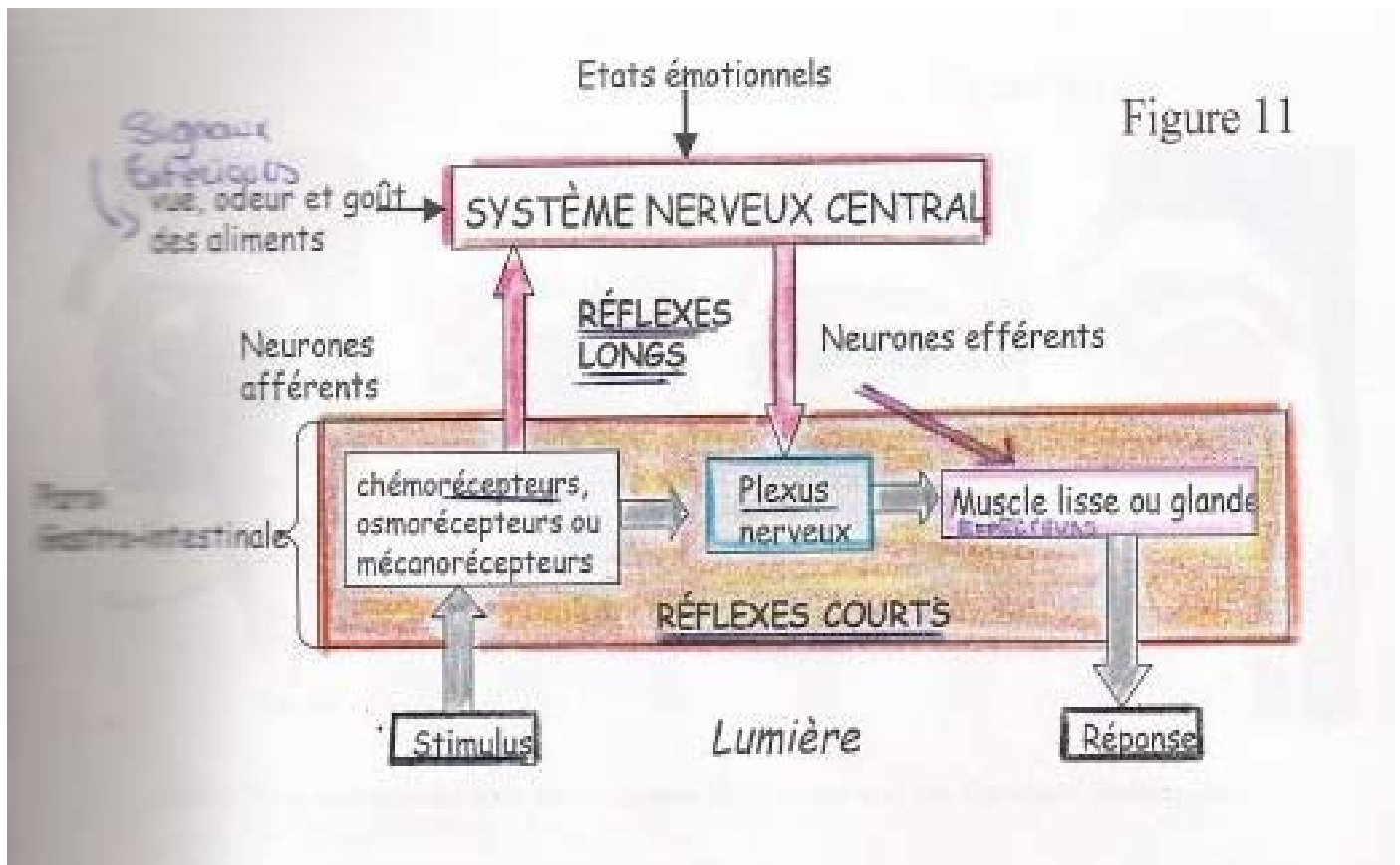
- neurones cholinergiques
- neurones adrénergiques
- neurones NOergiques.

Certains neurones contiennent de la galanine et certains neuropeptides Y.

La régulation nerveuse va faire intervenir le système nerveux entérique qui va apporter une régulation indépendante du système nerveux central, le système nerveux végétatif ou autonome qui dépend du système nerveux central ; les fibres parasympathiques et orthosympathiques vont pénétrer dans le tube digestif et établir des contacts synaptiques avec les neurones des plexus.

Par l'intermédiaire du système autonome, le système nerveux central contrôle la motilité et les sécrétions du tube digestif.

Il existe aussi des régulations indépendantes des plexus : le nerf vague (10) va se projeter directement vers l'intestin et en modifier l'activité.



On va pouvoir distinguer 2 types de réflexes :

Le réflexe court : Fait intervenir un stimulus, des récepteurs, les plexus entériques et des effecteurs.

Le réflexe long : Fait intervenir un stimulus, des récepteurs, des voies afférentes, le système nerveux central, voies efférentes, qui vont modifier l'activité des plexus.

3/ Régulation hormonale

- **Principe**

L'épithélium du tube digestif peut contenir des cellules endocrines qui vont libérer des hormones. Les cellules ne sont pas regroupées en organes isolés et ne forment pas des glandes endocrines. Elles sont dispersées sur l'épithélium. La surface de ces cellules peut être stimulée par des composants des substances contenues dans le chyme.

Dans la circulation sanguine, les hormones vont atteindre leur cellules cibles et, une petite partie de l'hormone est libérée dans la lumière et agit comme un agent paracrine.

Il existe beaucoup d'hormones :

- la sécrétine,
- la cholecystokinine (CCK),
- la gastrine,
- la GIP (Gastric Inhibitory Peptide).

Ces hormones sont libérées par des cellules endocrines, mais on peut aussi les retrouver dans les neurones du SNC et dans les neurones au niveau du plexus.

Comme toutes les hormones, les hormones intestinales régulent par rétroaction négative l'environnement de la lumière du tube digestif.

Ces hormones vont agir sur différents types cellulaires.

- **Exemple**

En réponse à la présence de lipides dans le chyme, le duodénum libère de la CCK. Elle se retrouve dans la circulation sanguine et, elle va agir au niveau du pancréas qui va libérer des enzymes qui digèrent les lipides.

La CCK provoque une contraction des vésicules biliaires provoquant la libération des sels biliaires qui vont favoriser la digestion et l'absorption des lipides.

Au final, les lipides sont digérés et absorbés donc leur quantité dans le duodénum diminue de même que la concentration en CCK. On parle de rétrocontrôle négatif.

F. Bouche Pharynx & œsophage

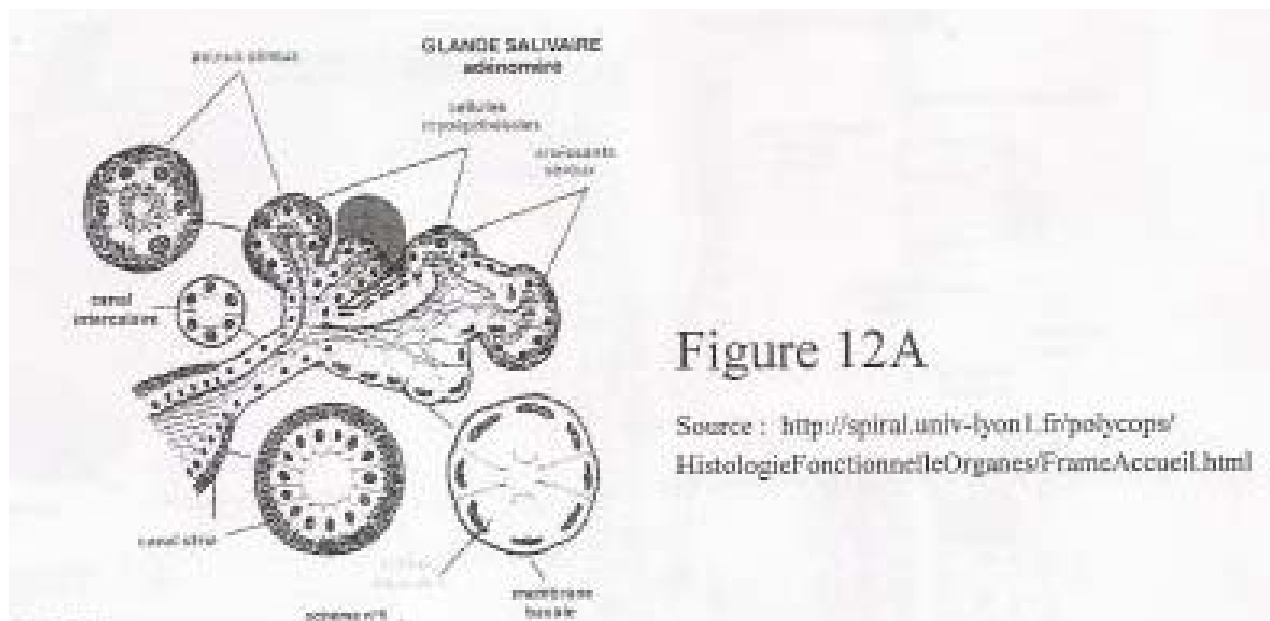
1/ La mastication

Au niveau de la bouche, on a un état de trituration et de mastication qui prépare la nourriture à être déglutie. C'est une fonction volontaire, elle peut être réflexe et se maintient chez les animaux auxquels on a retiré le cortex et auxquels on a introduit dans la bouche des aliments.

La mastication va être contrôlée par le nerf somatique, des muscles squelettiques de la bouche et de la mâchoire. Elle ne modifiera pas le taux de digestion ni celui d'absorption des aliments au niveau de l'intestin. Au cours de la mastication les aliments vont être mêlés aux sécrétions des glandes.

2/ La salivation

- **Production**



Il existe 3 paires de glandes qui vont fabriquer la salive :

- **Parotides** : A l'arrière de la bouche, vers les oreilles.
- **Glandes sublinguales** : sous la langue
- **Glandes sous maxillaires** : à l'arrière des sublinguales

Les glandes salivaires sont drainées par des canaux excréteurs. Elles sont formées d'Acini qui contiennent des cellules séreuses qui sécrètent de l'eau des électrolytes et des enzymes.

Les Acini sont entourés de cellules myoépithéliales qui peuvent se contracter et permettre l'écoulement de la salive dans le canal.

- **composition**

H_2O / Na^+ / Cl^- / K^+ / Ca^{2+} / HCO_3^-
 pH=6 (au repos) et pH=8 (après stimulation)

-Il y a aussi des mucoprotéines (mucines) qui vont donner l'aspect visqueux à la salive. Ce sont des polypeptides et des chaînes glucidiques peuvent s'y fixer.

-Dans la salive il y a aussi des immunoglobulines (IgA) qui aident à la phagocytose des bactéries.

-On trouve également : L'amylase (dégrade l'amidon), la lipase linguale (triglycérides) et le lysozyme (attaque les polysaccharides des membranes bactériennes).

On secrète entre 1L et 1,5L de salive par jour.

Les glandes parotides et sous-maxillaires ne secrètent que lorsqu'elles sont stimulées, contrairement aux sublinguales qui secrètent en permanence 0,5ml/min.

- **rôle de la salive**

- Facilitation de la mastication et de la déglutition en humidifiant les aliments secs,
- Hydrolyse partielle des polysaccharides,
- Dissolution de certaines molécules qui agissent au niveau des chémorécepteurs pour donner la sensation de goût.

- **contrôle des sécrétions salivaires**

Repose sur un mécanisme nerveux, il y n'y a pas de contrôle hormonal, les hormones ne modifient que la composition de la salive et pas sa sécrétion qui est contrôlée par les nerfs orthosympathiques et parasympathiques qui agissent en synergie (très rare).
 Les deux nerfs stimulent les sécrétions salivaires. Celle-ci est continue mais faible en absence de nourriture.

Un certain nombre de stimuli externes à la bouche envoie des informations au système nerveux central : Visuel, olfactif. Les infos arrivent au niveau du SNC dans le centre de commande bulbaire. Il reçoit des infos en provenance de chémorécepteurs localisés dans la bouche et l'œsophage.

La sécrétion salivaire se fait alors sous commande nerveuse réflexe et les infos arrivant au niveau du SNC redescendent vers les glandes salivaires.

Cette voie efférente est en majorité parasympathique provoquant la sécrétion riche en eau et en électrolytes. Quand il s'agit d'une dominance orthosympathique, il y a augmentation de la sécrétion de mucus.

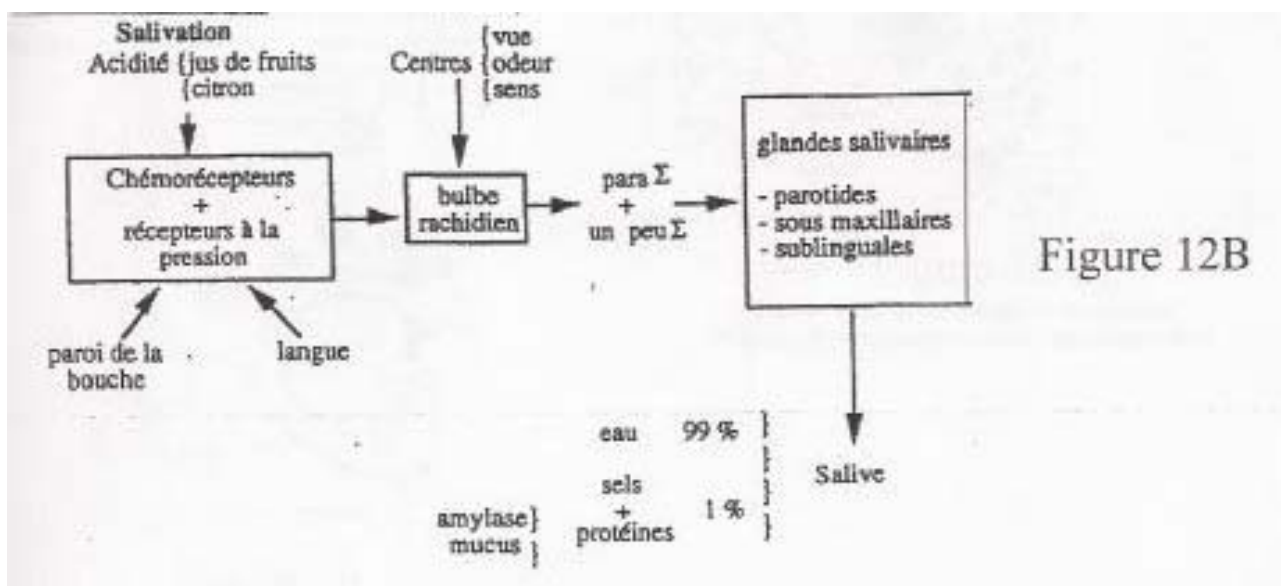


Figure 12B

3/ Le goût

Dans la bouche les substances sapides vont rentrer en contact avec des récepteurs sensoriels et 4 perceptions élémentaires peuvent être distinguées : sucré, salé, acide, amer

Les papilles gustatives sont en fait des replis de la muqueuse linguale, chaque papille à un ou plusieurs bourgeons gustatifs et, dans chaque bourgeon on trouve les cellules réceptrices du goût. Elles possèdent des microvillosités au niveau de leur pôle apical qui sont en contact direct avec les substances chimiques dissoutes par la salive.

4/ La déglutition

Le pharynx et l'oesophage ne participent pas à la digestion proprement dite sauf au niveau de la déglutition, qui est le passage des aliments de la bouche à l'estomac favorisé par la salive.

Elle est contrôlée par le centre de la déglutition localisé dans le bulbe rachidien.

Il y a deux étapes :

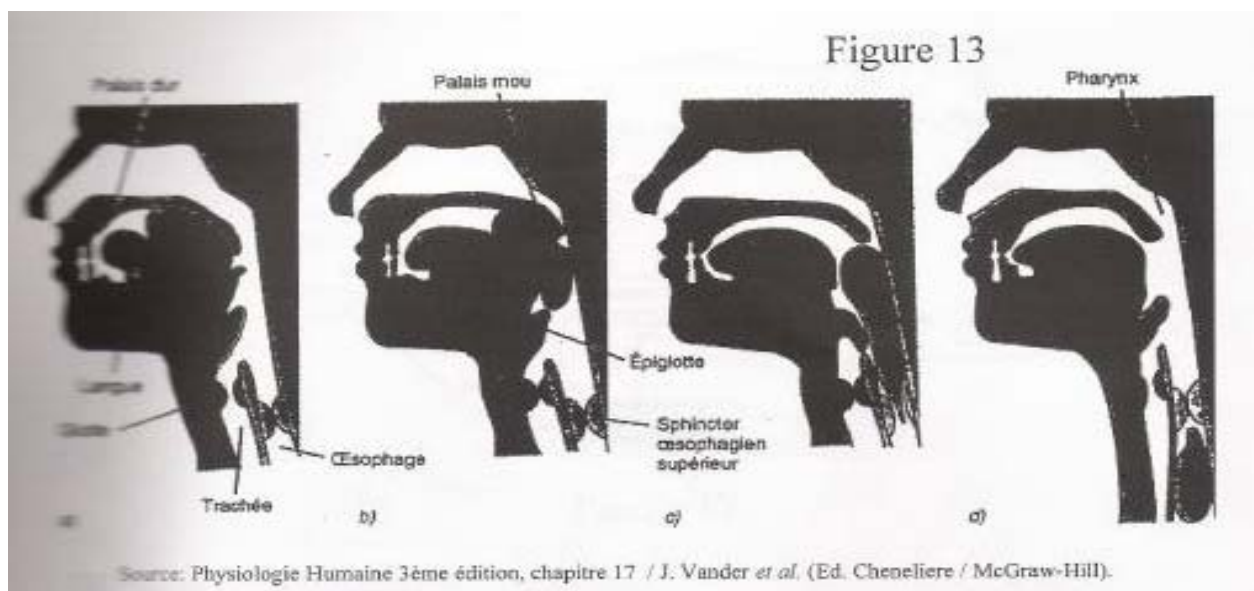
Etape volontaire :

Les bouchées sont poussées par les mouvements de la langue vers le pharynx (voies communes à la digestion et à la respiration). Au niveau du pharynx il va y avoir des récepteurs qui envoient des influx afférents vers le bulbe rachidien.

Etape Involontaire (réflexe):

Coordonnée par les voies de la déglutition qui déclenchent la déglutition via des fibres efférentes qui se projettent vers les muscles du pharynx et de l'oesophage. Les bouchées sont poussées jusqu'à l'entrée de l'oesophage sans interférence avec les voies respiratoires, puis descendent vers l'estomac grâce à des ondes péristaltiques, il n'y a pas d'intervention de la pesanteur.

Les différentes phases de la déglutition



Phase 1 : Quand le bol alimentaire arrive au niveau du pharynx le palais mou s'élève, la langue va pousser les aliments plus loin au niveau du pharynx alors le bol alimentaire rabat l'épiglote pour fermer le haut de la trachée.

Phase 2 : La phase oesophagienne : relâchement du sphincter oesophagien supérieur, le bol alimentaire passe et le sphincter supérieur se referme, l'épiglote s'ouvre à nu et la respiration reprend. Dès le début de la déglutition le sphincter oesophagien inférieur (proche de l'estomac) s'ouvre tout le long de la déglutition pour laisser passer le bol alimentaire vers l'estomac. Après le passage dans l'estomac le sphincter oesophagien inférieur va se refermer et constituer une barrière cellulaire, le reflux gastrique.

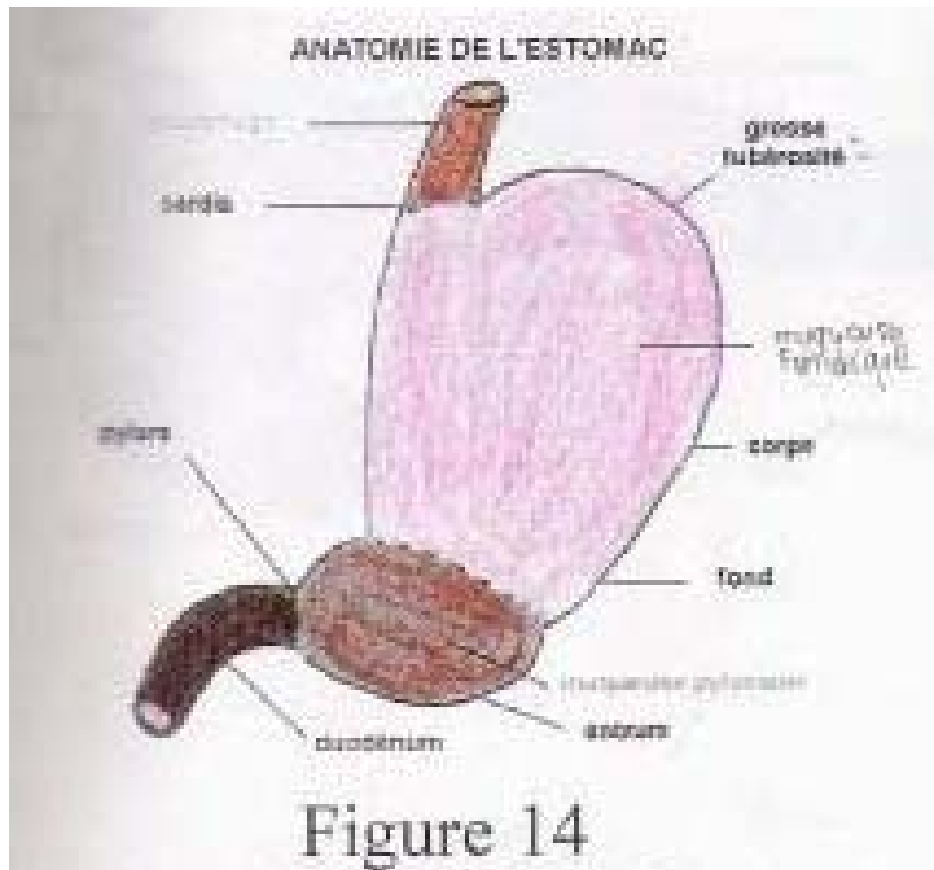
G.L'estomac

Poche extensible et contractile qui forme un réservoir entre l'œsophage et l'intestin

Il va avoir deux fonctions principales :

- Brassage du bol alimentaire : transformé en une pâte visqueuse, le chyme, régulation du débit du chyme dans l'intestin
- Début de la digestion des aliments grâce aux sécrétions acides et enzymatiques

1/ Morphologie



Séparé en différentes régions :

FUNDUS ou mucus fondique est une poche à air dans laquelle arrive l'œsophage.

CORPS ou estomac proximal, c'est la région impliquée dans le stockage des nutriments

ANTRE contient une couche épaisse musculaire qui va intervenir dans le brassage des nutriments, c'est l'estomac distal.

La muqueuse gastrique possède de nombreuses cryptes (invaginations) où l'on retrouve au fond des glandes.

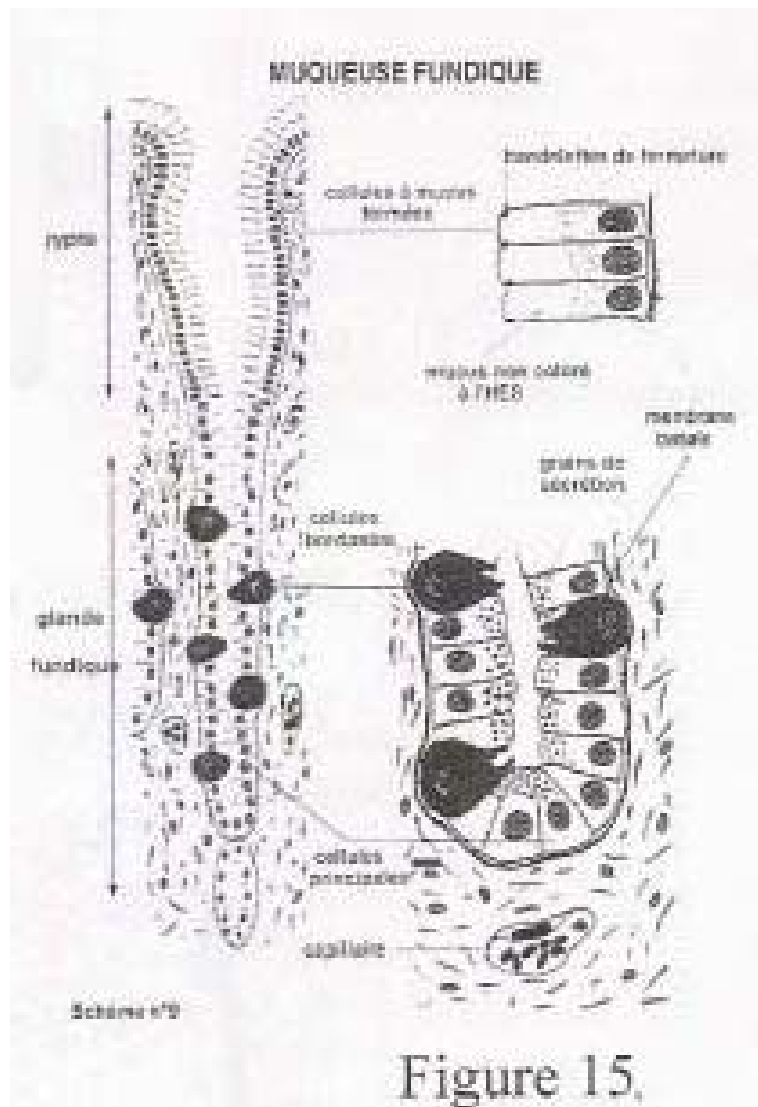


Figure 15.

Les glandes de la partie supérieure de l'estomac sont des glandes exocrines et vont sécréter le mucus, de l'HCL ainsi qu'un précurseur enzymatique : le pepsinogène.

Différentes cellules responsables de ces sécrétions :

Cellules du COLLET : sécrètent le Mucus

Cellules PARIETALES (bordantes) : sécrètent l'HCL

Cellules principales : sécrètent pepsinogène

La région proximale a une fonction sécrétoire. Il y a beaucoup de cellules principales et pariétales qui sécrètent le suc gastrique.

Dans la région distale il y a des cellules à mucus. C'est un gel pouvant renfermer des ions bicarbonates qui aura un rôle protecteur contre l'acidité.

On trouve aussi des cellules endocrines qui vont sécréter une grande quantité de Gastrine ainsi que de la sécrétine, histamine et de la somatostatine (en quantité plus faible).

2/ La sécrétion enzymatiques gastriques

A pH acide le pepsinogène est clivé en pepsine, enzyme qui sera activée à proximité des acides aminés aromatiques. Son activation va engendrer la libération de polypeptides : Les peptones.

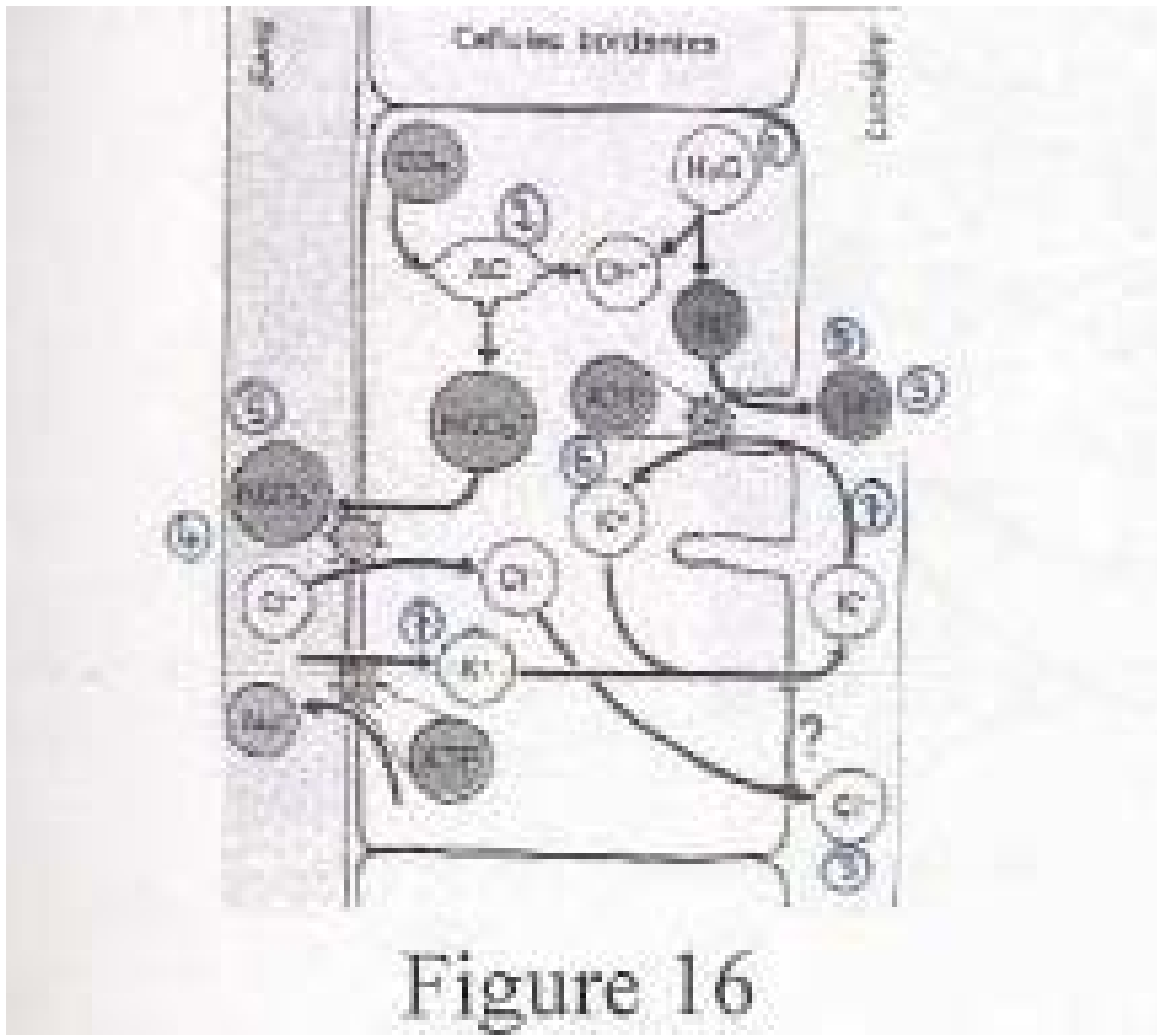
En plus de leur action protéasique, les cellules principales sécrètent une lipase qui hydrolyse les triglycérides au niveau de l'estomac (similaire à la lipase pancréatique mais en quantité moins abondante).

3/ Le suc gastrique.

- **Composition et sécrétion**

Avec un PH qui varie entre 2 et 3, c'est un mélange de 2 sécrétions : de l'**acide chlorhydrique** (à débit variable) ainsi qu'une **solution alcaline** élaborée par toutes les cellules (sauf pariétales). Le débit de cette sécrétion est constant et correspond à du mucus, ions sodium et des ions bicarbonates.

Les sécrétions acides



- Les ions H^+ dérivent de la dégradation de l'eau $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$
- Les ions HO^- et le CO_2 vont agir ensemble pour donner HCO_3^- grâce à l'anhydrase carbonique et HO^- provient de la dégradation de l'eau.
- La sécrétion d'ions HO^- au niveau de la lumière s'accompagne d'une sortie de Cl^- par un canal localisé au niveau du pôle apical.
- Ces ions Cl^- proviennent du compartiment sanguin (plasma), ils entrent dans la cellule grâce à un antiport Cl^-/HCO_3^- . La sortie d'ions bicarbonate dans le compartiment sanguin maintient l'électroneutralité.
- La sortie d'ions H^+ dans la lumière s'accompagne d'une sortie de bicarbonate dans le sang : alcalinisation locale du plasma.
- La sécrétion d'ions H^+ dans la lumière nécessite de l'énergie sous forme d'ATP. On a un transport actif grâce à une pompe $H^+/K^+/ATPase$.
- En plus de faire sortir H^+ dans la lumière, on fait entrer K^+ dans la cellule et on a une perte de Na^+ pour maintenir l'électroneutralité grâce à une pompe $Na^+/K^+/ATPase$.

- **Contrôle de la sécrétion**

Certains facteurs vont inhiber ou activer cette sécrétion :

Stimulateurs :

- **HISTAMINE** : fabriquée par les cellules ECL (Entero Chromaffin Like Cell) situées à proximité des cellules pariétales donc, l'histamine peut agir comme agent paracrine.
- **GASTRINE** : fabriquée par les cellules G. Elle agit par voie endocrine directement sur les cellules pariétales ou indirectement en stimulant les cellules ECL. La gastrine peut donc stimuler la sécrétion d'histamine.
- **ACETHYLCHOLINE** : fabriquée par le nerf vague. Elle peut agir directement sur les cellules pariétales ou indirectement sur les cellules ECL ou encore indirectement sur des neurones qui vont libérer une molécule GRP (Gastrin Releasing Peptide) permettant la libération de gastrine.

Inhibiteurs:

- **SECRETINE** : sécrétée par le duodénum, elle inhibe la sécrétion de gastrine et d'acide en agissant sur les cellules pariétales.
- **SOMATOSTATINE** : sécrétée par les cellules D de la muqueuse gastrique. Elle inhibe les cellules pariétales, les cellules G et les cellules ECL. La sécrétion de mucus et de bicarbonate pourra être stimulée par les prostaglandines de type E.

4/La motilité

- **Principe**

Un tiers de l'estomac proximal reçoit la nourriture et les 2/3 restants servent au malaxage. Quand les aliments arrivent dans l'estomac proximal, on a la relaxation réceptive.

La déglutition va provoquer l'ouverture du sphincter oesophagien inférieur et en plus le relâchement des fibres musculaires gastriques. L'estomac va se détendre. c'est un réflexe vagal. Chez l'homme le volume passe de 50 à 1000 ml.

La partie distale de l'estomac se caractérise par le péristaltisme (ondes de contraction) dont la fréquence est déterminée par un pace maker gastrique présent dans le tiers supérieur de l'estomac (3 cycles/min).

Il se forme des anneaux contractiles qui descendent jusqu'au pylore. Le chyme est alors poussé vers l'antre, où il va y avoir un brassage intense. L'onde péristaltique avance et va buter sur le pylore fermé, il y a un retour en arrière du contenu gastrique. Le chyme va donc subir plusieurs va et vient et sera malaxer avec les sécrétions gastriques.

Le pylore est une région très étroite qui va filtrer. A un moment le pylore va s'ouvrir et, en parallèle le duodénum va se relâcher. Seules les petites particules et les liquides vont passer dans le duodénum, les grosses particules retournent dans l'antre pour être malaxés et broyés.

L'onde arrive ensuite à la fin du pylore, il se ferme, et on a un phénomène de rétropulsion. Les aliments sont donc brassés et réduits en particules fines (<1mm). Le chyme gastrique sera évacué petit à petit : c'est la vidange gastrique (5 à 6h pour un repas et environ 20 min pour un liquide).

- **Les cellules responsables**

Ce sont les cellules pace maker ou entraîneurs. Elles sont localisées dans une couche de muscles lisses longitudinale et elles subissent des cycles spontanés de polarisation et dépolarisation appelés : rythme électrique fondamental. On détermine des fréquences de contraction constantes de 3 cycles/min.

Ces ondes de contractions se déplacent grâce aux jonctions communicantes qui existent entre les cellules de la couche musculaire lisse.

- **Régulation nerveuse**

La motilité gastrique est stimulée par le système parasympathique et inhibée par le système orthosympathique. Cette régulation fait intervenir les réflexes courts.

La douleur, le stress, l'état émotionnel ralentissent la vidange gastrique par un mécanisme central qui va faire intervenir des efférences vagues.

- **Régulation hormonale**

La motilité est aussi contrôlée par des hormones :

- **Motiline** : produite par le duodénum, elle stimule la vidange gastrique. C'est la seule.
- **CCK et GASTRINE** : ce sont des hormones relaxantes qui augmentent le temps de séjour dans l'estomac.

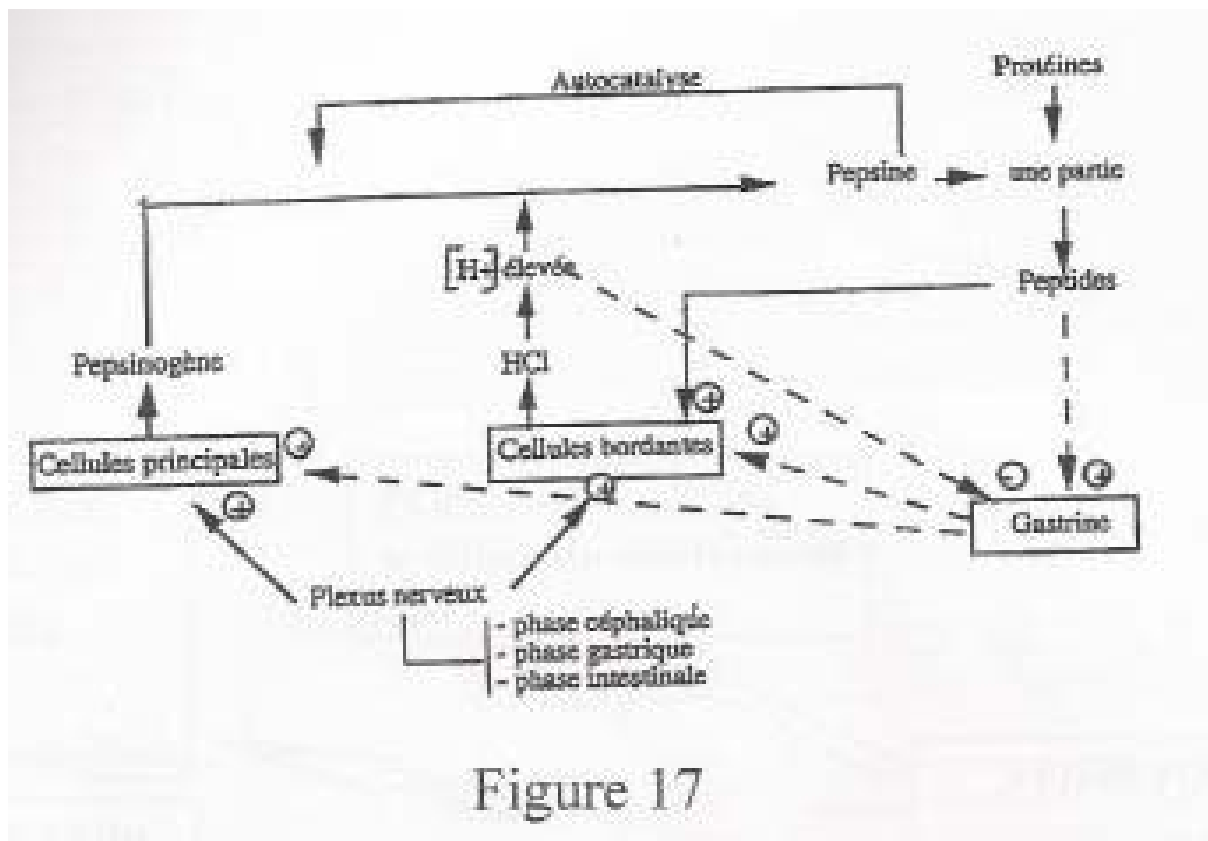
Toutes ces régulations nerveuses et hormonales vont déterminer la force de contraction observée au niveau de l'antrum de l'estomac.

Remarque : le volume, la nature physique et la composition chimique des aliments vont aussi modifier l'activité motrice de l'estomac → intervention de chémorécepteurs et mécanorécepteurs.

H. PHASES DE REGULATIONS GASTRO INTESTINAL

La régulation nerveuse et hormonale de l'appareil digestif est divisée en trois phases : céphalique, gastrique, intestinale.

En période inter digestive la sécrétion d'HCL est très faible l'essentiel de la sécrétion est du mucus. Dès la prise alimentaire, on assiste à une sécrétion massive d'HCL puis à une phase de plateau (1 à 2h) puis un retour à la normale. Ceci sera régulé de 3 façons.



1/La phase céphalique

D'origine nerveuse déclenchée par la vue, la pensée, l'odorat, la mastication, elle provoque une stimulation du nerf vague qui secrète ACH (stimule les cellules principales, les cellules pariétales, cellules à histamine, cellules à gastrine).

2/La phase gastrique

Quand les aliments arrivent, 3 stimuli vont déclencher les réflexes qui constituent cette phase.

- La distension
- La diminution d'acidité
- Peptides formés au cours de la digestion

Cette phase est liée à la gastrine, hormone peptidique dont la production est stimulée par la distension gastrique et la présence de nutriments telles que les peptones. On a une stimulation de sécrétion acide par la gastrine.

Un pH très bas va inhiber la sécrétion de gastrine par rétrocontrôle : une concentration en H^+ qui augmente fait augmenter l'acidité donc le pepsinogène est clivé en pepsine qui va dégrader les protéines en peptides. Ces peptides vont tamponner les protons donc l'acidité va diminuer ce qui va lever l'inhibition de la sécrétion de gastrine qui va stimuler les cellules principales qui secrètent le pepsinogène et les cellules bordantes qui secrètent l'acide chlorhydrique. On va avoir augmentation de l'acidité et inhibition de la gastrine. C'est une boucle de régulation et cette phase fait intervenir les réflexes longs et courts.

3/ La phase intestinale

C'est la phase d'inhibition de la sécrétion de gastrine déclenchée par la distension, l'augmentation de l'acidité, l'osmolarité et les différents produits de la digestion. Elle est régulée par les réflexes longs, courts et des hormones.

L'arrivée du chyme au niveau du duodénum (riche en lipides et peptides) va déclencher la sécrétion de :

- **Sécrétine** (stimule la sécrétion de somatostatine)
- **CCK**
- **Somatostatine** (inhibe la sécrétion gastrine)
- **GIP** (stimule la libération de somatostatine)

I. Secrétions pancréatiques

Le pancréas secrète la plus grande quantité d'enzymes par rapport à sa masse. Ce sont des enzymes très importantes pour la digestion.

Le pancréas est une glande amphicrine, il a une fonction exocrine (libération dans le duodénum) et une fonction endocrine par les îlots de Langerhans.

1/ La morphologie du pancréas

Constitué à 90 % de parenchyme exocrine et 10% qui restent endocrine. Il a la structure de base des glandes endocrines donc, il contient des lobules formés par des acini et drainés par des canaux.

La partie exocrine est un regroupement d'**acini** en **lobules**.

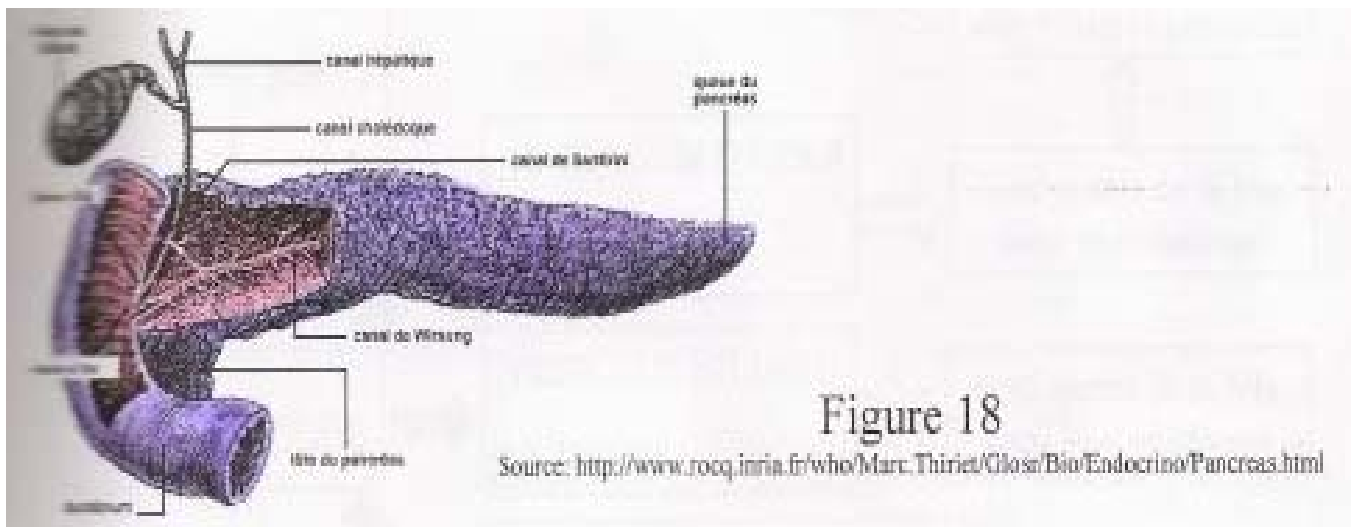
Les cellules qui forment les acini sont des cellules **zymogènes**. Elles élaborent les enzymes mais pas le mucus.

Les cellules canalaire vont élaborer les ions bicarbonates.

Le canal excréteur est dit canal pancréatique ou canal de Wirsung. Il se jette dans le duodénum par l'ampoule de Vater.

La partie finale est commune avec les voies biliaires et pancréatiques.

La partie biliaire est le canal cholédoque et la partie commune est commandée par le sphincter d'Oddi.



2/ La composition du suc pancréatique

Liquide incolore à pH neutre légèrement alcalin dû aux ions bicarbonates qui vont permettre la neutralisation du chyme gastrique qui est très acide.

Il contient aussi des précurseurs d'enzymes qui seront nécessaires à la dégradation des protéines, des lipides et des glucides au niveau de l'intestin grêle.

Son débit est très variable mais sera maximal en période post prandiale et minimal en période interdigestive.

Le suc pancréatique contient de l'eau, des ions sécrétés par les cellules canalaire (Na⁺, K⁺, NH₄⁺ vont augmenter avec le débit et Cl⁻ qui va diminuer avec le débit), des enzymes sécrétées par les cellules zymogènes sous forme active ou inactive au niveau du duodénum (lipase, protéase, peptidase, amylase, nucléase).

3/ Régulation de la sécrétion du suc pancréatique

Les facteurs stimulateurs sont hormonaux :

➤ SECRETINE

Fabriquée par les cellules S des cryptes duodénales, elle agit par voie sanguine et va stimuler les cellules canalaire qui vont sécréter des bicarbonates. La libération de sécrétine est stimulée par la présence d'ions H⁺.

➤ CCK

Fabriquée par les cellules I du duodénum et du jéjunum en réponse à la présence d'acides aminés et lipides dans le chyme gastrique. Elle va agir sur les cellules zymogènes et augmenter la sécrétion d'enzymes et la contraction et la vidange de la vésicule biliaire.

La régulation nerveuse est assurée par le nerf vague : intervention vagal-cholinergique sur la sécrétion pancréatique relativement complexe. La stimulation du nerf vague va augmenter la sécrétion d'enzymes mais la vagotomie aura peu d'effets sur la sécrétion pancréatique basale et aussi peu d'effet sur la sécrétion pancréatique stimulée par des hormones.

La majeure partie de ces substances est captée grâce à des transporteurs localisés au niveau des membranes des épithocytes.

2/ Régulation de la sécrétion biliaire

Elle fait intervenir la CCK et les sels biliaires.

La sécrétion de bile est très importante au moment du repas et après et, en période inter digestive le foie sécrète de la bile en petite quantité.

Le canal Cholédoque est entouré du sphincter d'Oddi, au niveau de son point d'entrée dans le duodénum.

En période de jeûne, le sphincter d'Oddi est fermé et la bile fabriquée par le foie est transportée jusqu'à la vésicule biliaire. Au cours du repas le sphincter d'Oddi se relâche, les muscles lisses se contractent, ce qui aboutit à la libération dans le duodénum sous contrôle de la CCK car c'est elle qui va permettre le relâchement du sphincter et la contraction de la vésicule.

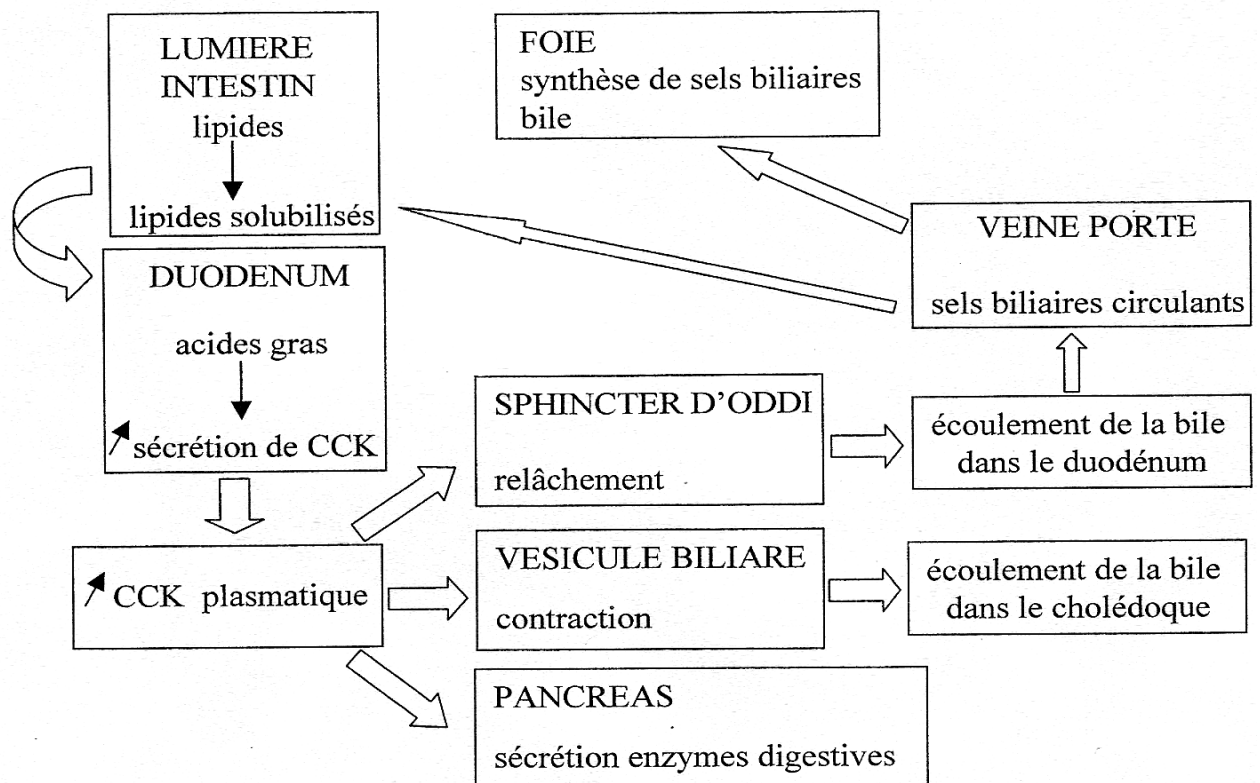


Figure 20

K. Intestin Grêle

2 Fonctions principales :

- Terminer la digestion des aliments
- Absorber les produits de digestion

1/ Structure

Environ 2 mètres de long, il est constitué par trois structures :

- **Duodénum**
- **Jujénum**
- **Ileon**

L'épithélium de la muqueuse a de nombreuses villosités constituées de nombreux types cellulaires :

- Entérocyte qui vont permettre l'absorption des substances
- Cellules caliciformes qui secrètent le mucus

L'épithélium contient de petites dépressions : les cryptes de Lieberkühn qui contiennent des cellules indifférenciées qui peuvent permettre la régénération de l'épithélium, des cellules endocrines, des cellules à mucus, et des cellules de Paneth qui participent à la défense immunitaire et qui secrètent du lysozyme.

2/ La sécrétion

La paroi de l'intestin va sécréter le suc intestinal. C'est un liquide alcalin qui contient des électrolytes, du mucus synthétisé par les glandes de Brunner et un peu d'enzymes.

3/ La motilité

L'intestin est parcouru localement par des mouvements pendulaires et des segmentations rythmiques. Cela correspond à des mouvements de la contraction de la musculature longitudinale et circulaire. Cela va permettre de mélanger le contenu intestinal et de mettre en contact les nutriments avec la paroi. Cette surface de contact est augmentée par la présence de villosités qui vont favoriser l'absorption. Le contenu intestinal sera ensuite propulsé dans le gros intestin par des ondes péristaltiques.

L'intestin possède des cellules pace maker : les cellules interstitielles de CAJAL

La motilité est modulée par trois facteurs :

- Système nerveux entérique
- Système nerveux autonome : le parasympathique augmente la force de contraction et l'orthosympathique diminue la force de contraction
- Hormones : Vasoactive Intestinal Peptide (VIP) à effet relaxant sur les muscles lisses du tractus gastro intestinal.

Pendant les périodes interdigestives, l'intestin est le siège d'une activité mécanique intermittente qui se propage tout le long de l'organe et se répète selon un cycle régulier. On parle de CCM (complexe migrant moteur).

Il correspond à des ondes contractiles particulières qui vont permettre de rejeter des aliments non digérés. Il débute au niveau du pace maker gastrique, franchit le pylore et se propage jusqu'au début du colon (90 à 120mn).

D'un point de vue fonctionnel, il permet de vider le contenu de l'intestin grêle d'éviter la colonisation par des bactéries cholériques. L'absence de cette activité permet la pullulation bactérienne et la diarrhée.

L'intestin est toujours en activité même en période de jeûne et, en période interdigestive le CMM s'arrête et se sont les contractions segmentaires et péristaltiques qui se mettent en place.

L. Gros intestin

Impliqué dans le stockage du contenu intestinal, il va avoir lieu au niveau du colon ascendant et au niveau du rectum. Il possède une fonction de réabsorption d'eau et d'électrolytes (sodium et Cl^-), il sécrète du bicarbonate et fabrique des acides gras volatiles et des gaz.

1/ Structure

Il comporte différentes portions

- Caecum : sorte de poche dont sera enlevée l'appendice
- Colon : on distingue le colon ascendant, le colon transverse et le colon descendant en forme de S qui constitue le segment sigmoïde qui se vide au niveau du rectum
- Rectum : anus

2/ Histologie

Il ne possède pas de villosités mais des invaginations où l'on trouve des cellules caliciformes (à mucus).

3/ Motilité

Le chyme est brassé pour réabsorber l'eau et Na^+ . On trouve aussi des ondes péristaltiques. Le colon présente une activité irrégulière de contraction par des périodes de repos favorisant le tassement des matières fécales.

Le processus de propulsion de colon est beaucoup plus lent que celui de l'intestin grêle. Le séjour varie de 18h à 24h.

Trois à quatre fois par jour après un repas, une onde forte de contraction apparaît au niveau du colon pour aller jusqu'au rectum. On a un mouvement de masse dû à un réflexe gastrocholique et les hormones gastro intestinales.

4/ Les bactéries intestinales

Chez un nouveau-né on a un tractus intestinal stérile puis, dès la première semaine de sa vie, il est colonisé par des bactéries anaérobies qu'il a pu ingérer. Il existe 400 espèces de bactéries par individu.

Chez l'adulte, le contenu intestinal est de 10^{11} à 10^{12} bactéries/ml. Elles interviennent dans le mécanisme de défense immunitaire et le métabolisme de l'individu (dégradation des glucides, synthèse de la vitamine K).

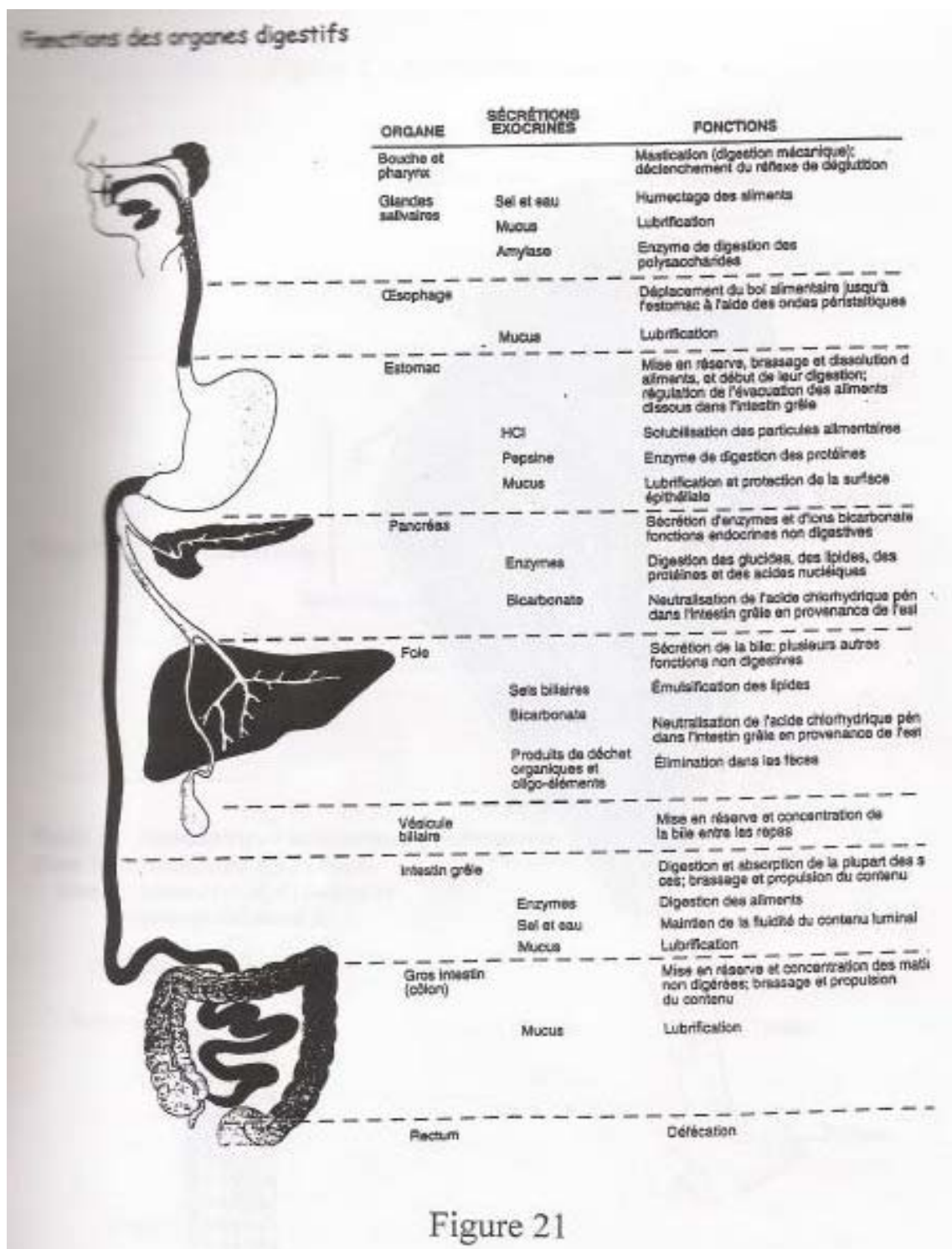
5/ La défécation

L'anus est fermé par le sphincter anal interne (muscle lisse) et le sphincter anal externe (muscles squelettique qui dépend de la volonté).

La distension des parois du rectum, provoquée par le mouvement de masse entraîne le réflexe de défécation : intervention de mécanorécepteurs. On détecte 4 phénomènes :

- Contraction du rectum
- Relâchement du sphincter anal interne
- Contraction du sphincter anal externe
- Augmentation de l'activité péristaltique au niveau du colon sigmoïde

L'évacuation du fécès a lieu quand la pression au niveau du rectum est suffisante pour relâcher le sphincter anal externe.



M. Physiopathologie du tube digestif

1/ Intolérance au lactose

C'est la conséquence directe d'une production insuffisante ou inexistante de lactase par l'organisme. Le problème c'est qu'on trouve beaucoup de lactose dans les aliments (produits laitiers, biscuits, alimentation industrielle).

L'intolérance au lactose peut se déclarer à tous les âges et sera plus fréquente chez les adultes tandis que les nourrissons et les jeunes enfants ont énormément de lactase afin qu'ils puissent assimiler le lait maternel.

Les signes cliniques : ballonnements, flatulences, diarrhées, douleurs abdominales.

Le lactose empêche la réabsorption d'eau au niveau de l'intestin grêle et sa dégradation par les bactéries induit la production de gaz.

La solution serait de manger des aliments appauvris en lactose et d'apporter une lactase synthétique avant les repas.

2/ L'estomac

- **L'acidité**

Chez l'homme, les cellules pariétales secrètent une solution d'HCl à 140mM et pH < 1 qui sera diluée par les autres composants sécrétoires pour remonter le pH de l'estomac.

Le niveau de l'acidité est doué d'un pouvoir pathologique variable d'un individu à l'autre. Pour y remédier on utilise des anti-acides, substances capables de « consommer » les ions H⁺ sécrétés par l'estomac sans interférences avec les processus sécrétoires.

Dans les conditions physiologiques cet effet anti-acide est apporté par les protéines et, dans les conditions pathologiques on l'apporte, ce qui a plusieurs conséquences :

- Sur la libération de gastrine : pas d'augmentation de la sécrétion
- Sur le sphincter inférieur de l'œsophage : augmentation de la pression quand le pH augmente et diminution du reflux gastro œsophagien.
- Augmentation de la protection de la muqueuse
- Sur le transit intestinal : laxatif ou inverse en fonction de l'origine de l'anti-acide.

La plupart des anti-acides contiennent des sels minéraux, sels de magnésium, d'aluminium, de calcium et de sodium. Suivant leur origine les sels minéraux ont un potentiel thérapeutique différent. Souvent, un anti-acide est la combinaison de sels :

- Aluminium + Magnésium → Maalox
- Calcium + Magnésium → Rennie

- **Les ulcères**

Il existe plusieurs facteurs qui vont protéger la paroi de l'estomac contre la digestion acide :

- Sécrétion de mucus et de bicarbonates : barrière chimique. Le mucus alcalin neutralise les protons
- Existence de jonctions occlusives entre les cellules de l'estomac pour éviter la diffusion des protons dans les tissus sous-jacents.
- Remplacement journalier des cellules épithéliales âgées.

Ces mécanismes sont parfois insuffisantes et il des ulcères apparaissent au niveau de la surface gastrique. Ils se forment dans la partie inférieure de l'œsophage et au niveau du duodénum.

L'ulcère gastrique est peu fréquent avant 40ans et l'ulcère duodénal est plus fréquent chez les jeunes. Dans les pays occidentaux, 10% des personnes ont des ulcères gastroduodénaux.

Il existe deux facteurs qui causent ces ulcères :

- Infection gastrique due à une bactérie, *Helicobacter pylori*, qui résiste à l'acidité gastrique. Elle va traverser le mucus et coloniser la paroi gastrique. On parle de gastrite aigue ou chronique qui peut persister sans complication ou donner lieu à des ulcères. L'infection est souvent contractée pendant l'enfance et dépend des conditions d'hygiène de vie.
- Prise d'anti inflammatoire non-stéroïdiens (AINS) qui inhibent la synthèse des prostaglandines, molécules qui stimulent la synthèse et la sécrétion du mucus car les AINS agissent sur la cyclooxygénase qui intervient dans la synthèse des prostaglandines.

Remarque : Le stress joue un rôle dans la formation des ulcères. Son processus est obscur mais il aggrave les ulcères formés sans être un facteur déterminant.

L'ulcère est une sorte de trou. Lorsqu'il apparaît, les cellules constitutives de la muqueuse sont en partie détruites. Les couches sur la muqueuse se retrouvent en contact avec l'acide et la pepsine contenue dans l'estomac. Cette lésion récidive, à chaque poussée de la maladie, au même site.

Différentes complications sont associées aux ulcères :

- Hémorragie : les vaisseaux sont lésés et des saignements apparaissent dans la lumière gastro intestinale.
- Risque de perforation : l'ulcère pénètre dans la totalité de la paroi et le contenu de la lumière gastro intestinale s'écoule dans la paroi abdominale. Ceci est favorisé par la prise d'AINS et d'aspirine.
- Sténose (obstruction des vaisseaux) du pylore : les différentes cicatrisation liées à l'ulcère aboutissent à une fibrose localisée au niveau du pylore. Le tissu conjonctif se développe et on aboutit à une occlusion du pylore qui empêche la vidange gastrique et provoque donc des vomissements.

3/ Le vomissement

C'est l'expulsion violente du contenu gastrique et duodénal. Dans la majorité des cas (sauf ceux liés à une pathologie de type hémorragique ou une tumeur cérébrale), le vomissement est un réflexe de défense permettant de lutter contre les intoxications alimentaires.

Le centre est localisé au niveau du bulbe rachidien sous le contrôle de chémorécepteurs situés au niveau du plancher du 4^e ventricule. C'est une zone où la barrière hémato encéphalique va laisser passer beaucoup de substances (hormones, neuropeptides qui vont stimuler ou inhiber cette zone chémosensible). Le bulbe va recevoir des afférences périphériques et des messages en provenance du Système Nerveux Central qui vont provoquer le vomissement de différentes façons :

- stimulation tactile de la paroi postérieure du pharynx
- rotation de la tête
- stimulation visuelle et olfactive

A partir du centre du vomissement on a un départ des voies efférentes qui rejoignent différents nerfs dont le nerf vague. Sa stimulation par différents facteurs entraîne le vomissement qui se traduit par un blocage du diaphragme, une fermeture de la glotte, un abaissement du diaphragme, une contraction des muscles abdominaux, une contraction du duodénum, un relâchement des sphincter oesophagiens après augmentation de la pression abdominale et la compression de l'estomac puis l'expulsion du contenu.

4/ Modification de la motricité intestinale

Accélération du transit et renforcement de la motricité : On utilise des médicaments appelés les prokinétiques. Le but est d'augmenter l'action de l'acétylcholine.

On utilise des agonistes qui stimulent indirectement la libération d'acétylcholine. Le médicament est le CISAPRIDE qui stimule indirectement la libération d'ACH en agissant au niveau des terminaisons nerveuses post ganglionnaires qui se projettent vers les plexus myentériques.

On a une accélération de la vidange gastrique, une réduction de l'exposition acide au niveau de l'œsophage chez les patients atteints de reflux et une accélération du transit au niveau de l'intestin et du colon (moins de constipation).

Inhibition de la motricité : On utilise des antispasmodiques qui sont soit des anticholinergiques soit des dérivés de la PAPAVERINE (opiacé de synthèse).

Ralentissement du transit : On utilise des antidiarrhétiqes, opiacés de synthèse qui ressemblent à la morphine. Ces molécules renforcent le tonus de repos des muscles de l'intestin grêle et du colon. Elles déclenchent aussi une activité segmentaire désorganisée et limitent les mouvements péristaltiques.

5/ Les calculs biliaires

Ce sont des cristaux de cholestérols dans 90% des cas ou des cristaux de pigments biliaires liés à la bilirubine. Ces cristaux se forment dans la vésicule biliaire.

Certains éléments de la bile tel que le cholestérol ne sont pas très solubles. Quand la bile contient une trop grande quantité de ces substances, elle se sépare du reste du liquide pour former un bloc solide, le calcul, qui entraîne des douleurs abdominales très intenses physiologiquement mais, dans 80% des cas les calculs ne font pas souffrir l'individu. Ils sont silencieux.

Dans les cas extrêmes, on a une inflammation de la vésicule biliaire, des canaux biliaires, du foie puis du pancréas.

On traite les calculs biliaires de différentes façons :

- Opération chirurgicale consistant à l'ablation de la vésicule
- Prise de médicaments pour dissoudre les calculs mais il existe des risques de réapparitions
- Ultrasons pour fragmenter le calcul et le dissoudre plus tard par la prise de médicaments.