



## Le système digestif

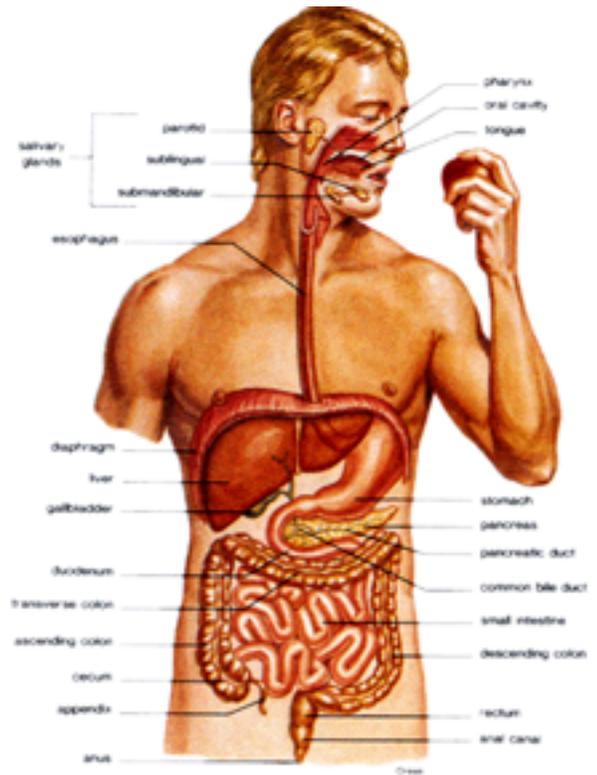
### Physiologie de la digestion :

#### Les organes en jeu

- Organes principaux : œsophage, intestin,...
- Organes annexes : dents, langue, pancréas, foie.

#### Définition :

- **Ingestion** : introduction par la bouche de nourriture.
- **Propulsion** : Déglutition, acte volontaire
- **Péristaltisme** : mobilité involontaire sous contrôle du système nerveux autonome qui propulse les aliments, le long du tractus digestif. Fonction de brassage et de déplacement du bol alimentaire
- **Digestion mécanique** : préparation de la nourriture pour la digestion chimique par mastication (dents, langue), pétrissage (estomac), segmentation (intestins).
- **Digestion chimique** : processus catabolique par lequel les grosses molécules sont dégradées en monomères, absorption dans les muqueuses.
- **Absorption** : transport actif ou passif des nutriments de la lumière du tube digestif au sang ou à la lymphe.
- **Métabolisation** : processus physiologique par lequel les nutriments sont transformés pour être stockés, utilisés et dégradés par l'organisme.



*Schéma du tractus digestif de la bouche à l'anus. Ce tube peut être considéré comme externe au corps*

### Réaction et optimisation du système digestif

#### Les récepteurs (chimio et barocepteurs) réagissent :

- Distension de parois du tractus digestif (quantité ingérée)
- Osmoralités (concentration des solutés, nutriments)
- Nature du bol alimentaire (riche en protéines, graisses, sucres)

- Le pH à l'intérieur du tube digestif

En fonction de ces différents facteurs, le système digestif va activer certaines de ses fonctions.

- Sécrétions de sucs digestifs
- Réponse du système endocrinien (réponse hormonale)
- Brassage du contenu
- Accélération ou ralentissement du péristaltisme

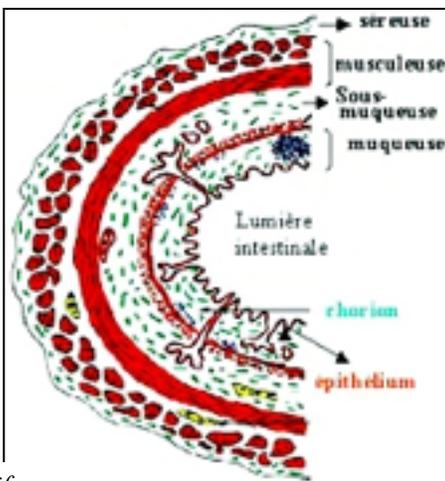
## Le tube digestif, l'extérieur du corps

Il faut se représenter le tube digestif, comme un tuyau qui travers notre corps de la bouche à l'anus. Même si les aliments sont à l'intérieur de notre corps, ils doivent passer au travers de la muqueuse digestive pour pouvoir être assimilés. Tout aliment présent à l'intérieur du tube est donc considéré comme à l'extérieur du corps

## Variation du volume sanguin

Apport sanguin : le quart du volume cardiaque est mobilisé pour la digestion après un repas. Le système porte-hépatique recueille le sang veineux, riche en nutriments pour l'acheminer vers le foie où les divers nutriments seront stockés ou métabolisés.

## Histologie du tube digestif



- **Muqueuse** : **épithélium** humide qui tapisse la muqueuse tout le long du tractus. Cet épithélium **sécrète un mucus** qui protège les parois internes de l'acidité de l'estomac. Cette muqueuse **empêche les bactéries** présentes en grand nombre tout le long du système digestif d'entrer dans le corps. (Les bactéries du système digestif sont 100 fois plus nombreuses dans notre organisme que le nombre de cellules vivantes dans notre propre corps, elles aident à la métabolisation de certains nutriments). La muqueuse est le principal **site d'absorption** des nutriments.

- **Sous-muqueuse** : contient les vaisseaux sanguins (apport de sang à la muqueuse et transport des nutriments jusqu'au foie) et lymphatiques, ainsi que tout le réseau nerveux, le plexus de Messner : régulation du système hormonal et contractions de la

musculature lisse.

- **Musculaire** : responsable de la segmentation et du péristaltisme. Les fibres musculaires sont disposées de manière longitudinale à l'extérieur permettant le déplacement du bol alimentaire et de manière circulaire à l'intérieur pour la segmentation. Le plexus d'Auerbach se trouve entre les deux couches et constitue le principal réseau nerveux. Il gère l'ensemble du péristaltisme sous la tutelle du système nerveux parasympathique.

- **Séreuse** : enveloppe externe (péritoine viscéral) qui se fixe par ses prolongements aux parois abdominales.

## Anatomie fonctionnelle du tube digestif

### La salive

La salive nettoie la bouche et dissout les constituants chimiques pour percevoir leurs goûts. Elle humidifie le bol alimentaire afin de le compacter et contient des enzymes (amylase salivaire) qui amorcent la digestion de certains nutriments. Elle est composée d'eau à 97%, de protéines et de quelques anticorps permettant de limiter les entrées d'agents infectieux dans le corps. La salivation est sous commande du système nerveux parasympathique par le 9<sup>ème</sup> nerf crânien, le glossopharyngien.

### L'oesophage

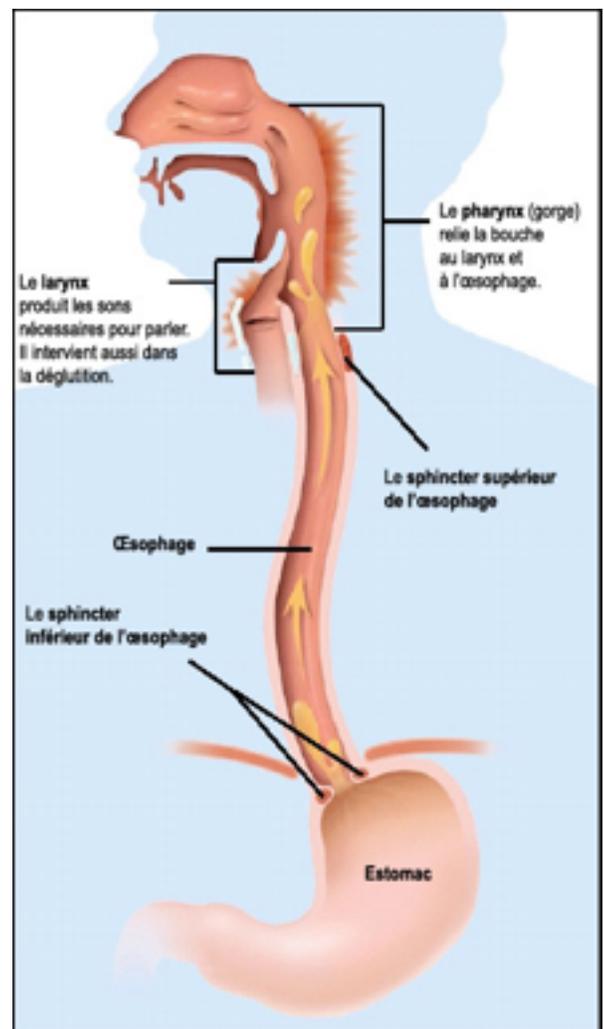
Tube musculéux reliant la bouche à l'estomac, situé directement en arrière de la trachée, qui s'affaisse sur lui-même lorsqu'il ne propulse pas d'aliment. Il traverse le thorax dans son ensemble pour s'aboucher par le cardia à la partie supérieure de l'estomac au travers du diaphragme (muscle principal de la respiration qui sépare la cavité abdominale de la cavité thoracique). Le cardia est un renforcement de la musculéuse dont le but est d'empêcher le reflux des aliments de l'estomac vers l'oesophage. Il contient les 4 couches histologiques.

Lors de la déglutition, le palais mou bouche le nasopharynx (ouverture anatomique entre la bouche et le nez) alors que l'épiglotte recouvre l'abouchement des voies respiratoires dans le pharynx. Le péristaltisme va propulser les aliments vers l'estomac.

### L'estomac

Une fois arrivé dans l'estomac, le bol alimentaire entame son processus de dégradation chimique. Le bol alimentaire est alors appelé le chyme. Le péristaltisme important dans l'estomac malaxe le chyme afin de le mélanger aux sécrétions acides sécrétées par les glandes de l'estomac.

Lorsqu'il est vide, l'estomac se replie sur lui-même. Les muqueuses et sous-muqueuses présentent de nombreux plis, attestant de la grande extensibilité de l'estomac. La musculéuse possède en plus une couche de muscles obliques permettant un mouvement de torsion de l'organe sur lui-même favorisant ainsi la brassage du chyme. Les



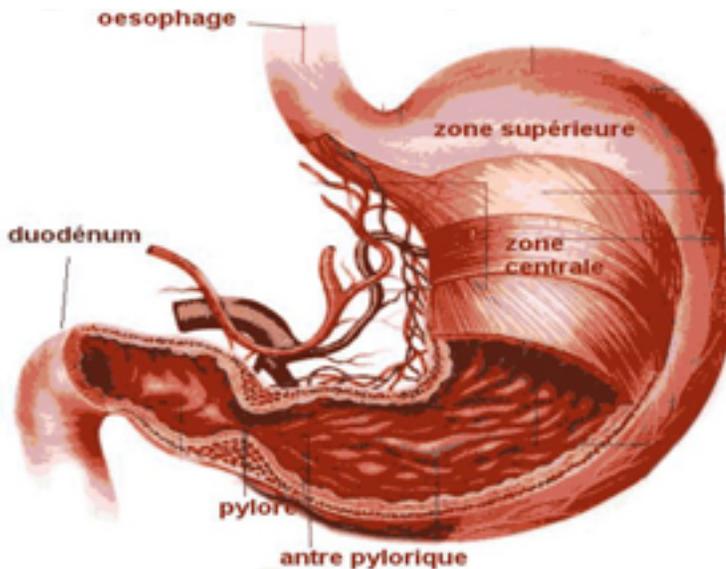
Principaux sphincters de l'oesophage. Les flèches jaunes symbolisent les retours gastriques acides de l'estomac.

nutriments ainsi mélangés sont évacués vers le duodénum par le pylore.

La muqueuse est composée de cellules calciformes, qui sécrètent un important mucus qui protège les parois stomacales de l'acidité gastrique. Le renouvellement cellulaire y est très important. Un lubrifiant est libéré afin de faciliter les déplacements du chyme.

Les parois corps de l'estomac sont recouvertes de cellules sécrétrices (glandes) :

- **Cellules pariétales** : sécrètent l'acide chlorhydrique (HCl) en masse. Le pH de l'estomac est de 1,5 – 3.5 en fonction de la nature du bol alimentaire. Fonction bactéricide et activation du pepsinogène en pepsine.
- **Cellules principales** : sécrètent le pepsinogène qui sera activé dans le milieu acide de l'estomac en pepsine.
- **Cellules endocrines** : libèrent dans la circulation sanguine les hormones qui vont influencer la dynamique des autres organes participant à la digestion.



L'estomac continue le travail de démolition engendré par la bouche. Il déverse dans un rythme précis le chyme dans le duodénum. C'est une zone de rétention fortement extensible alors que le duodénum ne peut assimiler qu'une petite quantité de chyme à la fois. L'estomac régule donc l'ensemble du déplacement du bol alimentaire en fonction de sa taille, de son acidité (le duodénum n'est pas aussi bien protégé contre le HCl que l'estomac) et de sa nature. Il absorbe la vitamine B12 essentielle pour la constitution des globules rouges et sécrète la pepsine, principale enzyme

*muscleuse sont*  
protéolytique.

## Régulation de la sécrétion gastrique

### Phase céphalique ou réflexe

Préparation de l'estomac à l'arrivée du bol alimentaire par une sécrétion d'HCl. Elle est déclenchée par la vue, l'odeur ou encore l'idée de nourriture. L'hypothalamus et les noyaux du bulbe transmettent par l'intermédiaire du nerf vague l'information aux cellules pariétales qui libèrent de l'acide chlorhydrique.

### Phase gastrique

L'étirement de l'estomac par l'arrivée du bol provoque une activation des barocepteurs sensible à la pression. Il s'ensuit une suite de réflexes locaux et longs toujours par l'intermédiaire du nerf

vague qui vont renseigner l'hypothalamus et le bulbe de l'arrivée du bol alimentaire et déclencher ainsi une libération accrue des sucs gastriques,

Lorsque les aliments arrivent dans l'estomac, le pH augmente et devient ainsi plus basique. Ce qui a pour conséquence d'activer les chimiocepteurs sensibles aux variations du pH. Les chimiocepteurs vont ordonner aux cellules endocrines (réflexes locaux) de libérer de la gastrine qui va stimuler la sécrétion d'acide et diminuer ainsi le pH stomacal afin que celui-ci se maintienne dans les limites physiologiques. Ce sont principalement les protéines qui de par leur effet tampon vont diminuer l'acidité de l'estomac. Donc, plus le bol alimentaire est riche, plus il y aura une libération importante de gastrine et par conséquence d'HCl.

Si le pH diminue, il y aura inhibition de la libération de gastrine, et ainsi un maintien toujours optimal du pH sous le contrôle des chimiocepteurs. Les cellules pariétales sont stimulées par trois facteurs. L'activation de ces trois facteurs aboutit à une sécrétion abondante d'acide chlorhydrique dans l'estomac : l'acétylcholine (ACh) principal neurotransmetteur du système parasympathique, la gastrine sécrétée par les cellules endocrines de l'estomac et l'histamine, contenue dans les mastocytes et certaines cellules de l'estomac.

Le système parasympathique contrôle l'ensemble des étapes de la digestion. Une grande partie de l'énergie corporelle est monopolisée pour l'absorption et la dégradation des nutriments. Lorsque le système nerveux bascule vers une tendance parasympathique, il en résulte une certaine somnolence, le coup de fatigue ressenti après un repas riche. Si un stress survient pendant cette période, le système nerveux sympathique par l'intermédiaire des hormones catécholamines (adrénaline, noradrénaline et dopamine) va inhiber la fonction gastrique afin de pouvoir mobiliser l'énergie vers les muscles périphériques. Le prolongement de cette tension peut être à l'origine de douleurs importantes dans la zone abdominale.

### Le réflexe entéro-gastrique

Le remplissage de l'intestin grêle (duodénum) joue un rôle important dans la vidange gastrique. Les parois duodénales contiennent aussi des baro et des chimiocepteurs. La muqueuse de l'intestin grêle ne sécrète pas de mucus comme l'estomac le fait pour se protéger efficacement contre l'acidité des sucs gastriques. Lorsque le pH à l'intérieur du duodénum diminue, une hormone (somatostatine ???) est libérée afin de ralentir la vidange gastrique et protéger ainsi la muqueuse gastrique.

Les informations envoyées par les récepteurs chimiques et physiques (réflexe entéro-gastrique) vont inhiber les noyaux du nerf vague dans le bulbe (voie longue), les réflexes locaux, et vont activer les neurofibres sympathiques afin de diminuer les sécrétions gastriques ainsi que l'entrée d'aliments dans l'intestin. C'est le système de protection de l'intestin qui ne peut se protéger contre l'acidité du chyme entrant et n'a pas la même capacité à se distendre que l'estomac. De même la libération de GIP, sécrétine et CCK va être stimulée par les mêmes voies, préparant l'intestin pour sa phase d'absorption en fonction de la nature du chyme.

### Hormones du système digestif

- **Gastrine** : elle favorise la sécrétion d'HCl dans l'estomac ainsi que la vidange gastrique et augmente globalement le péristaltisme digestif. (ouverture de la valvule iléo-cæcale).
- **Sécrétine** : elle inhibe la motilité gastrique pendant la phase sécrétoire de l'estomac et augmente la sécrétion d'enzymes pancréatiques lorsque le chyme est riche en protéines.
- **Cholécystokinine (CCK)**: elle travaille de pair avec la sécrétine et stimule la contraction de la vésicule biliaire si le chyme est riche en lipides. Elle favorise la stagnation stomacale pour augmenter l'émulsion des lipides.
- **Somatostatine** : elle est la principale hormone inhibitrice du système digestif. Elle inhibe donc le système parasympathique et stimule le sympathique. Ce qui a pour conséquence un ralentissement du péristaltisme, une diminution de la sécrétion de bile, gastrine, CCK, ainsi que de l'absorption.
- **Autres** : sérotonine (agit sur la musculature), VIP-GIP (diminue la motilité gastrique), histamine (joue un rôle dans la sécrétion HCl gastrique)

NB : Le système endocrinien est de loin le plus complexe du corps vu qu'il régule à long terme l'homéostasie de tout le corps. Je ne peux que vous citer les principales hormones interagissant avec ce système. N'oubliez pas que tous les systèmes du corps sont sous la coupole du système nerveux autonome qui règle son action par l'intermédiaire du système nerveux pour les actions rapides et du système hormonal pour les réponses à plus long terme.

### Mobilité et évacuation gastrique

La musculature est constituée de trois couches dans l'estomac ( une couche oblique en plus). Le péristaltisme débute après entrée du bol alimentaire du cardia et se propage en direction du pylore. La musculature est renforcée au niveau pylorique (sphincter), formant une chambre pouvant contenir jusqu'à trente millilitres de chyme. A chaque contraction, 5 ml passent au travers du sphincter dans le premier duodénum. Le reste est refoulé dans l'estomac. C'est un filtre dynamique. Les cellules pacemakers contenues dans les parois gastriques donnent le départ de l'onde péristaltique. L'influx nerveux se propage dans les plexus nerveux contractant la musculature lisse au rythme de 3 contractions par minute. La vidange totale de l'estomac s'effectue en moins de 4 heures.

Plus la quantité de nourriture ingérée est importante, plus la distension gastrique sera grande. Les cellules pacemakers vont augmenter la force du péristaltisme. Le réflexe entéro-gastrique jouera le rôle inhibiteur du système.

### L'intestin grêle

L'intestin grêle s'étend du pylore à la valvule iléo-cæcal et se divise en trois segments : le duodénum, le jéjunum et l'iléon. Le duodénum contient l'abouchement des canaux pancréatiques et biliaires.

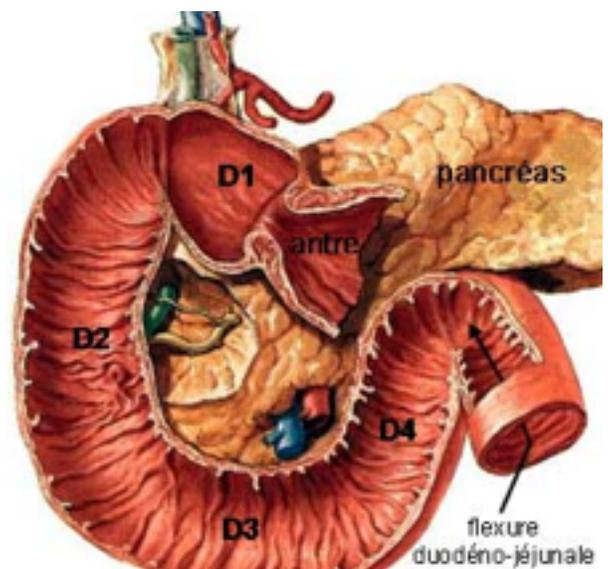


Schéma en coupe du duodénum. D1 à D4 correspondent aux quatre divisions anatomiques de cet organe responsable de l'absorption.

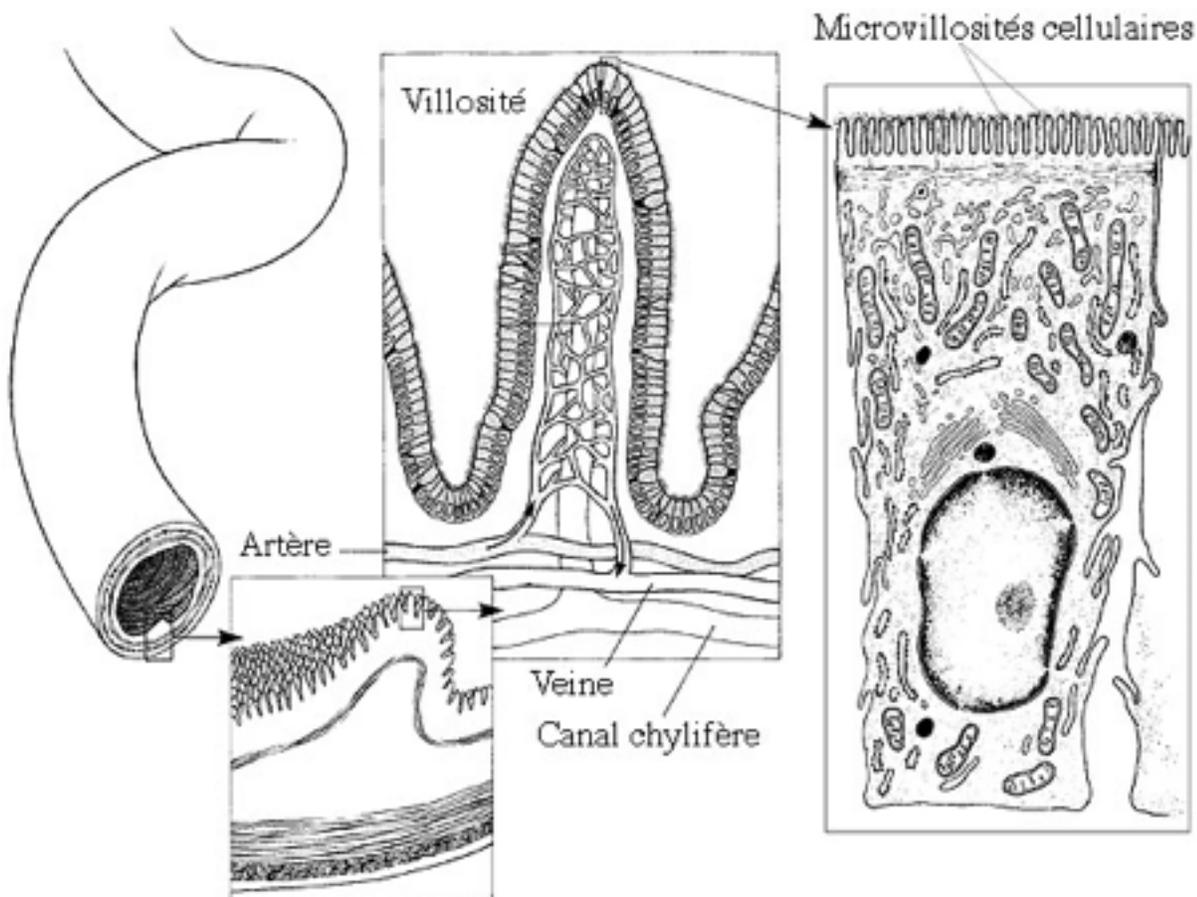
Les nutriments sont dégradés afin de pouvoir être transportés de manière passive ou active à l'intérieur de l'organisme. L'intestin grêle est l'organe principal de la digestion.

### Différences histologiques

L'intestin grêle doit augmenter sa surface d'échange afin de pouvoir capter tous les nutriments essentiels au maintien de l'homéostasie. Il mesure 6 à 7 mètres sur cadavre et tout juste 2 in vivo. Sa surface d'échange est pourtant de 200 m<sup>2</sup>. Les principaux changements histologiques se font dans la muqueuse et la sous-muqueuse :

- **Plis circulaires** : font tourner le chyme sur lui-même, facilitant le contact avec les différents nutriments.
- **Villosités** intestinales : font saillie dans la lumière du tube, elles sont richement vascularisées et pulsent dans la lumière grâce à la musculature qu'elles contiennent.
- **Microvillosités** : sécrètent les enzymes responsables de la dégradation des divers aliments.

Ces trois particularités histologiques tapissent la paroi interne de l'intestin lui donnant un important relief. Les cellules de la muqueuse migrent vers le sommet et se spécifient de plus en plus. Les cellules de la muqueuse sont absorbantes et certaines sécrètent du mucus (calciforme), des substances antibactériennes (séreuses), des hormones (endocrines), les sucs digestifs (micro villosités).



## Processus digestif dans l'intestin grêle

Mises à part les quelques enzymes de la bordure de la brosse (micro villosités) aucune enzyme ne provient de l'intestin grêle. Elles se trouvent toutes dans les sucs pancréatiques et les sels biliaires. (cf : foie et vésicule biliaire, pancréas). Le chyme arrive en petite quantité afin de permettre un brassage important et ainsi neutraliser l'acidité gastrique par les bicarbonates du suc pancréatique.

Grâce à la musculature circulaire, des mouvements de segmentation sont possibles permettant de séparer le chyme et de le mettre en contact avec les villosités intestinales. L'absorption est facilitée par les plis circulaires qui empêchent dans un premier temps l'avancée des nutriments. Lorsque l'absorption est complète le péristaltisme reprend. A noter que certains auteurs parlent d'un péristaltisme rétrograde et pendulaire (contraction que d'un côté de la musculature) augmentant encore le temps de contact entre les nutriments et la muqueuse intestinale.

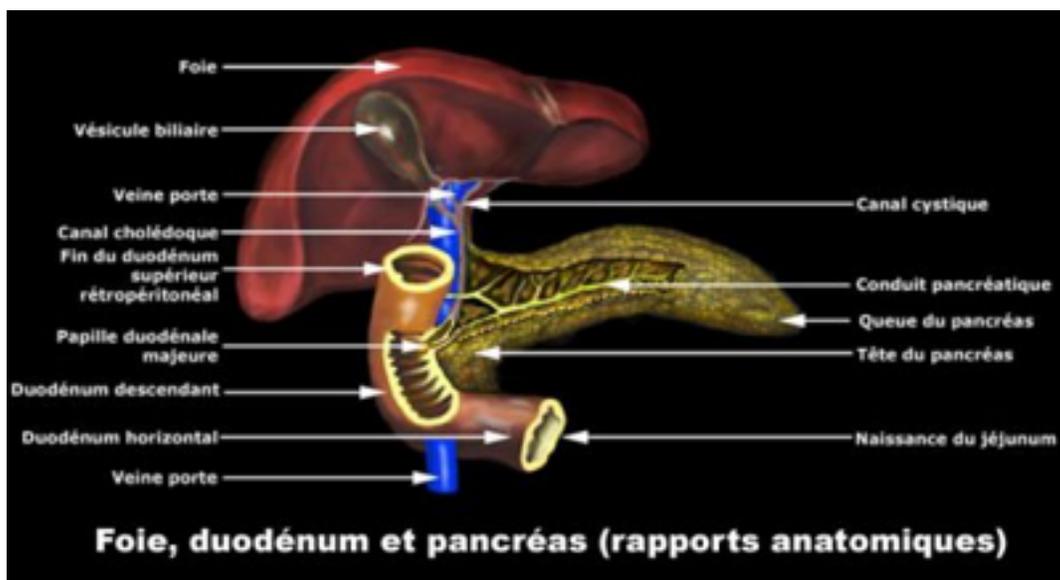
Lorsque le chyme passe devant sphincter d'Odi et se mélange aux sucs pancréatiques et aux sels biliaires, il devient chyle. La gastrine sécrétée en masse va permettre l'ouverture de la valvule iléo-cæcale et permettre le passage du chyle dans le gros intestin.

## Foie et vésicule biliaire

La bile est produite par le foie et acheminée par les canaux biliaires dans la vésicule pour y être stockée. La vésicule peut se contracter (sous l'action de la CKK) pour libérer la bile dans les canaux biliaires terminaux qui s'abouche dans le deuxième duodénum au niveau du sphincter d'Odi.

La bile est un agent émulsionnant des graisses. Elle les brise en petites particules afin de faciliter leur digestion par les sucs pancréatiques. Les sels biliaires (acides) sont assimilés en même temps que les graisses et sont recyclés dans le cycle entéro-hépathique.

## Le pancréas



Le pancréas est entouré par le duodénum qui imprime un relief sur son corps, comme un roue autour d'un enjoliveur. Il est à la fois une glande exocrine, par les enzymes qu'il sécrète dans la lumière du tube digestif, et endocrine (insuline et glucagon) pour son rôle important dans le métabolisme des glucides. Les canaux exocrines (dit de Santorini) s'abouchent dans le sphincter d'Odi par l'ampoule de Vater.

Le pancréas participe au métabolisme des glucides, des protéines et des graisses. Le suc pancréatique contient des ions bicarbonates qui neutralisent l'acidité du chyme. Sa libération commence, tout comme celle de l'acide chlorhydrique à la phase encéphalique. Il existe une balance entre les ions bicarbonates (basique) sécrétés dans le sang par l'estomac et les ions H<sup>+</sup> (acide), afin que le pH sanguin arrivant au foie par la veine porte soit neutre.

## Le gros intestin

Le gros intestin est la partie terminale. Il s'étend de la valvule iléo-cæcale à l'anus. Il comprend le cæcum avec l'appendice vermiforme, le côlon ascendant, le côlon transverse, le côlon descendant, le côlon sigmoïde et enfin le rectum qui s'abouche à l'anus par deux sphincters.

Histologiquement le gros intestin ne présente pas de grandes différences. Il est recouvert de cellules calciformes qui sécrètent du mucus afin de protéger les parois contre l'acidité et les gaz produit par la dégradation des derniers nutriments par la flore bactérienne, présente en grand nombre dans la partie terminale de l'intestin.

La flore bactérienne dégrade certains gros glucides (polysaccharides) non digérés. Cette dégradation des celluloses (fibres) facilite la progression des selles vers l'anus. L'absorption principale s'est faite au niveau de l'intestin grêle, il ne reste plus que quelques vitamines synthétisées (B, K), des électrolytes (Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>) et de l'eau qui sont réabsorbés à ce niveau.

Il existe des renforcements de la musculature circulaire, formant des haustrations visibles sur les parois externes et permettant une segmentation des selles. La musculature longitudinale est puissante et permet un péristaltisme de masse trois à quatre fois par jour.

La défécation est un réflexe nerveux parasympathique par contraction du côlon sigmoïde.

## Physiologie de la digestion et chimie de l'absorption

Tous les nutriments qui sont ingérés doivent être obligatoirement dégradés pour que l'absorption soit possible au niveau de la muqueuse intestinale. Les grosses molécules sont transformées en monomères (molécule simple) dans un processus de catabolisme.



*Radiographie de l'abdomen avec injection de produit de contraste. La valvule iléo-coecale est fermée empêchant le liquide d'entrer dans l'iléon.*

Sur les 10 litres absorbés quotidiennement par le corps seulement 0.5 à 1 litre arrive dans la portion terminale du gros intestin. Tout le reste a été assimilé dans l'intestin grêle (principalement dans le duodénum et le jéjunum). L'iléon récupère les sels biliaires pour les renvoyer au foie. L'eau est réabsorbée dans l'intestin grêle en même temps que les protéines (pression oncotique).

### **Les glucides (sucres)**

Peu de polysaccharides sont digestibles. Le glycogène et l'amidon sont les principaux disaccharides catabolisés en monosaccharides pour être absorbés par l'organisme. Les principales enzymes responsables de cette dégradation sont l'amylase salivaire, l'amylase pancréatique et la dextrinase. IL existe une enzyme particulière pour chaque sucre (lactose, saccharose, amidon, glycogène).

Les glucides sont les principales sources énergétiques de l'organisme. Le glucose est stocké sous forme de glycogène dans le foie et les muscles. Ils sont dégradés dans les mitochondries pour former de l'ATP (adénosine triphosphate), principale source énergétique de la cellule.

Les glucides sont absorbés dans le duodénum et le jéjunum au niveau de la bordure de la brosse. Les monosaccharides digérés sont transportés activement par des protéines, puis passent dans la circulation veineuse par diffusion simple. Seul le fructose peut passer de manière passive la muqueuse intestinale (utile pour le sport).

### **Les protéines**

Les protéines sont ingérées sous forme de gros polypeptides (viande, poisson) et sont dégradés dans l'estomac par la pepsine, puis dans l'intestin grêle par les enzymes pancréatiques (trypsine, ...) et intestinales sécrétées par la bordure de la brosse (dipeptidase,...) pour être assimilées sous forme d'acides aminés. La principale source provient de l'alimentation mais aussi de la dégradation de la muqueuse stomacale et intestinale qui est aussi dégradées en acides aminés pour pouvoir être à nouveau assimilée et recyclée. Le transport se passe de manière active.

Les protéines sont le principal constituant du corps humain (muscles, muqueuse, membrane cellulaire,...) Elles n'ont pas qu'un rôle structural. Elles participent activement aux transports des autres substances vitales de l'organisme. (l'oxygène sur l'hémoglobine des globules rouges, protéines transmembranaires,..). La plupart des enzymes sont des protéines et participent aux différentes activités métaboliques de l'organisme. Ce sont des catalyseurs essentiels pour permettre certaines réactions chimiques.

### **Les lipides**

Les graisses subissent une macroémulsion par le péristaltisme important de l'estomac. Elles sont ensuite mêlées aux sels biliaires dans le duodénum et aux enzymes pancréatiques (cholestérol estérase,...) pour être finalement assimilées sous forme de monoglycérides ou de glycérol. Ils passent au travers de la muqueuse gastrique de manière active et se retrouvent dans la lymphe.

Les lipides sont la principale source d'énergie qui peut être stockée par l'organisme. Sur demande, les lipides vont être transformés en glucides, puis en ATP pour fournir l'énergie au corps. Ils sont présents dans les adipocytes sous forme de triglycérides, qui sont la synthèse d'acide gras et de monosaccharides. Ils jouent aussi un rôle de protection (loge rénale).

### **Phase de jeûne**

Si une phase de jeûne persiste par une diminution ou une absence d'apport alimentaire, le cerveau et tout le tissu nerveux ne peut supporter une baisse de la glycémie (concentration de sucre dans le sang). Deux solutions s'imposent alors.

- **Déstockage** : utilisation des réserves de glycogène présentes dans le foie et les muscles (forme rapide, dégradée par hydrolyse) ou des triglycérides (forme lente) ou encore par dégradation des protéines (dégradation de certains acides aminés) pour fournir le glucose aux cellules cérébrales. Cette formation de sucres à partir d'autres nutriments se nomme la néoglucogénèse.
- **Épargne du glucose** : les acides gras dégradés en corps cétonique vont jouer un rôle de substrats aux glucoses.

### **Les vitamines**

On appelle vitamine tout constituant alimentaire nécessaire pour la croissance, la santé (maintient de l'homéostasie) et la vie. Les vitamines prennent souvent un caractère catalyseur dans les réactions enzymatiques. Les vitamines liposolubles (A, D, E, K) passent facilement la membrane intestinale alors que les hydrosolubles sont transportées activement.

### **Les oligo-éléments**

Les oligo-éléments sont des éléments non synthétisés par le corps essentiels au métabolisme des différents systèmes. Ex : électrolytes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ), certaines vitamines.