

Le système digestif

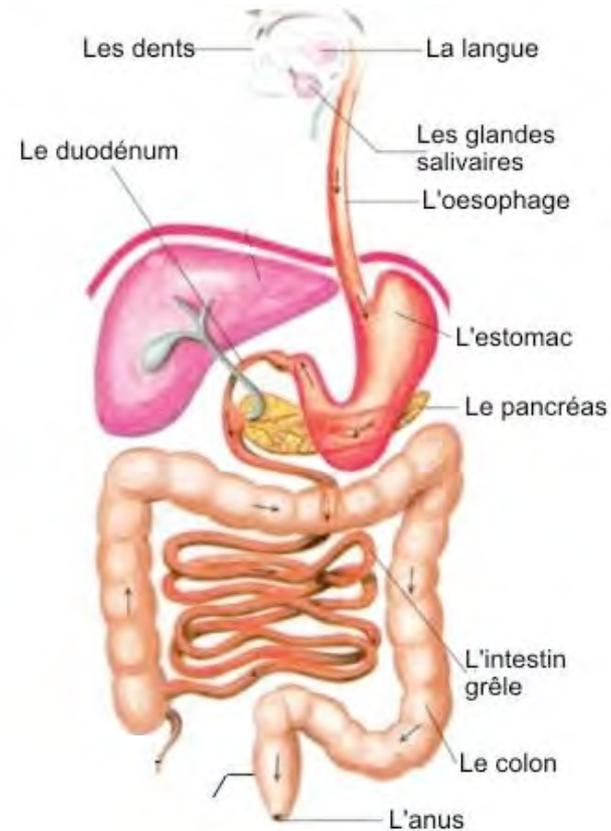
Matthieu Steimer, Ostéopathe D.O.
Patrick Lenoir, Homéopathe
EPSN 2016

+ Programme du cours

- Nous allons chercher à comprendre les implications de la digestion chimique et mécanique
- Le cours est en rapport avec le livre de référence de physiologie Tortora
- Nous allons aussi aborder quelques notions de nutrition. Une autre référence importante pour cette partie de cours est le livre « l'alimentation anti-âge » des docteurs Richard Béliveau et Denis Gingras

+ Physiologie digestive

- Organes principaux : Bouche, œsophage, estomac, intestin grêle, gros intestin, rectum et anus
- Organes annexes : dents, langue, pancréas, foie
- L'intestin grêle est subdivisé en duodénum, iléon et le jéjunum
- Le gros intestin est subdivisé en caecum, le côlon ascendant, le côlon transverse, le côlon descendant et le côlon sigmoïde



+ Le jeu de l'oie des aliments

déstructuration

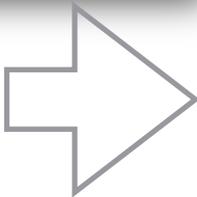
reconnaissance



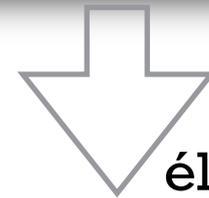
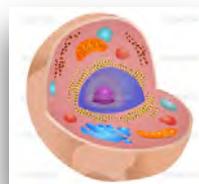
acheminement



épuration



nutrition
cellulaire



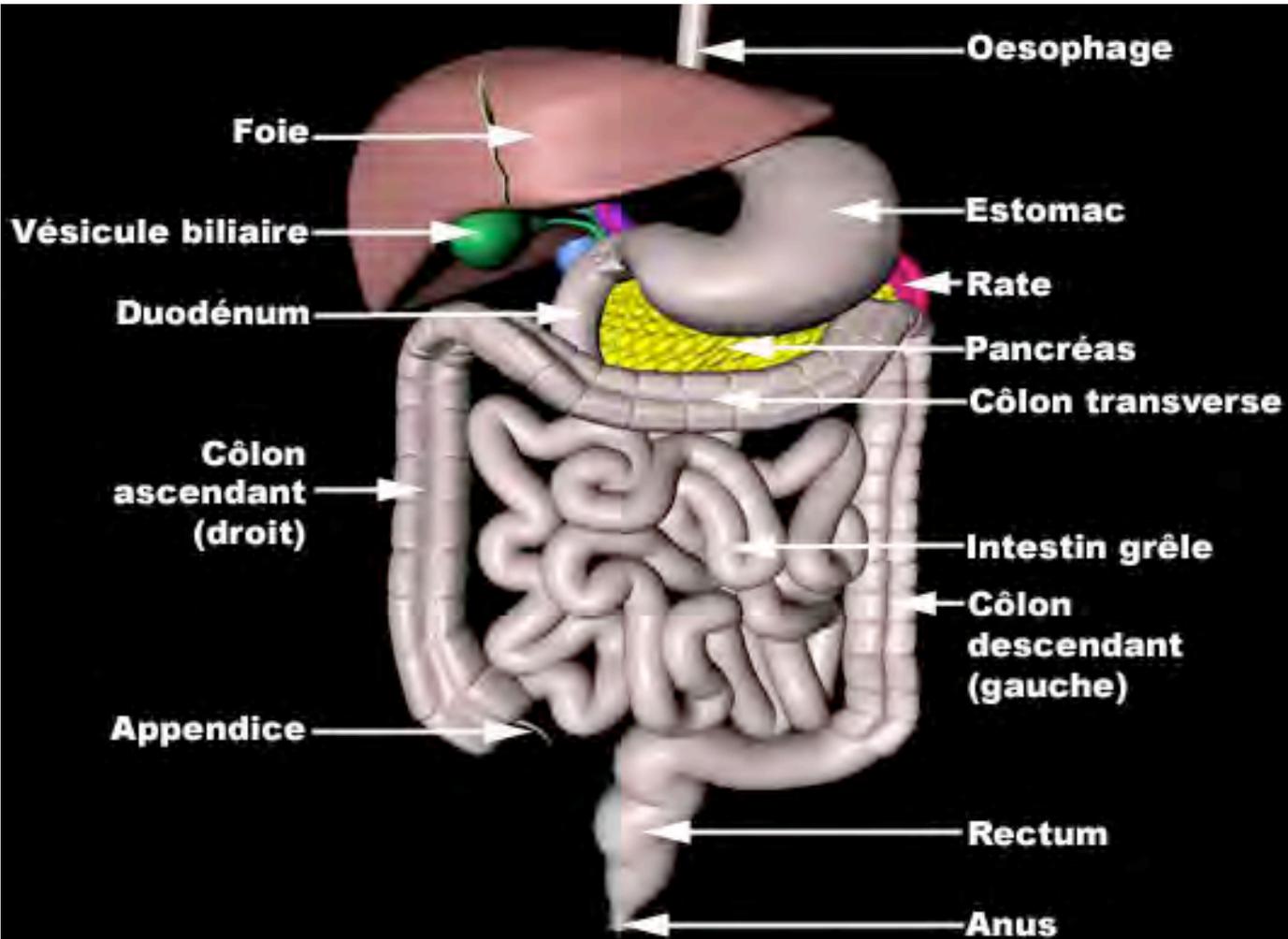
élimination



+ Les différentes fonctions de l'estomac

- Mélange la salive, la nourriture et le suc gastrique pour former le chyme.
- Sert de réservoir pour la nourriture avant le passage dans l'intestin grêle.
- Sécrète le suc gastrique qui contient le HCL, la pepsine, le facteur intrinsèque et la lipase gastrique.
- Le HCL tue les bactéries et dénatures les protéines. La pepsine commence la digestion des protéines. Le facteur intrinsèque facilite l'absorption de la vitamine B₁₂. La lipase gastrique participe à la digestion des triglycérides.
- Sécrète la gastrine dans le sang.

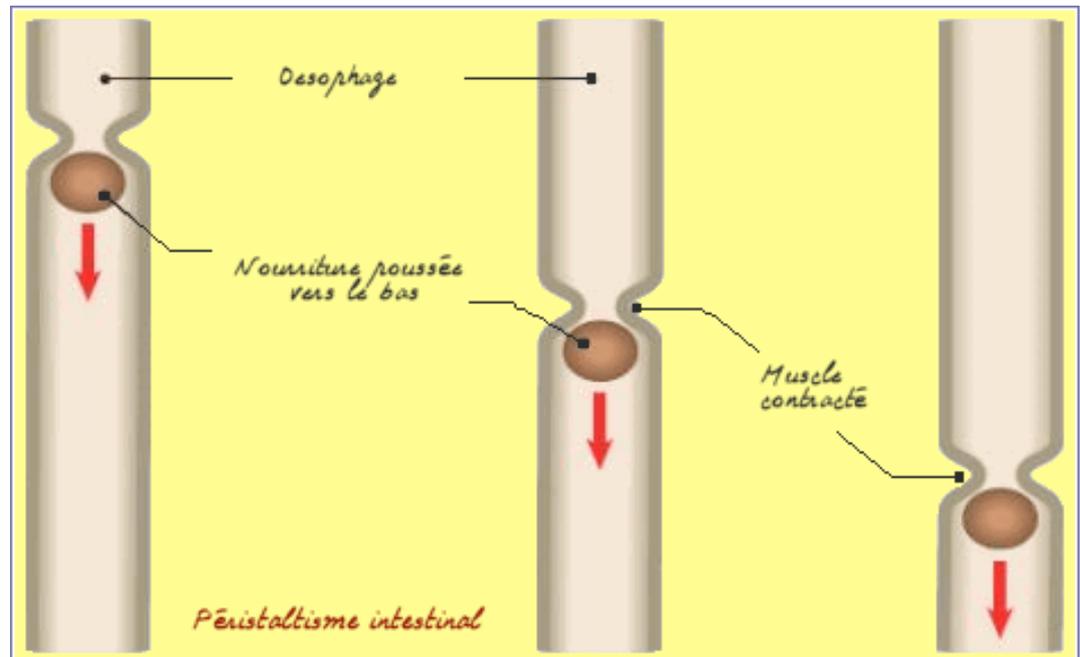
+ Anatomie digestive



Appareil digestif (rapports anatomiques)

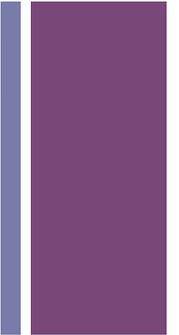
+ Quelques définitions

- **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)





Quelques définitions (suite)

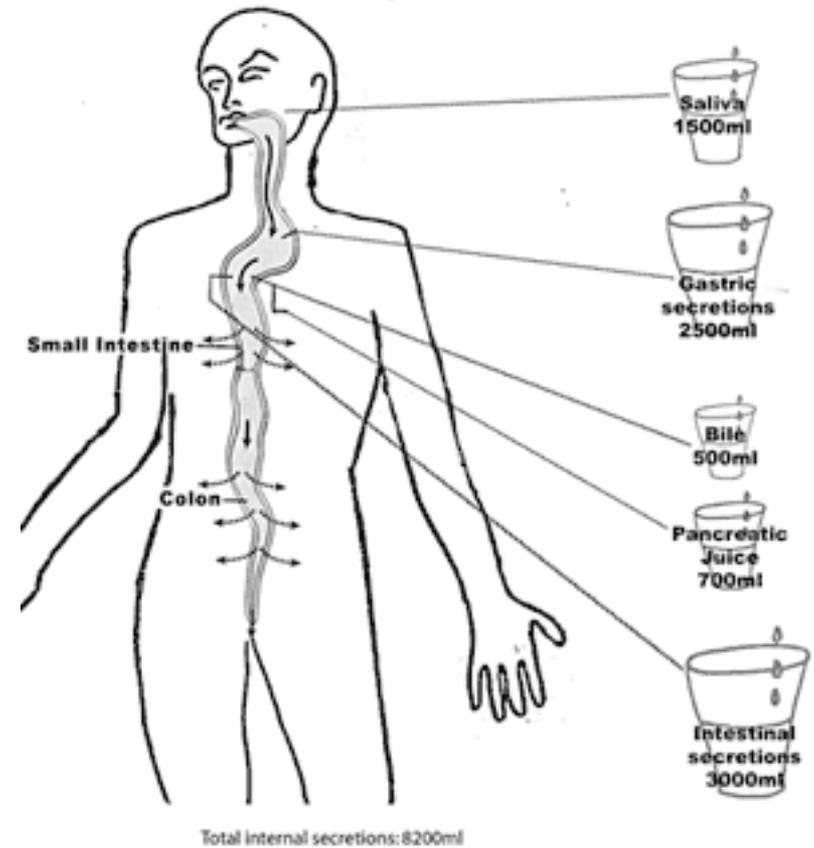


- **Digestion chimique** : processus catabolique par lequel les grosses molécules sont dégradées en monomères (acides aminés) absorption dans les muqueuses.
- **Absorption** : transport actif ou passif des nutriments de la lumière du tube digestif au sang ou à la lymphe.
- **Métabolisation** : processus physiologique par lequel les nutriments sont transformés pour être stockés, utilisés et dégradés par l'organisme.
- **Gastrique**: ou stomacal est l'adjectif qui se rapporte à l'estomac
- **Entérique**: est l'adjectif qui en rapport avec l'intestin



Le tube digestif : l'extérieur du corps

- Il faut se représenter le tube digestif, comme un tuyau qui traverse 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



+ Réaction et optimisation du système digestif

Les récepteurs (chimio et barocepteurs) réagissent :

- Distension de parois du tractus digestif (quantité ingérée)
- Osmolarité (concentration des solutés, nutriments)
- Nature du bol alimentaire (riche en protéines, graisses, glucides)
- Le pH à l'intérieur du tube digestif

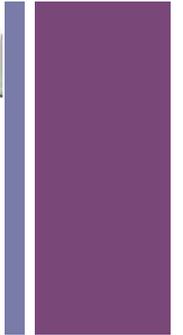
+ Réponses digestives

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

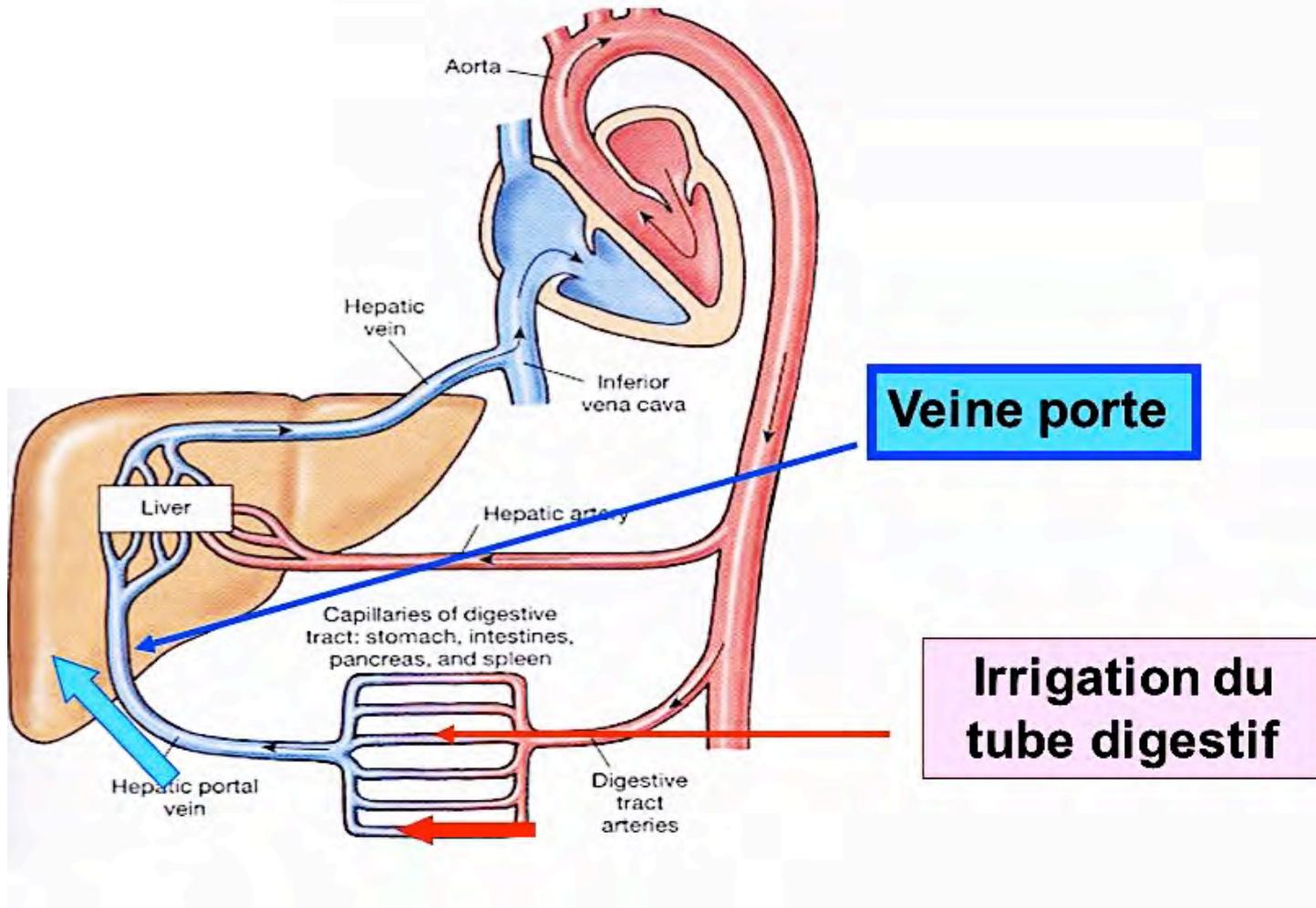


Variation du volume sanguin



- 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

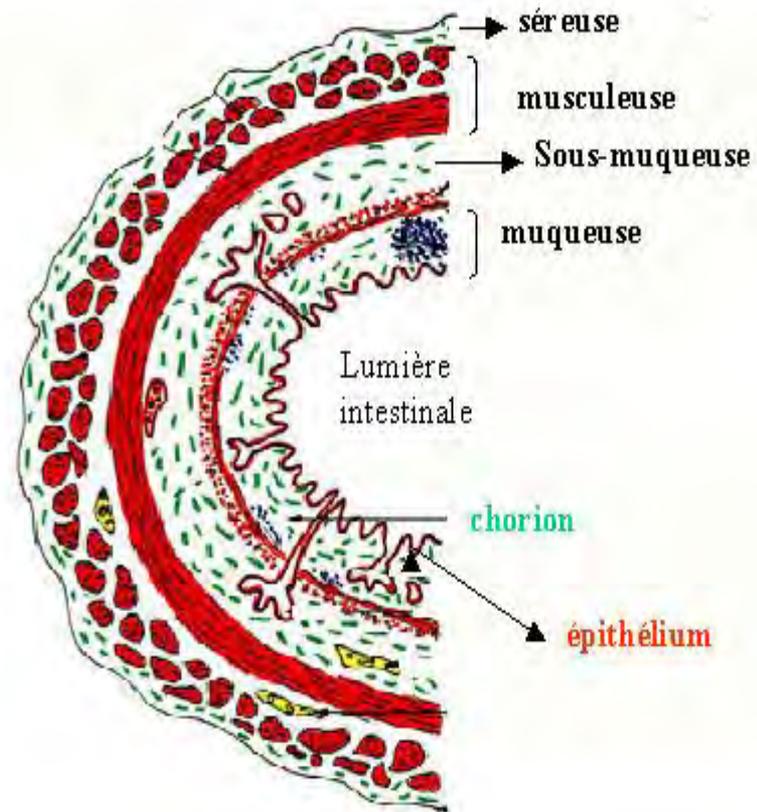
+ Système Veine porte - Foie





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.



+ Histologie du tube digestif

- **Le Chorion** : est formé du tissu conjonctif lâche et contient beaucoup de vaisseaux sanguins et lymphatiques qui sont les voies par lesquelles les nutriments absorbés par le tube digestif atteignent les autres tissus du corps.
- **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 Meissner : régulation du système hormonal et contractions de la musculature lisse.
- **Musculeuse** : 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. Le péritoine est une membrane très mince et solide, formée de deux couches pouvant se déplacer l'une sur l'autre : la couche nommée feuillet pariétal recouvre toute la paroi interne de la cavité abdominale tandis que celle nommée feuillet viscéral couvre la face externe de tous les organes contenus dans la cavité abdominale.

+ Anatomie fonctionnelle du tube digestif (anatomie et fonction)

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 une enzyme **l'amylase salivaire** qui décompose l'amidon en un sucre simple, le glucose mais que jusqu'à 37°C et du **lysozyme**, enzyme bactériolytique.
- Elle est composée d'eau à 99,5%, et de 0,5% de solutés : 1166 protéines, d'anticorps (IgA) permettant de limiter les entrées d'agents infectieux dans l'organisme, d'ions de Na⁺, K⁺, Cl⁻
- La salivation est sous la commande du système nerveux parasympathique par le IX^{ème} nerf crânien, le **glossopharyngien**.

+ Anatomie fonctionnelle du tube digestif

L'oesophage



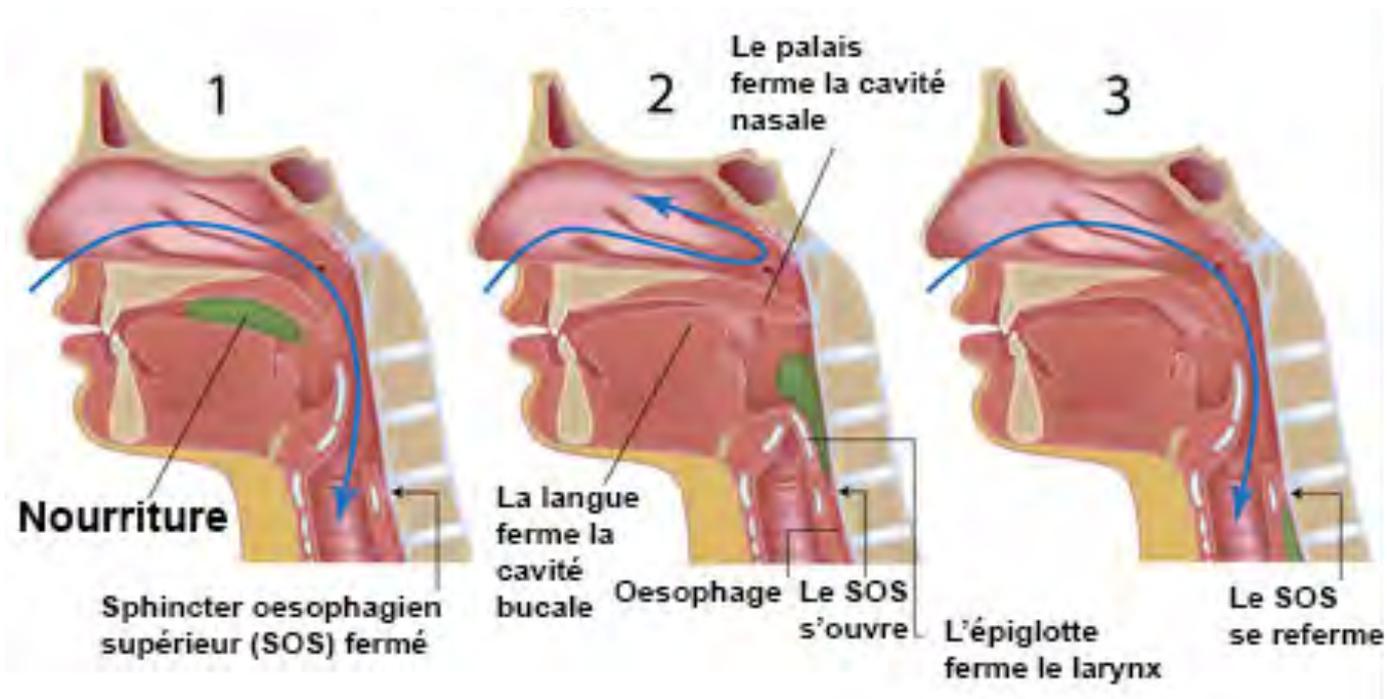
- Tube musculueux reliant la bouche à l'estomac, situé directement en arrière de la trachée, qui s'affaisse sur lui-même lorsqu'il ne propulse pas d'aliment
- Il traverse le thorax dans son ensemble pour s'aboucher par le cardia à la partie supérieure de l'estomac au travers du diaphragme (muscle principal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

+ Anatomie fonctionnelle du tube digestif

L'oesophage

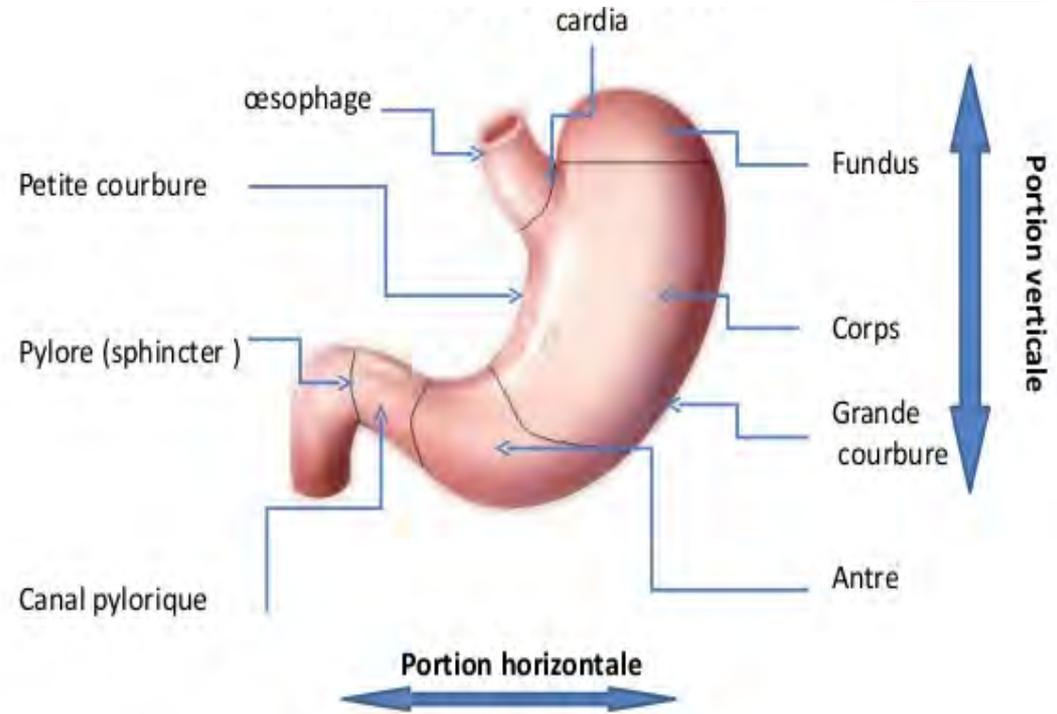


- Lors de la déglutition, le palais mou bouche le nasopharynx (ouverture anatomique entre la bouche et le nez) alors que l'épiglotte recouvre l'abouchement des voies respiratoires dans le pharynx. Le péristaltisme va propulser les aliments vers l'estomac



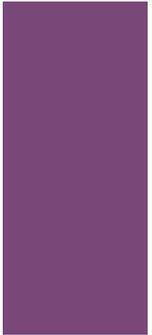
+ L'estomac

- 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.



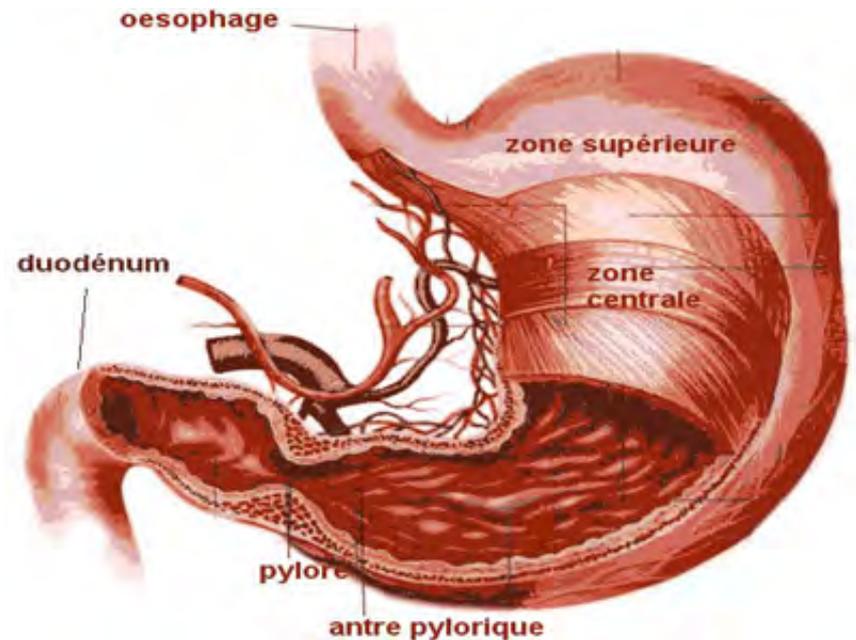


Estomac



Histologie

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





Estomac



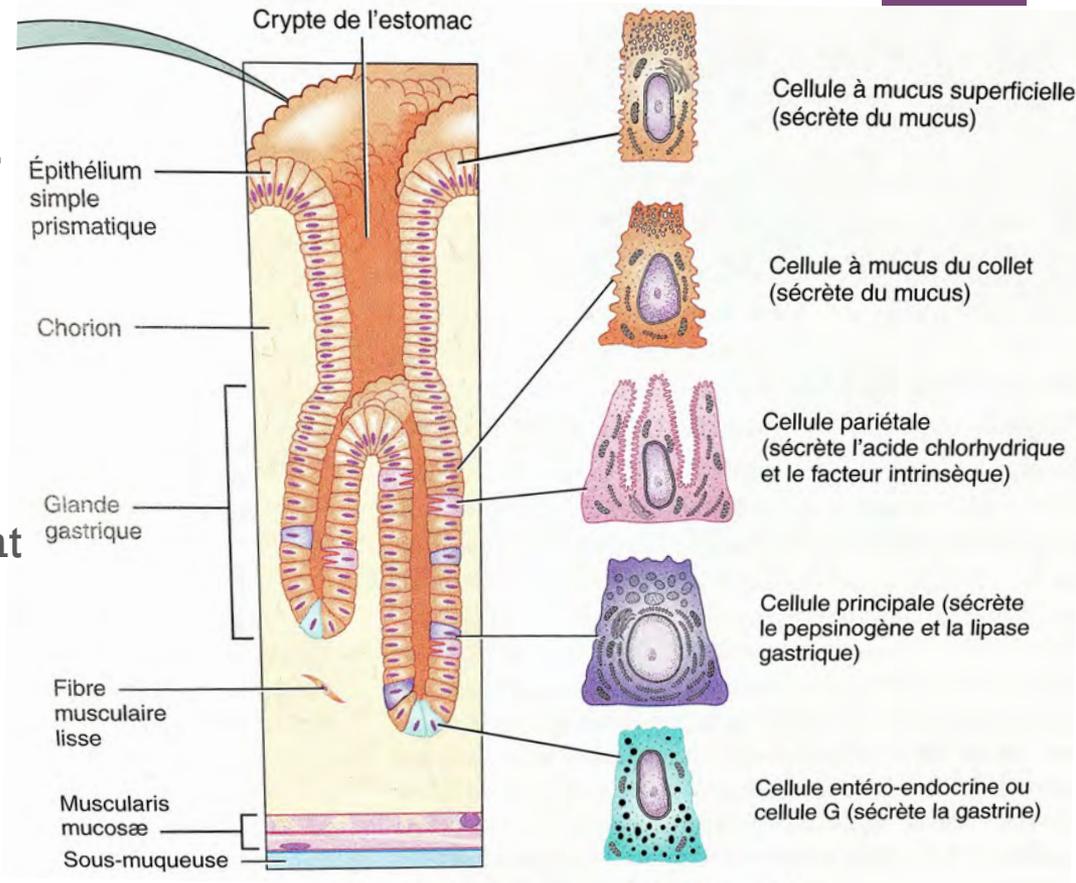
La muqueuse

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

+ Estomac

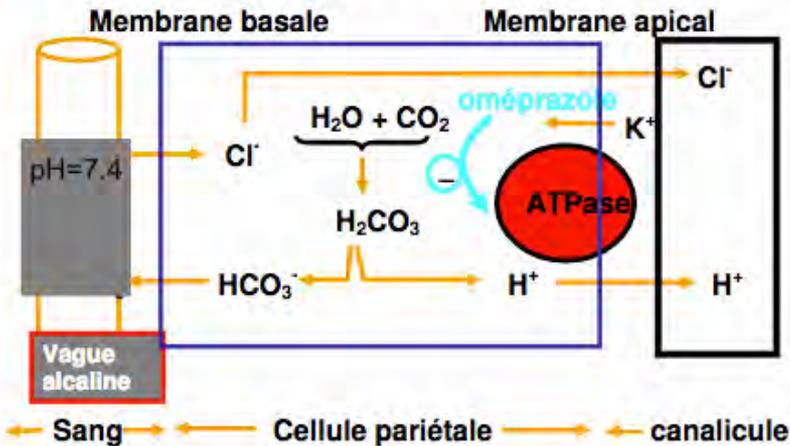
Les parois corps de l'estomac sont recouvertes de cellules sécrétrices (glandes) :

- **Cellules pariétales:** sécrètent l'acide chlorhydrique (HCL) et le facteur intrinsèque (vit. B12). 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 la gastrine (hormone).



+ Estomac

Formation du HCl par les cellules pariétales



Les ions H^+ sont produits en permanence à partir de l'acide carbonique ($H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow HCO_3^-$ et H^+) sous l'action catalytique de l'anhydrase carbonique.

Les ions H^+ intracellulaires sont échangés contre des ions K^+ au pôle apical de la cellule pariétale. Il s'agit d'un **mécanisme actif** exigeant de l'ATP et une **ATPase membranaire** (grande richesse des bordures en brosses en ATPase). L'oméprazole est un médicament inhibiteur de la pompe à proton. Il bloque de façon irréversible l'ATPase. Pour chaque H^+ excrété au pôle apical de la cellule pariétale, un **ion HCO_3^- est excrété** du côté basal vers le sang (ce qui est à l'origine de la **vague alcaline post-prandiale** c'est-à-dire de l'augmentation du pH).

HCO_3^- est échangé contre un ion Cl^- par un antitransporteur anionique. L'ion Cl^- sera excrété au pôle apical pour rejoindre les ions H^+ via un canal chlorure.



Estomac

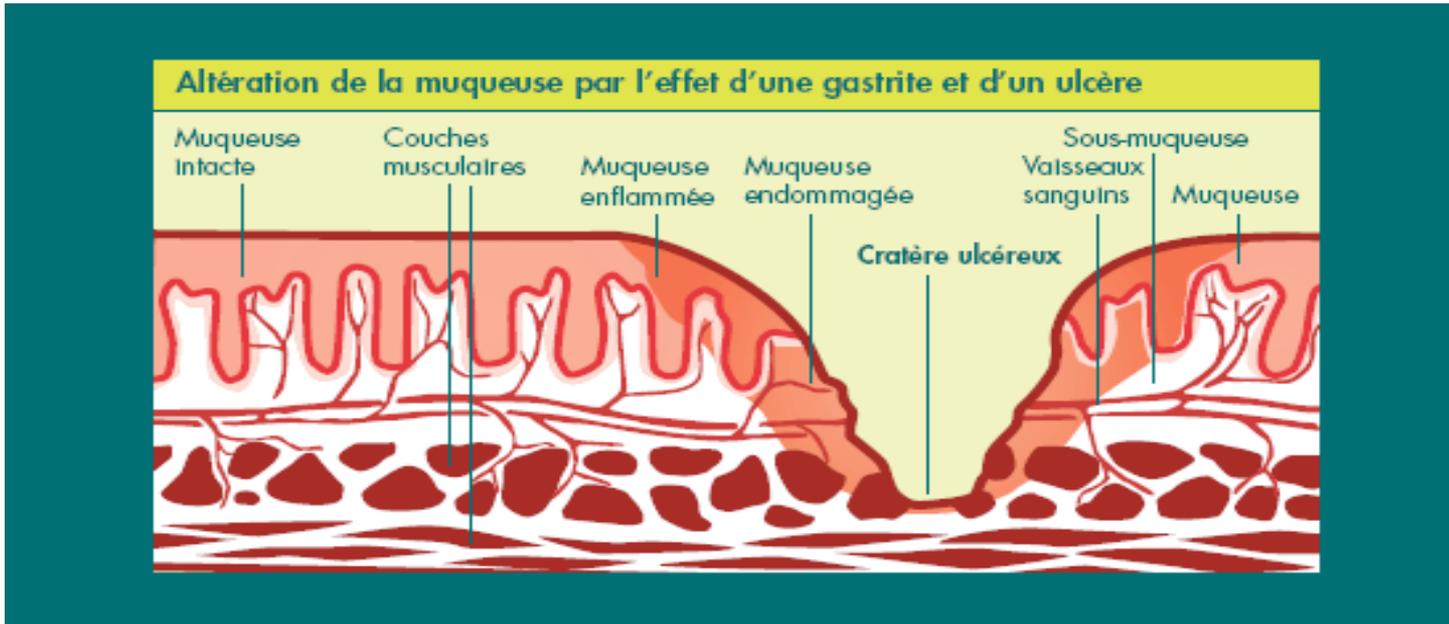


Tableau récapitulatif des cellules sécrétrices de la muqueuse gastrique :

Cellules principales	Sécrètent le pepsinogène. Sécrètent la lipase gastrique.	La pepsine, sous forme activée, brise certaines liaisons peptidiques des protéines. Fragmentation des triglycérides à chaînes courtes en acides gras et en monoglycérides.
Cellules pariétales	Sécrètent l'acide chlorhydrique. Sécrètent le facteur intrinsèque.	L'acide tue les microbes dans la nourriture, dénature les protéines et convertit le pepsinogène en pepsine. Le facteur est requis pour l'absorption de la vitamine B ₁₂ , qui est essentielle à la production normale des globules rouges (érythropoïèse).
Cellules à mucus superficielles et cellules à mucus du collet	Sécrètent du mucus.	Formation d'une barrière protectrice qui empêche la digestion de la paroi de l'estomac.
Cellules G	Sécrètent la gastrine.	La gastrine stimule les cellules pariétales qui sécrètent le HCl et les cellules principales qui sécrètent le pepsinogène; elle cause la contraction du sphincter œsophagien inférieur, augmente la motilité gastrique et provoque le relâchement du sphincter pylorique.



Ulcère et inflammation gastrique



- En cas d'hypersécrétion d'HCl, l'acidité n'est plus neutralisée et attaque les parois de l'estomac, il en résulte un ulcère
- Les saignements occultes peuvent quelquefois causer le décès de la personne

+ 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 (X) l'information aux cellules pariétales qui libèrent de l'acide chlorhydrique



FIG. 179. The reflex mechanism of salivation. The roast odour (1) stimulates the olfactory cells of the nasal mucous membrane (2); this stimulus is passed to the olfactory centre in the brain (3). The memory centre (4) determines that the odour is that of roast fowl, and orders the gland centre (5) to switch on a salivary gland. The order is transmitted to the switchboard (6), where the required salivary gland—sublingual—out of several (7 and 8), is promptly turned on.

+ Régulation de la sécrétion gastrique

Phase gastrique – les barorécepteurs

- L'étirement de l'estomac par l'arrivée du bol provoque une activation des barorécepteurs sensible à la pression
- Il s'ensuit une suite de réflexes locaux et longs toujours par l'intermédiaire du nerf vague (X), qui vont renseigner l'hypothalamus et le bulbe de l'arrivée du bol alimentaire et déclencher ainsi une libération accrue des sucs gastriques

+ Régulation de la sécrétion gastrique



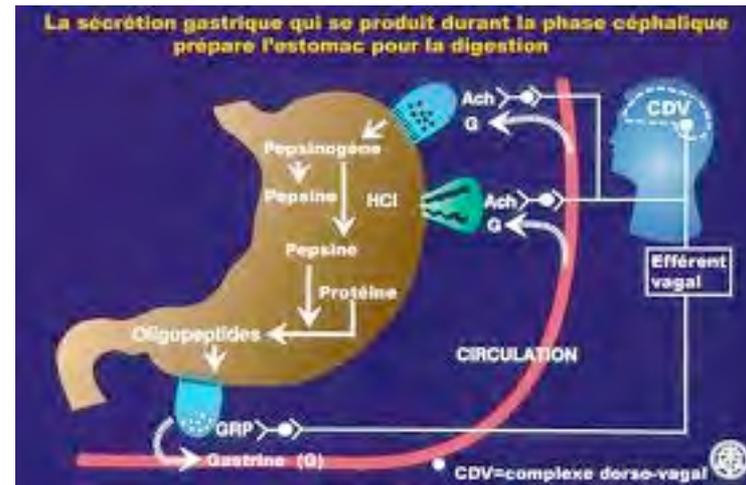
Phase gastrique – les chimiorécepteurs

- Lorsque les aliments arrivent dans l'estomac, le pH augmente et devient ainsi plus basique
- Ce qui a pour conséquence d'activer les chémorécepteurs sensibles aux variations du pH
- Les chémorécepteurs 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 conséquent d'HCL

+ Régulation de la sécrétion gastrique

Phase gastrique – les chimiorécepteurs

- 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 chémorécepteurs
- 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 :
- 1°) l'**acétylcholine** (ACh) principal neurotransmetteur du système parasympathique
- 2°) la **gastrine** sécrétée par les cellules endocrines de l'estomac
- 3°) l'**histamine**, contenue dans les mastocytes et certaines cellules de l'estomac



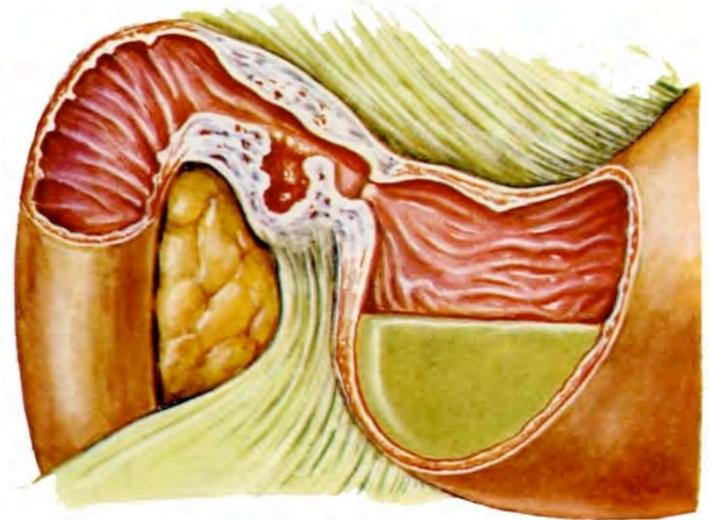
+ Régulation de la sécrétion gastrique

Phase gastrique

- 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 (asthénie post prandiale) 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

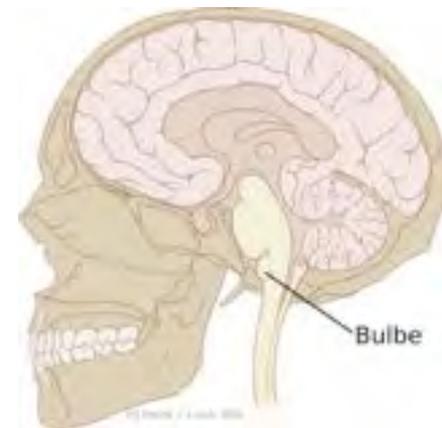
- Le remplissage de l'intestin grêle (duodénum) joue un rôle important dans la vidange gastrique. Les parois duodénales contiennent aussi des baro et des chémocepteurs.
- La muqueuse de l'intestin grêle ne sécrète pas de mucus comme l'estomac le fait pour se protéger efficacement contre l'acidité des sucs gastriques. Lorsque le pH à l'intérieur du duodénum diminue, deux hormones sont libérées la sécrétine qui diminue la sécrétion gastrique et la CCK qui ralentit la vidange gastrique et protège ainsi la muqueuse gastrique.





Le réflexe entéro-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 sécrétine (diminution de la sécrétion gastrique) et CCK (cholécystokinine qui inhibe l'évacuation gastrique) va être stimulée par les mêmes voies, préparant l'intestin pour sa phase d'absorption en fonction de la nature du chyme.



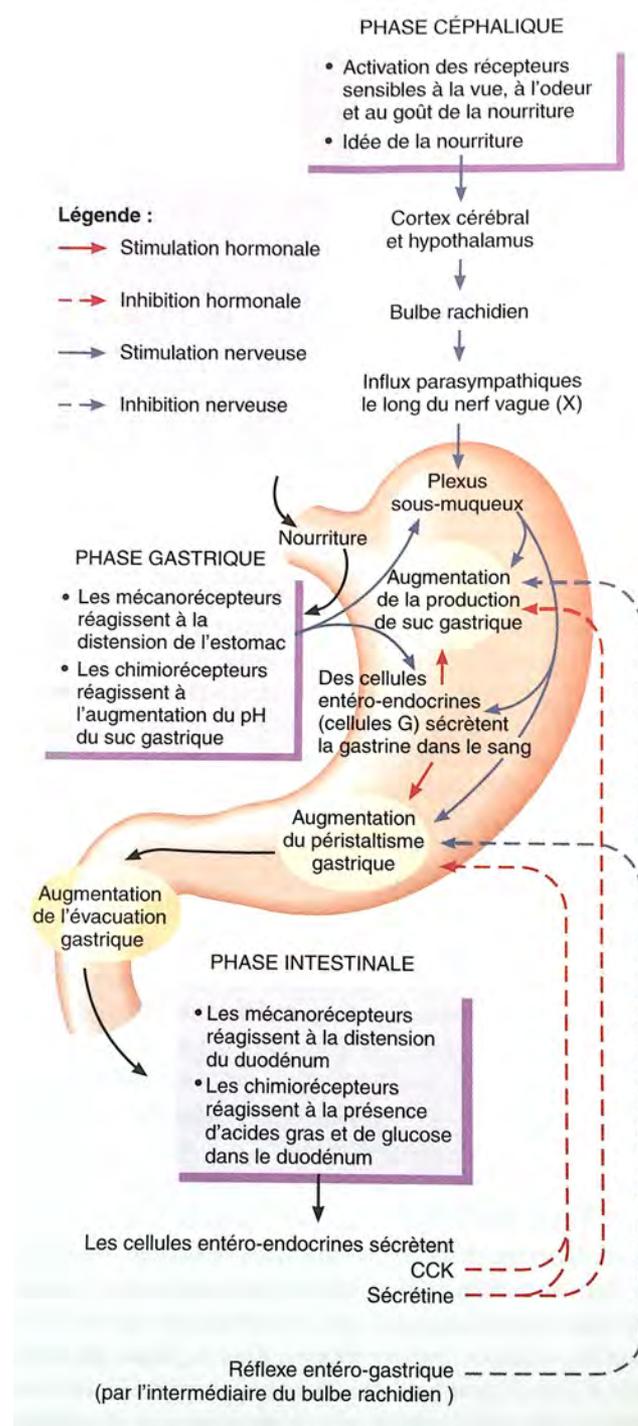


Hormones du système digestif

- **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 et de bile dans la teneur en ions bicarbonate (HCO_3^-).
- **Cholécystokinine (CCK)**: elle travaille de pair avec la sécrétine et stimule la sécrétion d'enzymes pancréatiques ainsi que 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 HC gastrique)



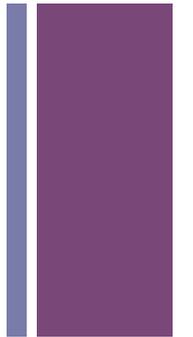
Schéma des influences du SNC sur le système digestif





Hormones du système digestif

- 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.





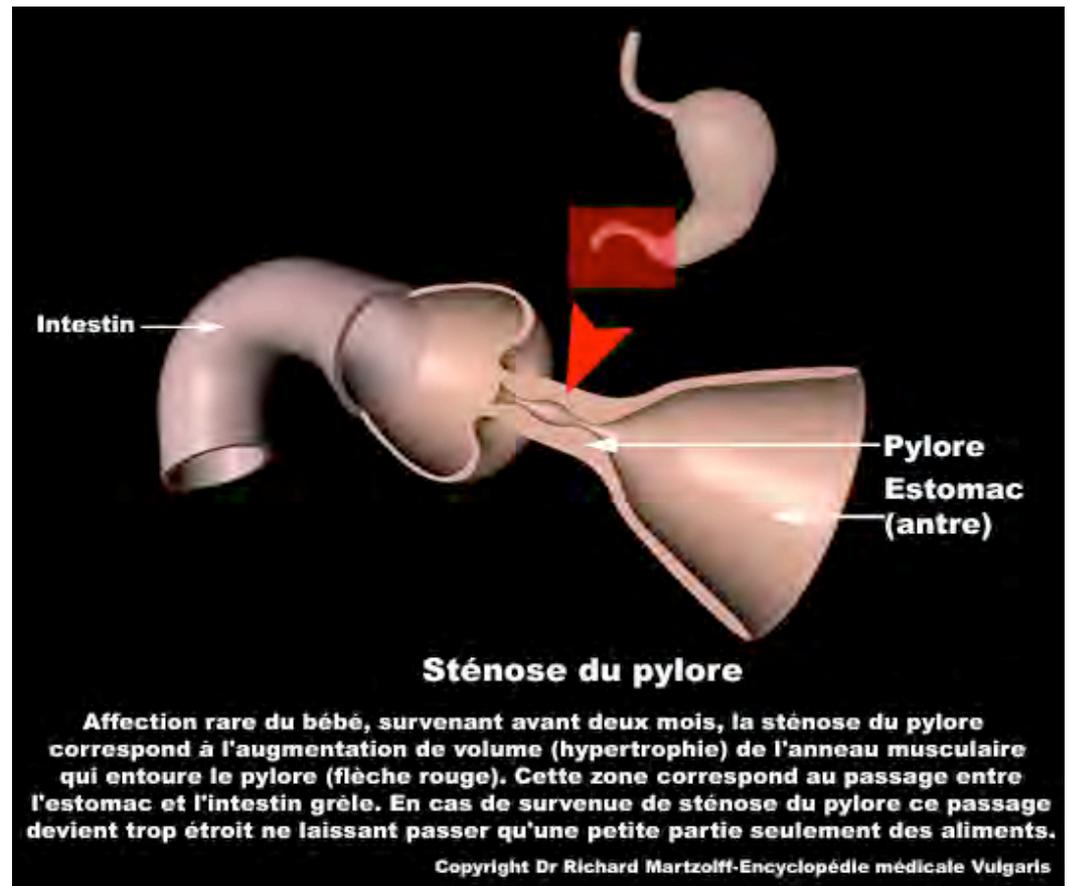
Mobilité et évacuation gastrique

- 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.
- À 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.



Mobilité et évacuation gastrique

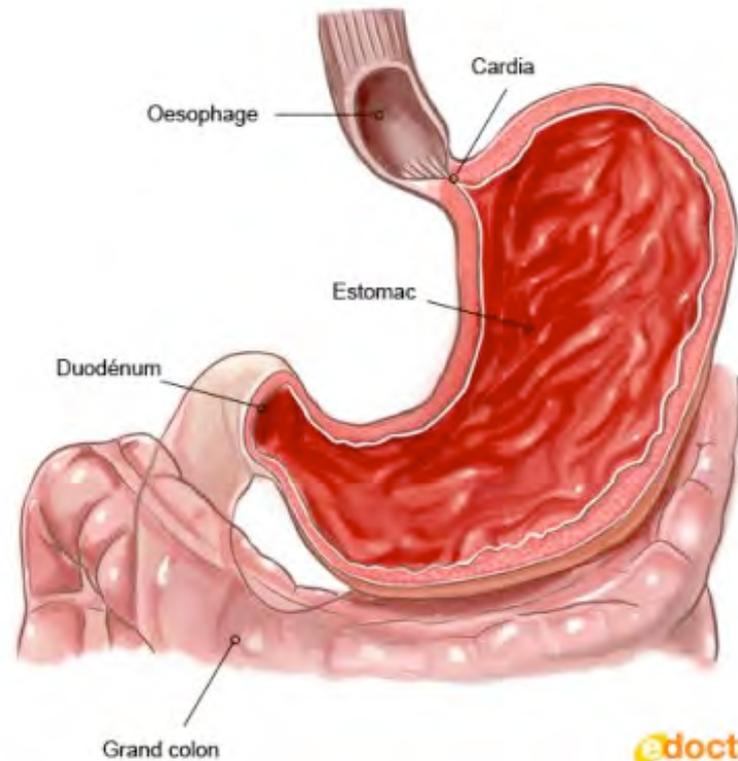
- Les cellules pacemakers contenues dans les parois gastriques donnent le départ de l'onde péristaltique. L'influx nerveux se propage dans les plexus nerveux contractant la musculature lisse au rythme de 3 contractions par minute
- La vidange totale de l'estomac s'effectue en moins de 4 heures.





Mobilité et évacuation gastrique

- 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.





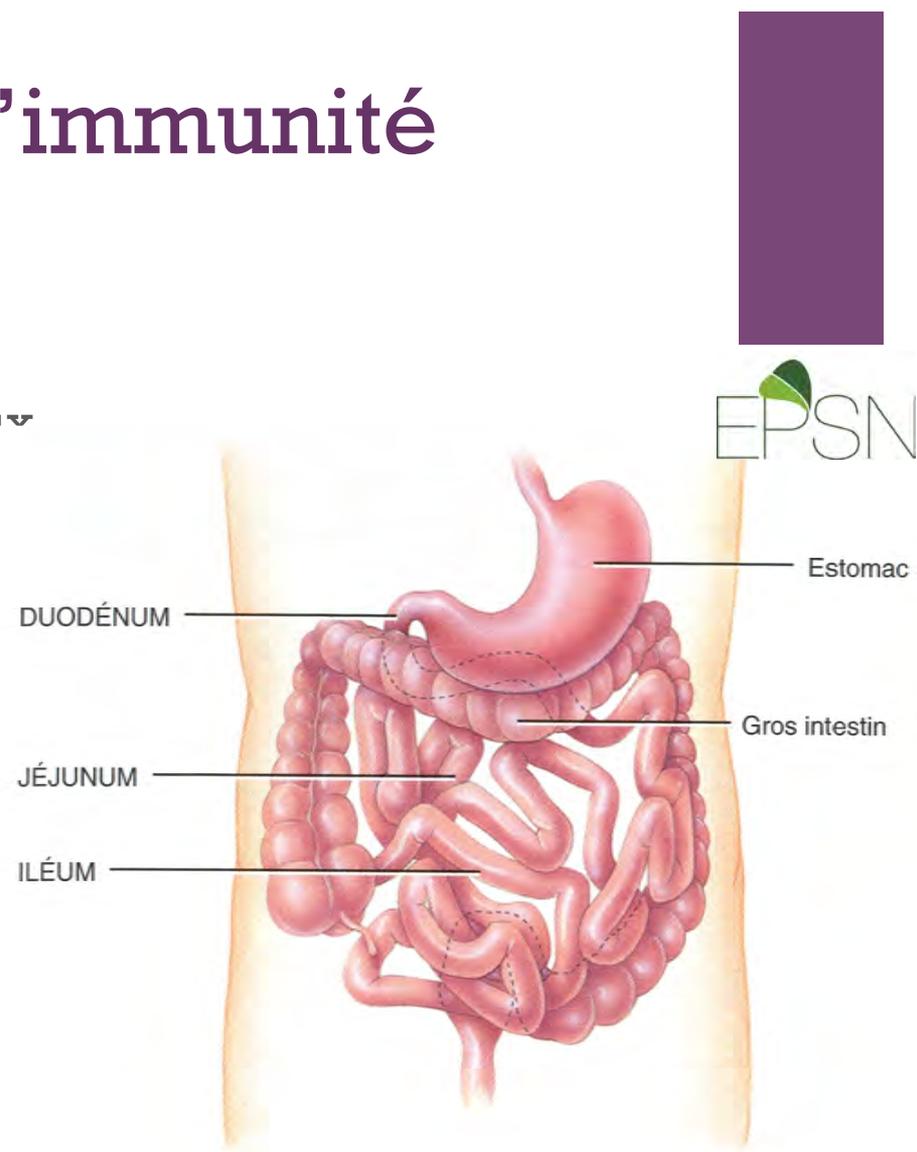
Mobilité et évacuation gastrique

- Grâce à la segmentation, mélange le chyme avec les sucs digestifs et favorise le contact de la nourriture avec la muqueuse pour permettre son absorption ; le péristaltisme propulse le chyme dans l'intestin grêle.
- Achève la digestion des glucides, des protéines et des lipides ; accomplit toute la digestion des acides nucléiques.
- Absorbe environ 90% des nutriments



L'intestin siège de l'immunité

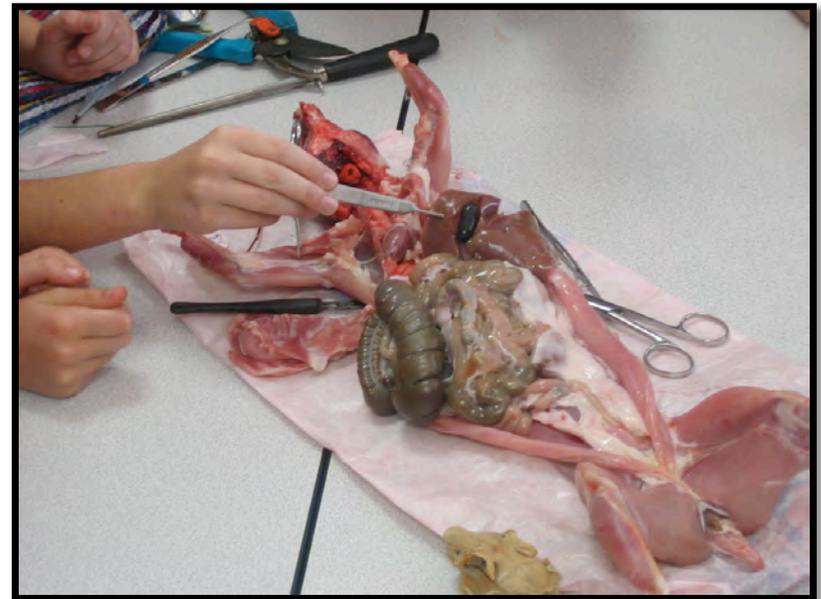
- 100 millions de neurones qui sécrètent au moins 20 neurotransmetteurs identiques à ceux produits par le cerveau (sérotonine, noradrénaline, dopamine, etc.)
- Produit 70 à 85 % des cellules immunitaires de l'organisme
- Héberge 100 000 milliards de bactéries réparties en plus de 400 espèces différentes !
- Chaque individu possède sa propre signature bactérienne (entérotype)





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
- 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 l'assimilation.





L'intestin grêle

Différences histologiques

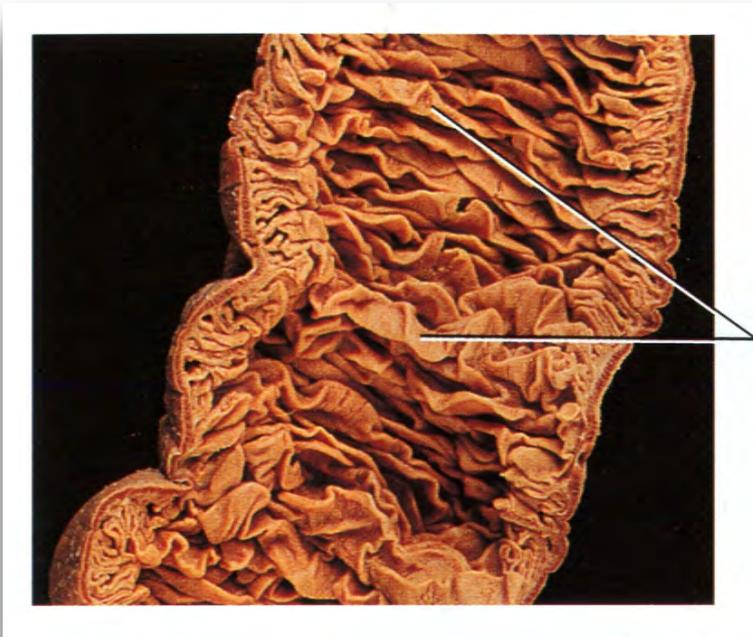


- L'intestin grêle doit augmenter sa surface d'échange afin de pouvoir capter tous les nutriments essentiels au maintien de l'homéostasie
- Il mesure 6 à 7 mètres sur cadavre et tout juste 2 in vivo. Sa surface d'échange est pourtant de 200 m².



+ Intestin grêle et sa surface d'échange

6 mètres de longueur avec une surface de développement des villosités intestinales = 260 m²





Le microbiote intestinal et son rôle dans la santé



À 2 jours de vie le tube digestif de l'enfant n'est plus stérile, c'est le lait maternel qui va coloniser les Bifidobactéries et les Lactobacilles indispensables au développement d'une flore symbiotique.

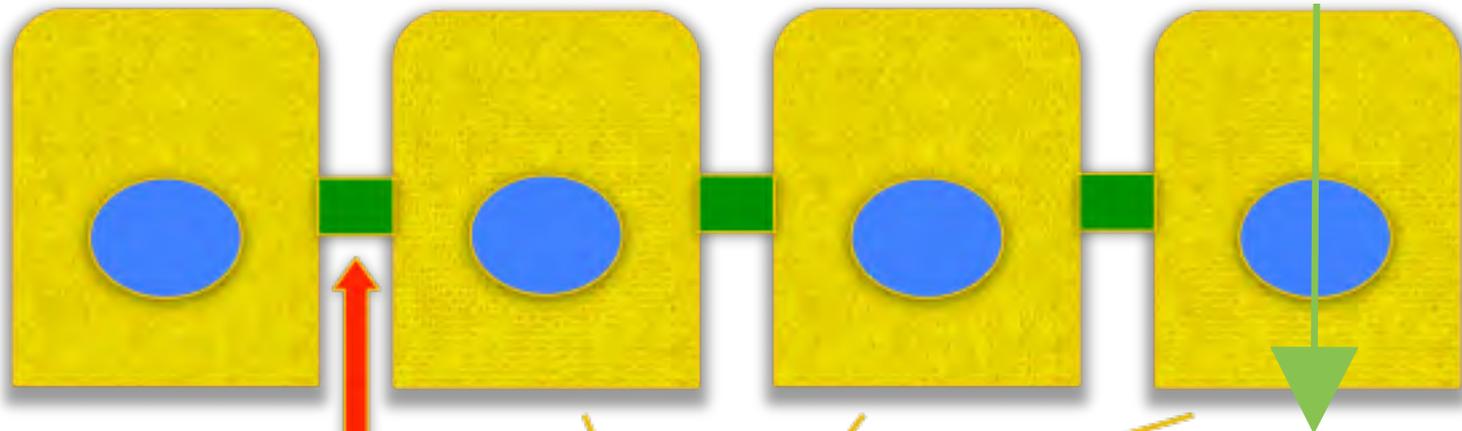
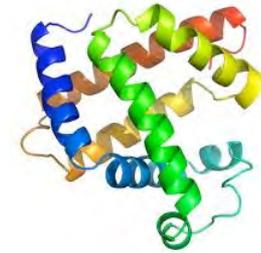
C'est la variété alimentaire qui va créer une diversification de la flore intestinale.

IMPORTANT : l'allaitement maternel riche en Anti-Corps, protège de l'allergie et de l'intolérance alimentaire, de l'asthme et des problèmes dermatologiques.

Le Système immunitaire a une mission à la fois de défense et de tolérance, ce qui est un véritable challenge.

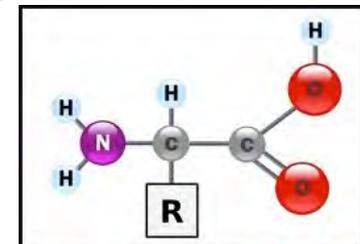
+ La muqueuse du grêle

Protéines
Caséine, gluten,
etc.



Jonctions serrées
constituées d'acides
gras à longues chaînes
Oméga 3 et de Zinc

Entérocytes



Acides aminés

+ L'intestin grêle

Histologie - 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



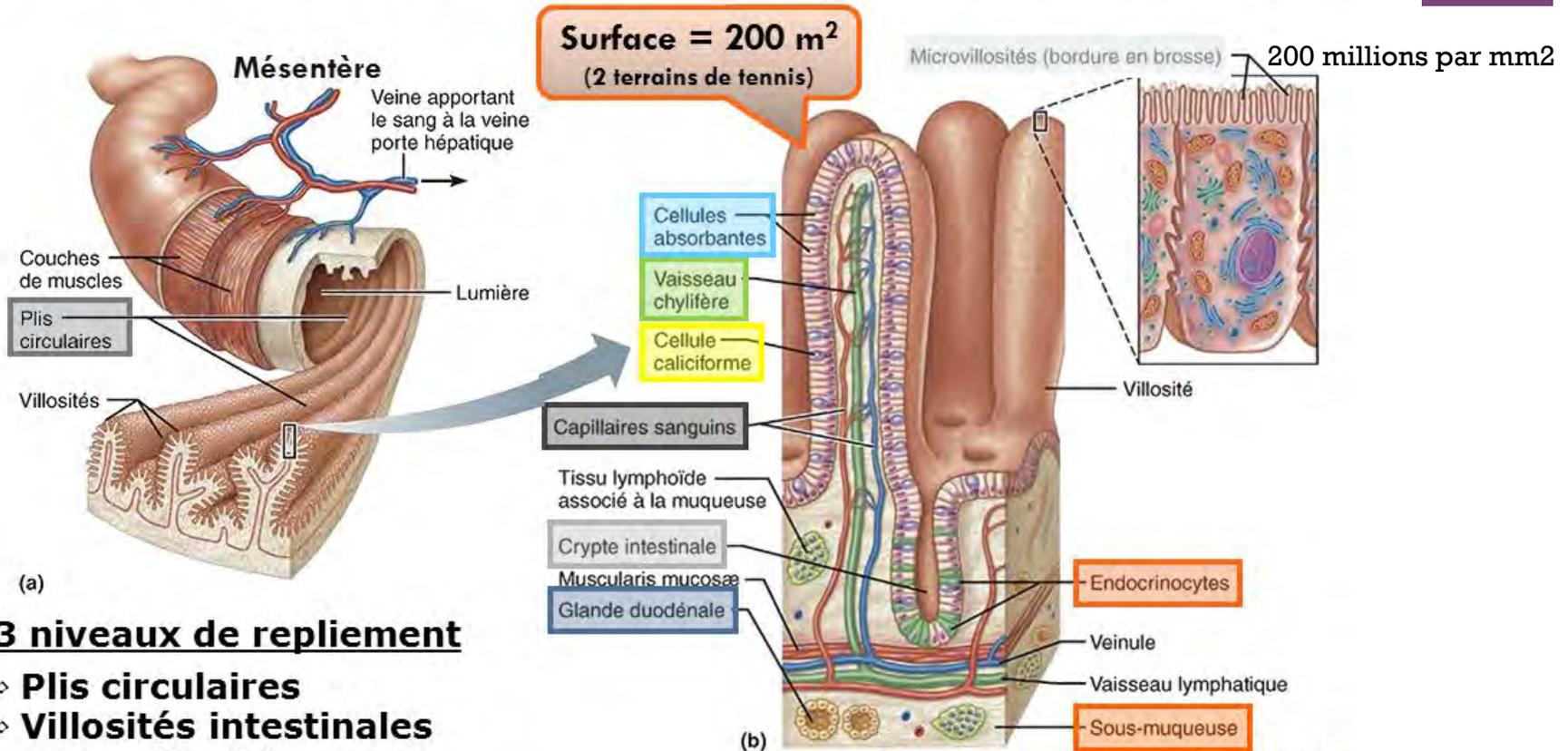
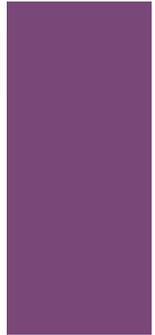
L'intestin grêle

Particularités histologique

- 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 (caliciforme), des substances antibactériennes (séreuses), des hormones (endocrines), les sucs digestifs (micro villosités)



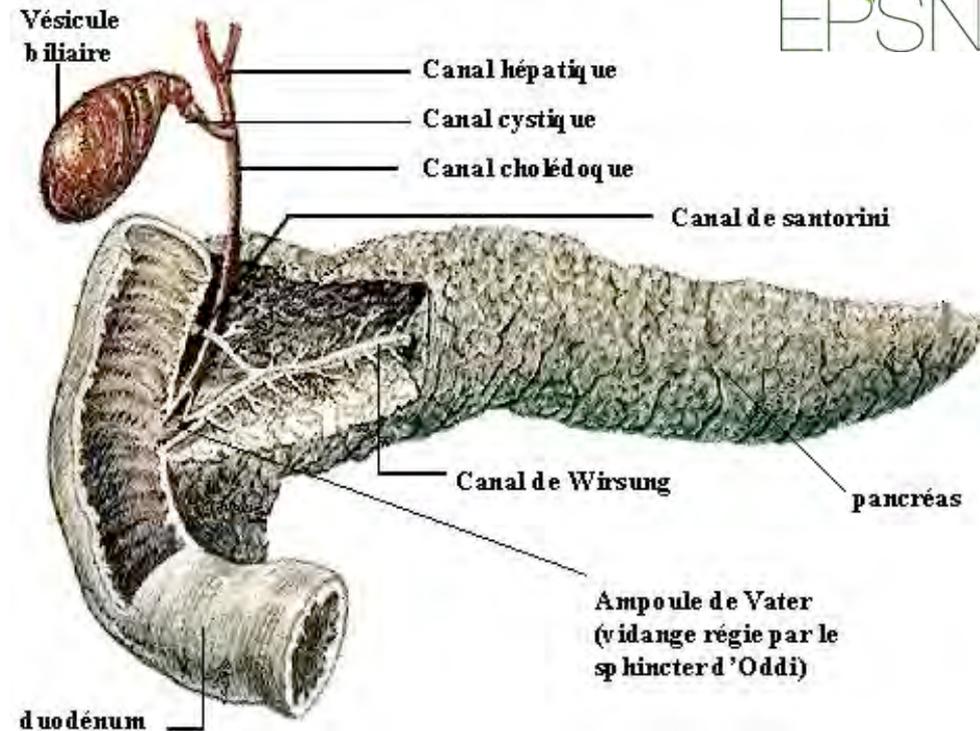
Anatomie et histologie du grêle



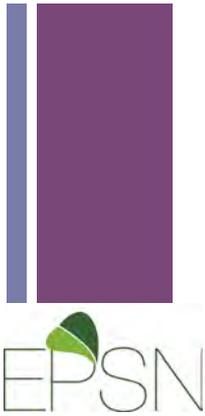


Processus digestif dans l'intestin grêle

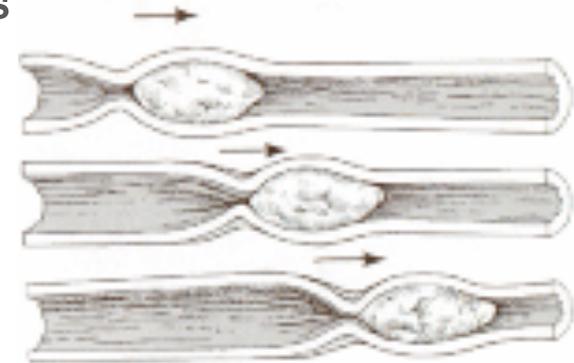
- Mises à part les quelques enzymes de la bordure de la brosse (micro villosités) aucune enzyme ne provient de l'intestin grêle
- Elles se trouvent toutes dans les sucs pancréatiques et les sels biliaires (cf : foie et vésicule biliaire, pancréas)
- Le chyme arrive en petite quantité afin de permettre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



+ Processus digestif dans l'intestin grêle



- 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.
- Complexe de motilité migrante (CMM) ondes de contractions et de relâchements des fibres musculaires lisses longitudinales et circulaires qui se propagent sur toute la longueur de l'intestin grêle et fait avancer le chyle vers la valve iléo-caecale.

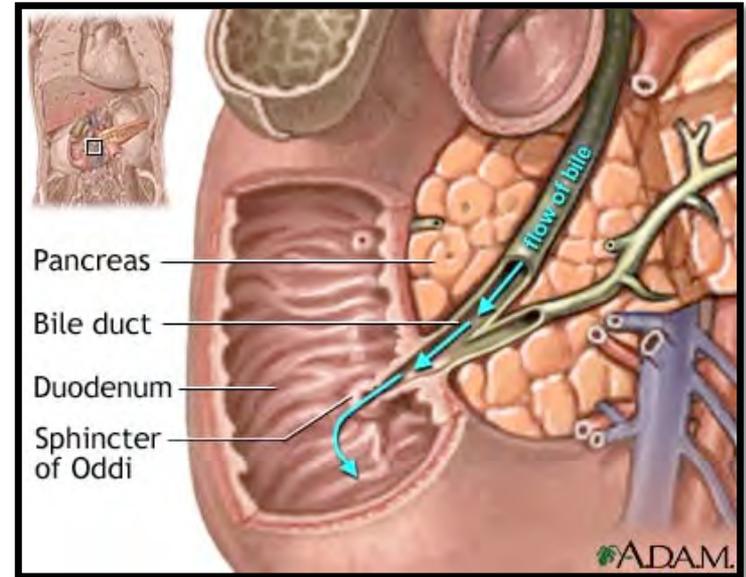






Processus digestif dans l'intestin grêle

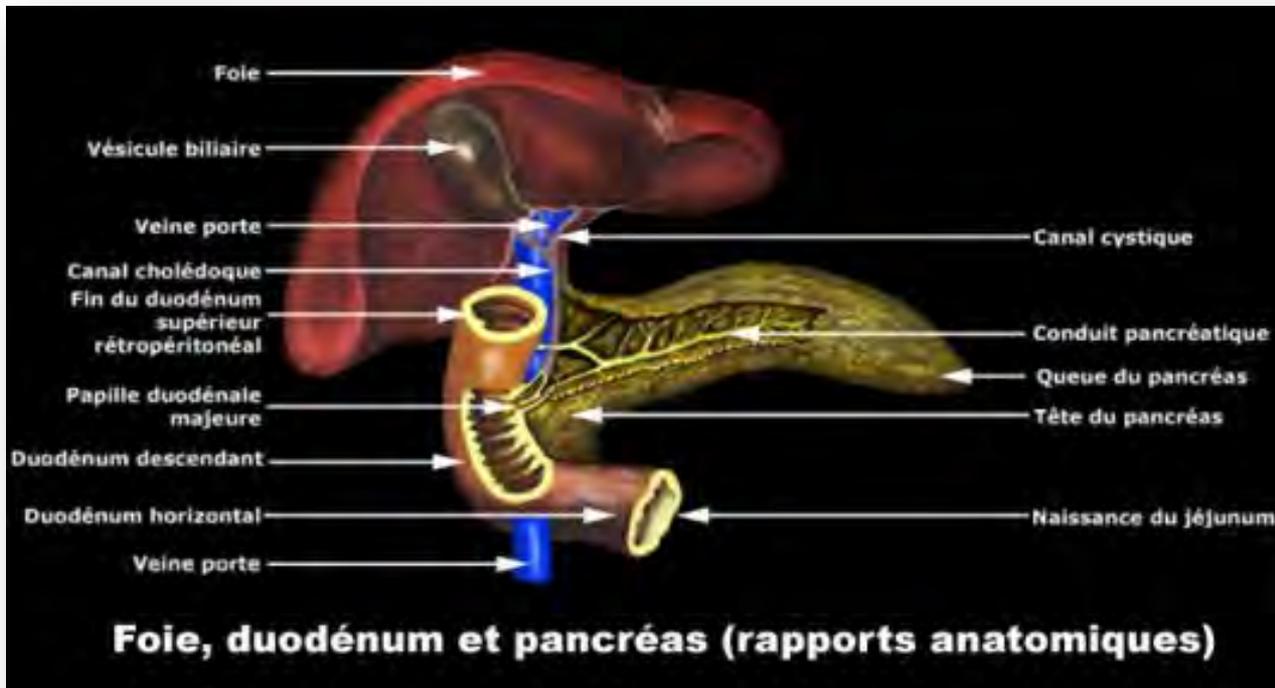
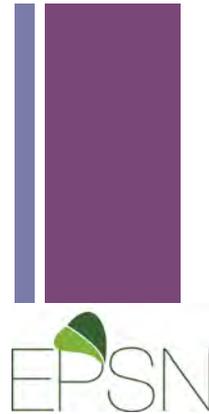
- Lorsque le chyme passe devant **sphincter d'Oddi** et se mélange aux sucs pancréatiques et aux sels biliaires, il devient **chyle**.
D'apparence laiteuse, le chyle est composé par les sucs digestifs qui sont absorbés au niveau de **l'iléon et du jéjunum**. Ce liquide spécifique contient également de la **lymphe** et des **graisses** telles que le **cholestérol** et les **triglycérides**
- La **gastrine** sécrétée en masse va permettre **l'ouverture de la valvule iléo-cæcale** et permettre le passage du chyle dans le gros intestin





Anatomie de la vésicule biliaire

- Anatomie du foie, pancréas et du duodénum. Les canaux pancréatique et cystique s'abouchent dans le duodénum au niveau du sphincter d'Oddi pour y déverser leurs sucs indispensables pour la digestion.



+ 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'abouchent dans le deuxième duodénum au niveau du sphincter d'Oddi
- 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-hépatique**

+ Les fonctions du foie

- **Synthèse des protéines plasmiques** à partir d'acides aminés via le RE (Reticulum Endoplasmique) rugueux
- **Régulation de la glycémie** (stockage du glucose sous forme de **glycogène**, mise en circulation du glucose par **glycogénolyse** et fabrication de glucose à partir de différents acides aminés par **néoglucogenèse**)
- **Transformation des lipides**, résidus de chylomicrons, de LDL et de HDL en provenance du sang en acide gras et en cholestérol. Les AG via le RE lisse vont se transformer en triglycérides. Les triglycérides vont s'assembler au cholestérol pour devenir des VLDL qui seront libérées dans la circulation sanguine
- **Synthèse de l'urée** produit issue de la dégradation des acides aminés. L'ammoniac de l'urée est toxique et sera éliminée dans les urines



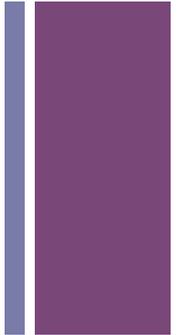
Les fonctions du foie (suite)

- **Conjugaison de la bilirubine libre** produit de dégradation de l'hémoglobine **en bilirubine conjuguée** hydrosoluble qui sera conduite dans l'intestin via les canicules biliaires. On obtient finalement dans le gros intestin de la **stercobiline** qui sera éliminée avec les selles qui leur donnera leur couleur brune
- **Detoxification** des médicaments des drogues et des hormones
- **Synthèse de la bile**
- **Stockage** du glycogène et des vitamines A, B₁₂, D, E, K
- **Phagocytose** (par macrophages)
- **Activation de la vitamine D**



La détoxification hépatique

- Toxines endogènes produites par l'organisme
 - Déchets issus de l'activité métabolique cellulaire
 - Effets biologiques des vaccinations
- Toxines exogènes
 - Activité métabolique de la flore intestinale de putréfaction
 - Biotoxines microbiennes
- Les xénobiotiques (étranger au vivant)
 - Molécule chimique très polluante comme les pesticides, les médicaments, etc.
 - Alimentaires : sucre raffiné, thé, café, alcool, tabac, acides gras trans, additifs alimentaires (colorants, conservateurs, exhausteur de goût, édulcorants, etc.)

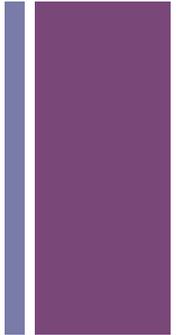




La détoxification hépatique

Comment votre foie élimine-t-il les xénobiotiques ?

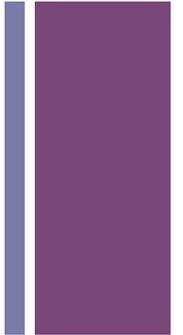
- Pour assurer l'élimination des xénobiotiques, le foie intervient en plusieurs étapes pour **transformer la substance initialement toxique** en un **dérivé soluble**, qui sera éliminé par les urines ou les matières fécales. Le foie va éliminer ces substances à travers **plusieurs étapes complexes**, dont le bon fonctionnement dépend du **niveau d'exposition aux xénobiotiques** mais également de la **prédisposition génétique** et du **statut nutritionnel**





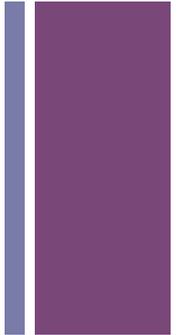
La détoxification hépatique (suite)

- La détoxification est **principalement effectuée par les hépatocytes** et dans une moindre mesure par les entérocytes
- **La plupart des molécules toxiques sont liposolubles** et sont stockées dans les adipocytes du tissu adipeux. Elles peuvent être transportée sous cette forme par le sang, mais ne peuvent être éliminées par les reins
- Le but de la détoxification est de **solubiliser ces toxines** afin d'éliminer leur toxicité pour pouvoir ensuite les éliminer
- Cette activité consomme beaucoup d'énergie. 80% de l'ATP produit par l'organisme lui sera utile



+ Les 3 phases de détoxification hépatique

- PHASE I : ACTIVATION / OXYDATION
- PHASE II : CONJUGAISON
- PHASE III : TRANSPORT / ELIMINATION



+ PHASE I Activation - Oxydation

- Les toxines liposolubles sont métabolisées par un groupe d'enzymes portant le nom de « CYTOCHROME P450 ».
- Le Cytochrome P450 provoque une suite de réactions biochimiques identiques pour chaque xénobiotique:
 - Oxydation (don d'électron)
 - Réduction (captation d'un électron)
 - Hydrolyse (intervention de H_2O pour scinder la molécule)
 - Hydratation (ajout d'une molécule de H_2O)
 - Déshalogénisation (ablation d'un halogène F, Cl, Br, I)
- Ces réactions entraînent la formation de SUPEROXYDES générateurs de radicaux libres

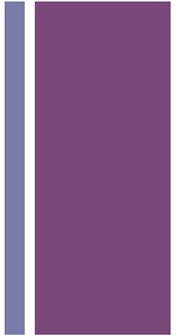
N.B. : P450 correspond au pic d'absorbance spectrométrique à la longueur d'onde de 450 nm



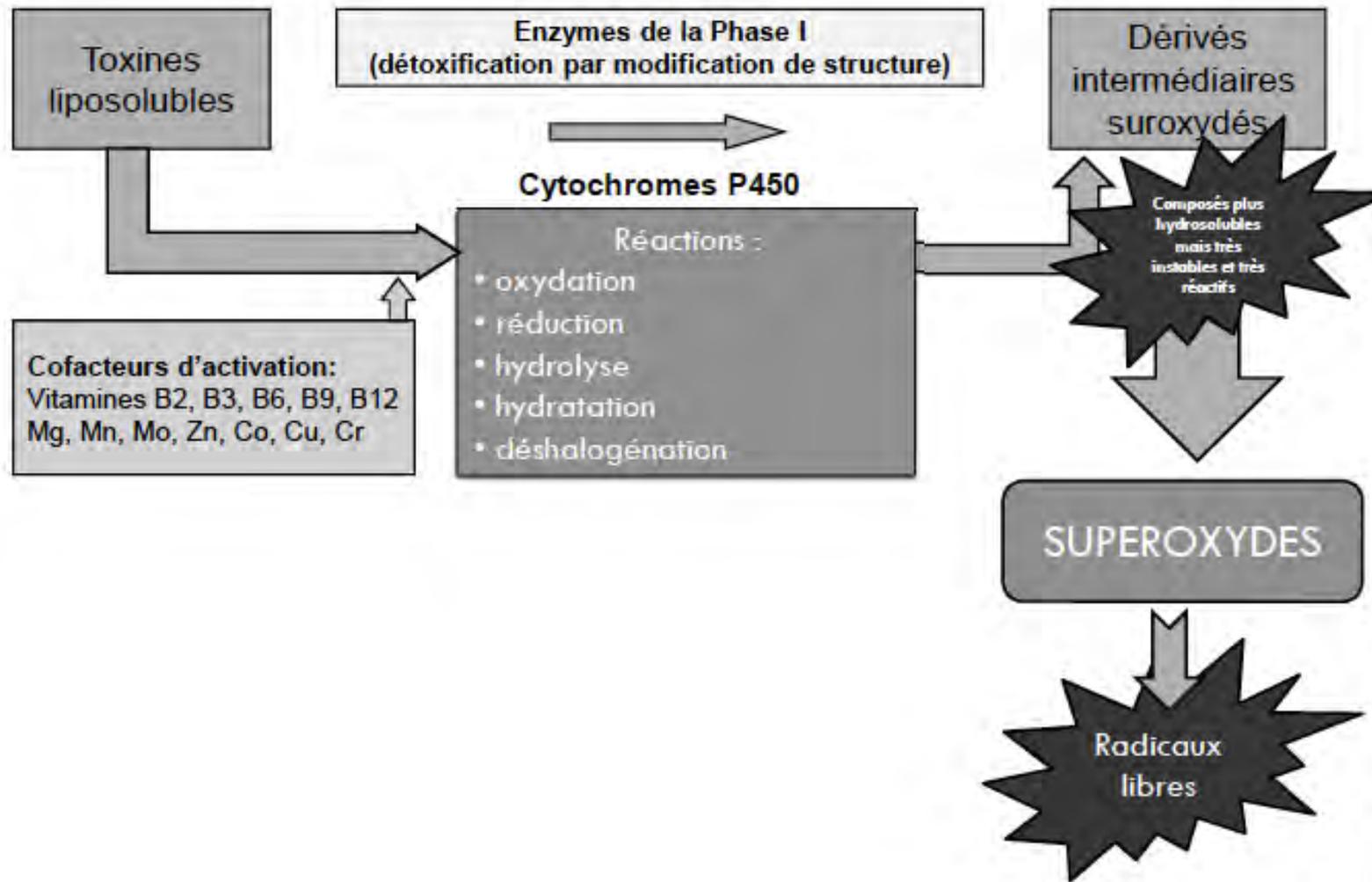
+ PHASE I Activation - Oxydation

Co-facteurs d'activation du cytochrome P450

- Vitamines B2, B3, B6, B9, B12
- Oligoéléments: Mn, Mg, Zn, Mo, Co, Cu, Cr, F
- Précurseurs de l'ATP (NADH, NADHP) transporteurs d'électrons dans les réactions d'oxydoréduction

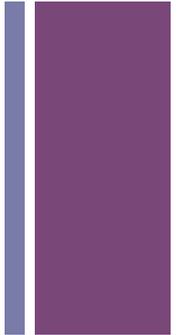


+ PHASE I Activation - Oxydation

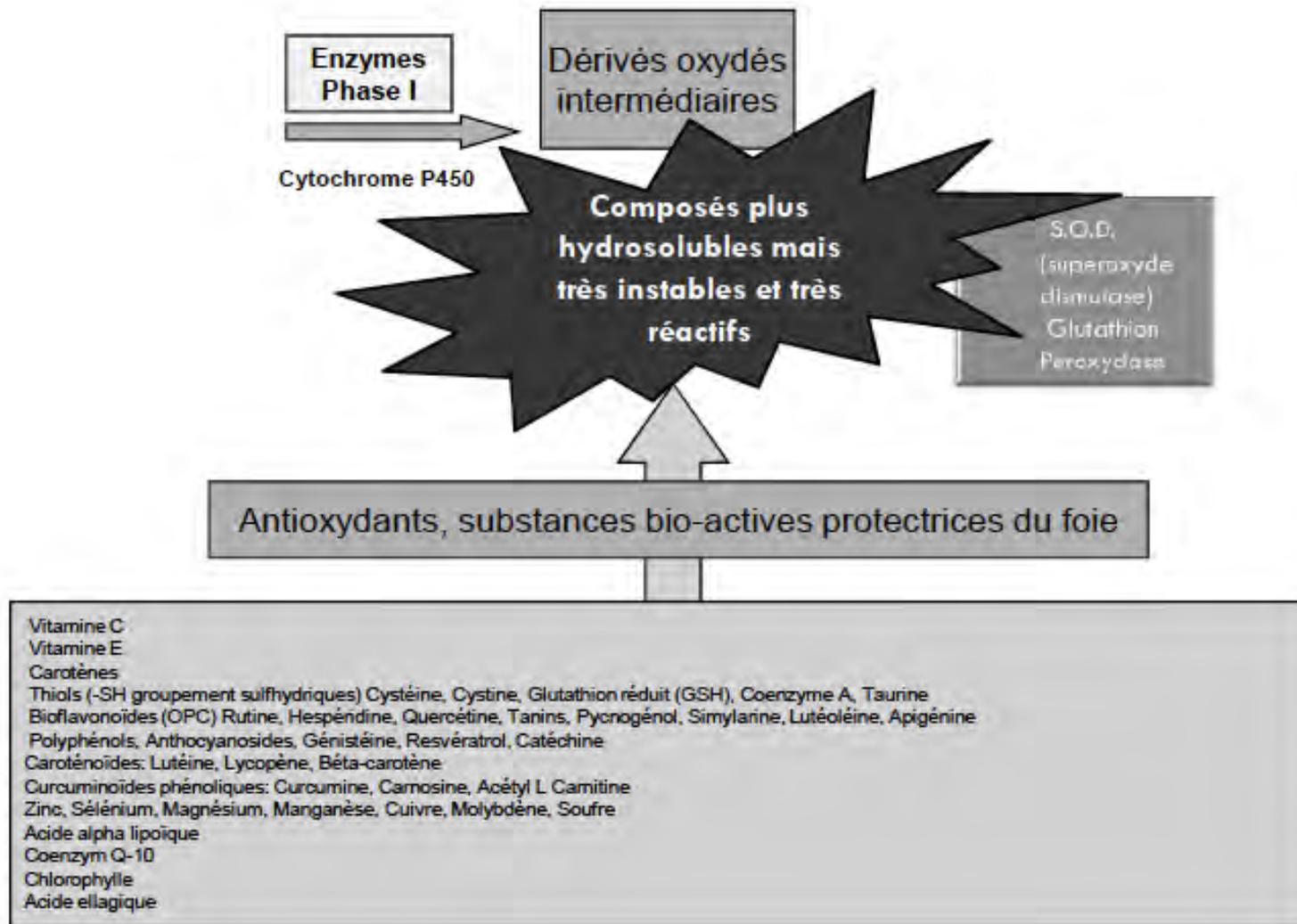


+ PHASE I Activation - Oxydation

- Les métabolites intermédiaires transformés par l'activité du groupe enzymatique P450 sont hautement réactifs
- En effet la réduction produit des **Superoxydes** qui génèrent des RL (radicaux libres) ce qui induit une augmentation du stress oxydatif avec à la clé une alteration possible de l'ARN et l'ADN cellulaire
- Les composés suroxydés doivent donc être neutralisée par des AO (anti-oxydants) spécifiques qui sont sous la dépendance d'enzymes particulières:
 - **S.O.D. (Superoxyde Dismutase) à Cu-Zn**
 - **GPx (Glutathion Peroxydase) à Se**
- La présence d'oligo-éléments et d'antioxydants d'origine alimentaire sont donc indispensables



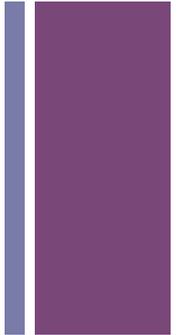
+ PHASE I Activation - Oxydation





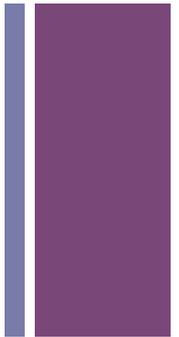
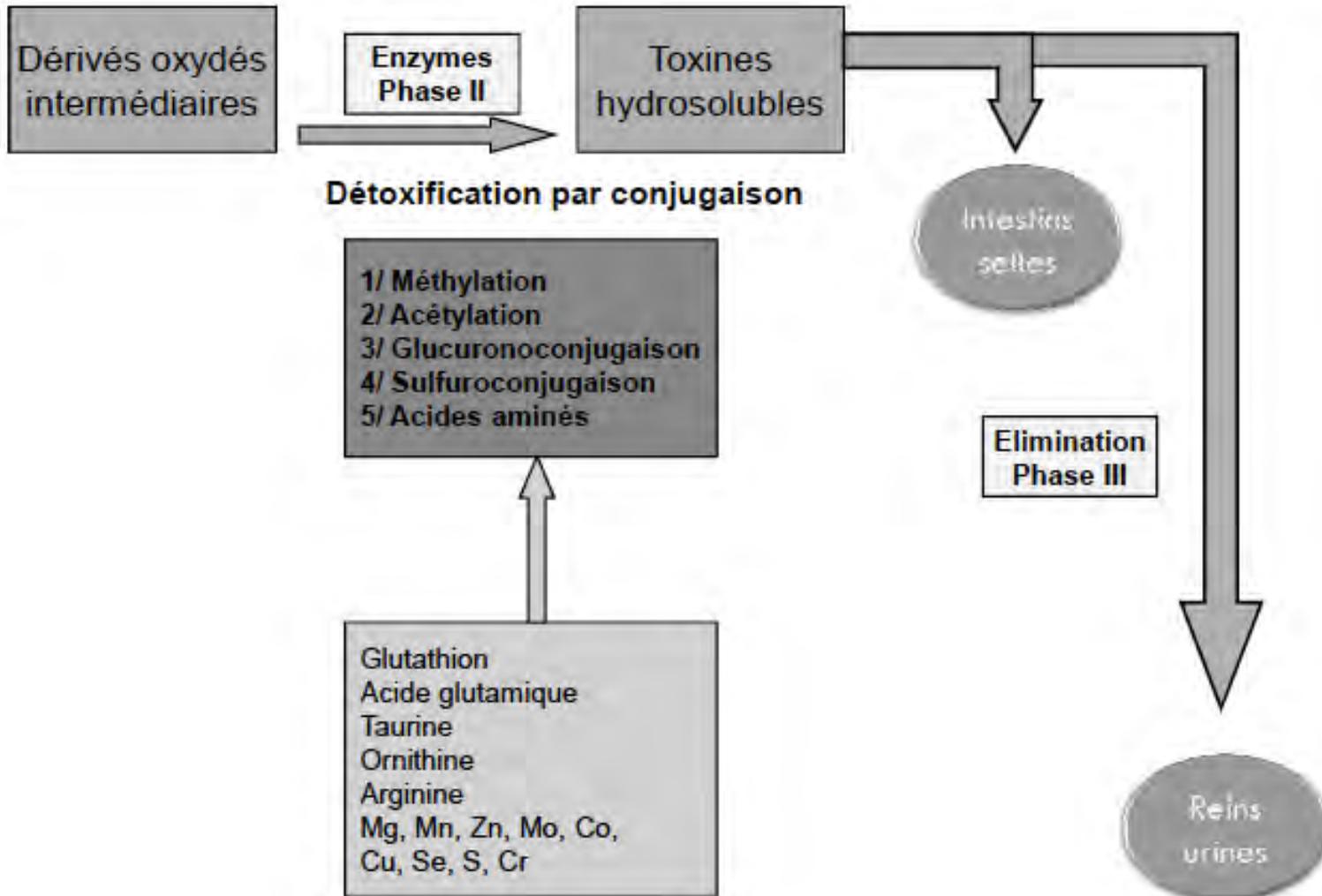
PHASE II Conjugaison

- Cette phase va produire une molécule non-toxique, hydrosoluble, transportable et éliminable
- Cinq modes de transformation :
 1. **Méthylation:** adjonction d'un groupe méthyle avec présence de co-facteurs vit. B6, B9, B12
 2. **Glucurono-conjugaison:** par l'addition d'acide glucuronique => solubilisation xénobiotique => urines (bilirubine libre)
 3. **Détox par les acides aminés:** ornithine, arginine, glutamine, glycine, taurine
 4. **Sulfuro-conjugaison:** par le glutathion (soufré)
 5. **Acétylation:** adjonction d'un groupe acétyle avec présence de co-facteurs vit. B2, B5 et C





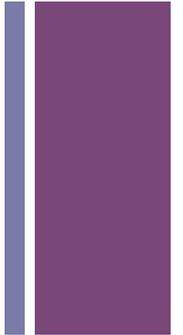
PHASE II Conjugaison





PHASE II Conjugaison

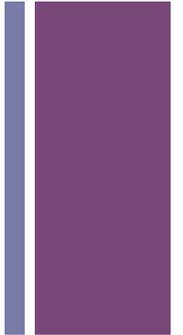
- La détoxification préférentielle des ptomaines issues des putréfactions intestinales sont effectuées par:
 - SULFURO-CONJUGAISON
 - GLUCURONO-CONJUGAISON
- Nécessitent la présence de glutathion
 - les crucifères: choux ce Bruxelles, chou pommé, chou-fleur et brocoli
 - l'acide glucuronique (E574)
 - pectine végétal (fruits)





PHASE III Elimination

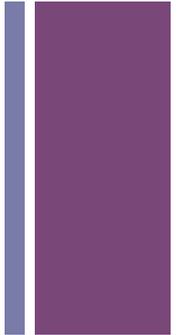
- La phase III d'élimination par les hépatocytes transporte les métabolites conjugués solubles vers les reins, ou vers la bile et les voie digestives
- Le premier contact de l'organisme avec la plupart des xénobiotiques est le système gastro-intestinal
- L'intestin est un lieu dans lequel se produit la plus important confrontation avec les xénobiotiques et les AG
- Une pompe transmembranaire appelée P-protéine extrait immédiatement les xénobiotiques à l'extérieur de l'entérocyte





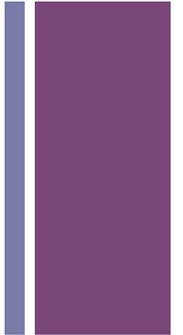
Conclusions

- L'efficacité des enzymes de la Phase I est très variable d'un individu à l'autre. Certains individus grâce à une **génétique favorable** vont facilement transformer les toxiques et les dérivés intermédiaires
- L'efficacité de la Phase II est totalement dépendante de la génétique et de la biodisponibilité des substrats de conjugaison (acides aminés soufrés et co-facteurs)
- Il y a toujours **une faiblesse de la Phase II** et un **emballement de la Phase I**. Ce qui implique que les molécules intermédiaires peuvent être encore plus toxiques que les molécules originelles



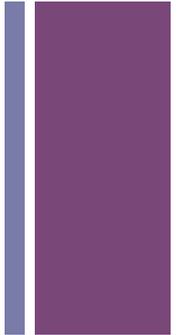
+ Le cycle du fonctionnement hépatique

- **Le métabolisme DIURNE = activité digestive**
- **Le métabolisme NOCTURNE = activité détox (1h-3h)**



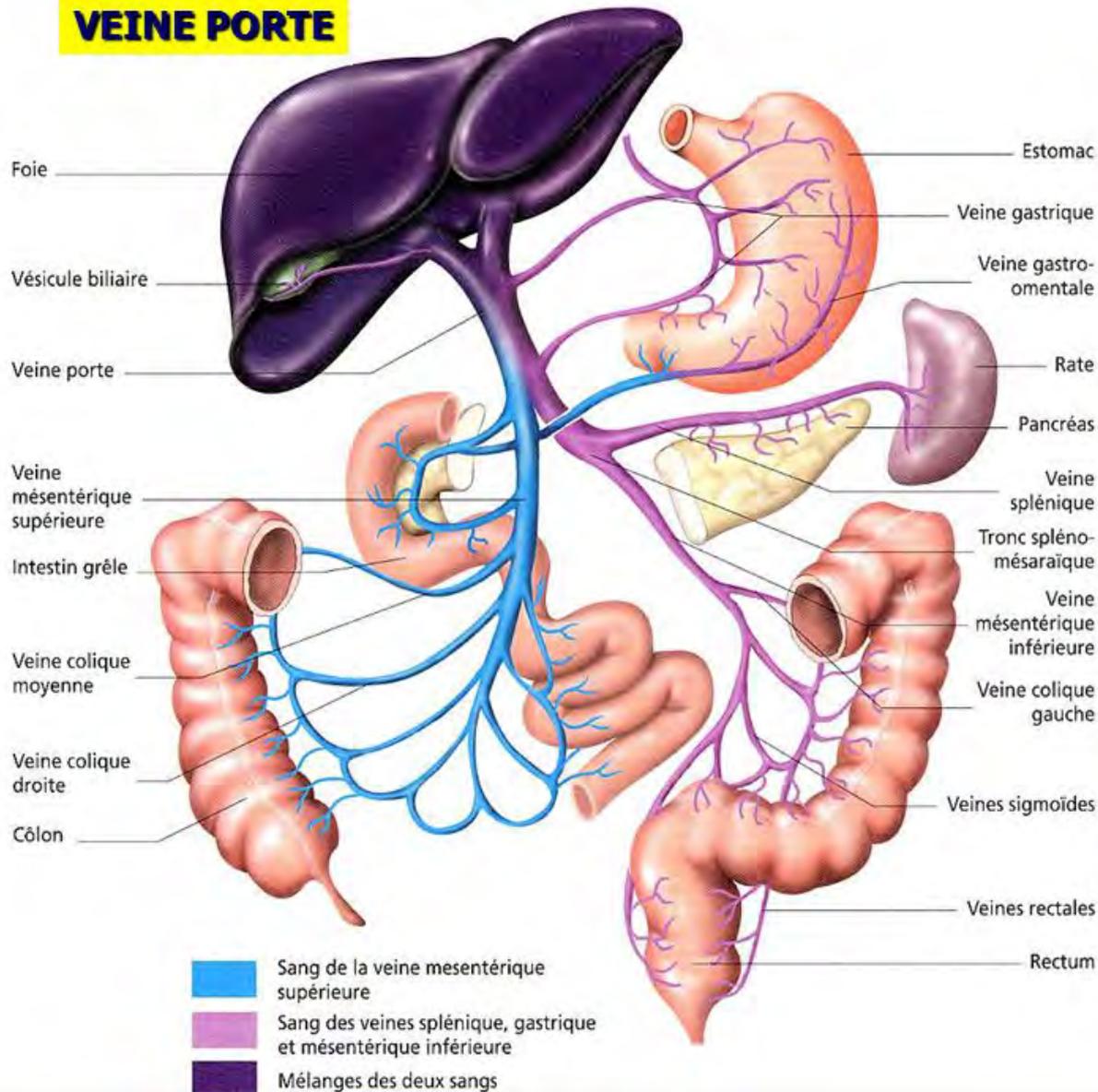
+ Système porte hépatique

- La **veine porte** est une veine qui conduit le sang provenant des organes digestifs (intestins, etc.) vers le foie, d'où il ressortira, après traitement, par la **veine sus-hépatique**. Autrement dit, le foie est situé entre deux veines (en sus de l'artère hépatique), ce qui est assez rare en anatomie des mammifères, on parle de **système porte**
- La veine porte est formée de la réunion:
 - du **tronc spléno-mésentérique** (confluent de la veine splénique et de la veine mésentérique inférieure)
 - de la **veine mésentérique supérieure**. Elle se divise en deux branches gauche et droite qui pénètrent dans le foie par le **hile hépatique**
- Les veines se jetant dans la veine porte sont:
 - la veine **gastrique gauche** (coronaire stomachique),
 - la **veine pylorique**
 - la veine cholédoque
 - le tronc gastro-colique de Henlé
 - la veine pancréatico-duodénale



+ Système porte hépatique

VEINE PORTE





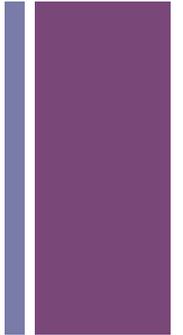
Veine porte

Conséquences physiologiques

- Le fait que le foie traite, dès le premier passage, le sang contenant les produits de la digestion permet une importante **détoxification des substances dangereuses**

Conséquences thérapeutiques

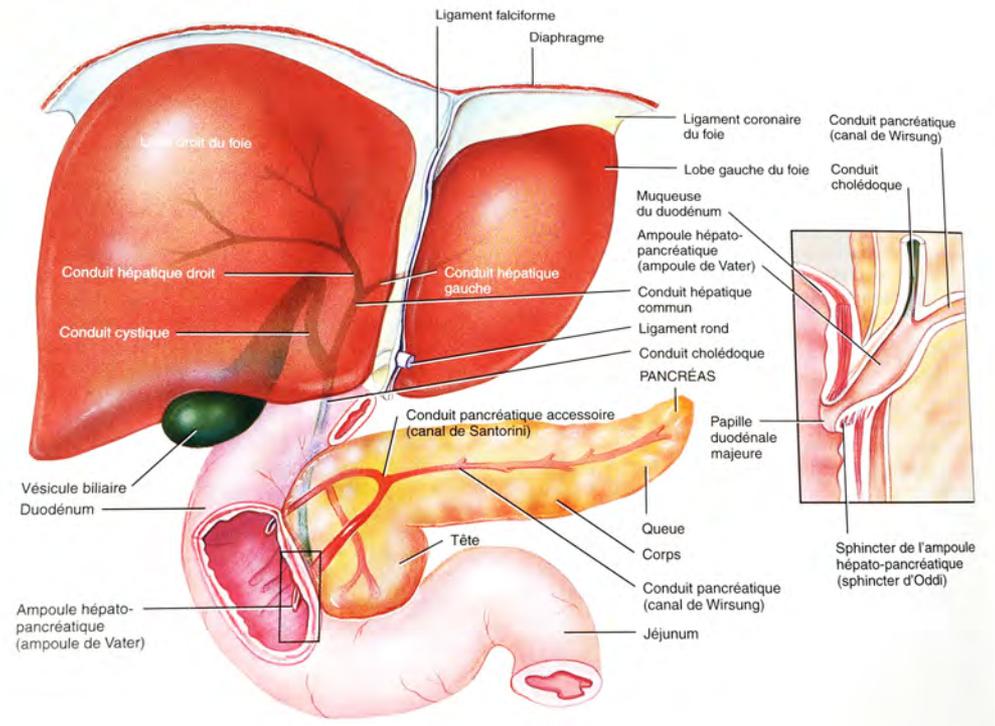
- De nombreux médicaments sont dégradés dans des proportions importantes par cet effet de premier passage hépatique
- Afin d'éviter cette dégradation, on administre certaines substances par une voie capable de rejoindre la circulation générale sans passer par le filtre du foie. Citons la voie sublinguale et la voie cutanée





Le pancréas

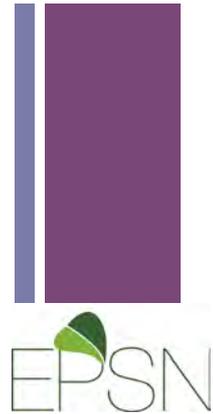
- Le pancréas est entouré par le duodénum qui imprime un relief sur son corps, comme un roue autour d'un enjoliveur
- Il est à la fois une glande exocrine, par les enzymes qu'il sécrète dans la lumière du tube digestif, et endocrine : insuline (bêta cells), glucagon (alpha cells), somatostatine (delta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



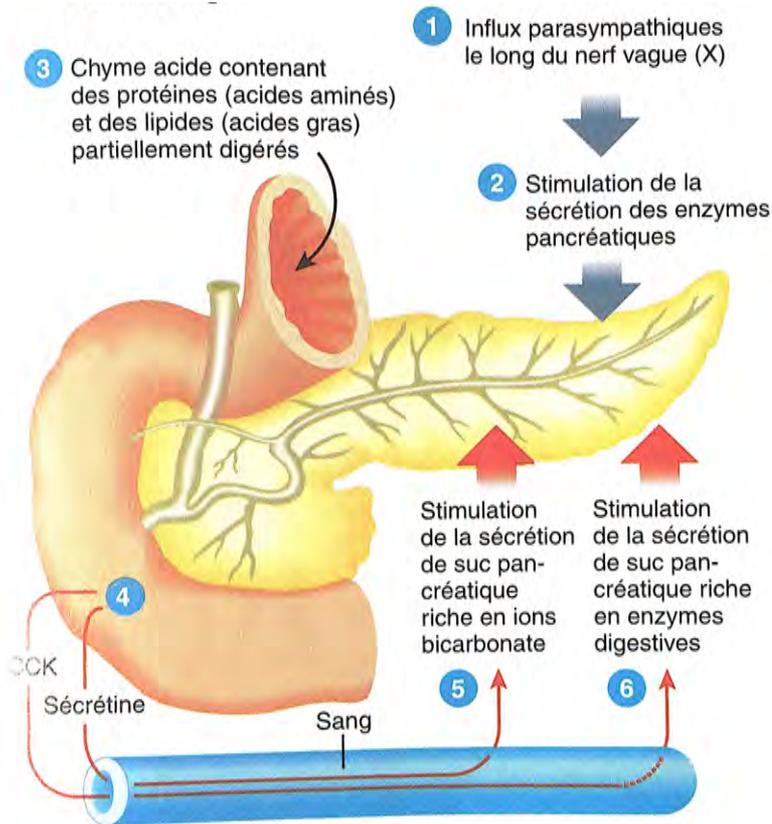


Le pancréas

- Le pancréas participe au métabolisme des glucides, des protéines et des graisses
- La fonction exocrine du pancréas sécrète des ions bicarbonate HCO_3^- qui vont neutraliser 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^+ (acide), afin que le pH sanguin arrivant au foie par la veine porte soit neutre



+ Stimulation nerveuse et hormonale du pancréas

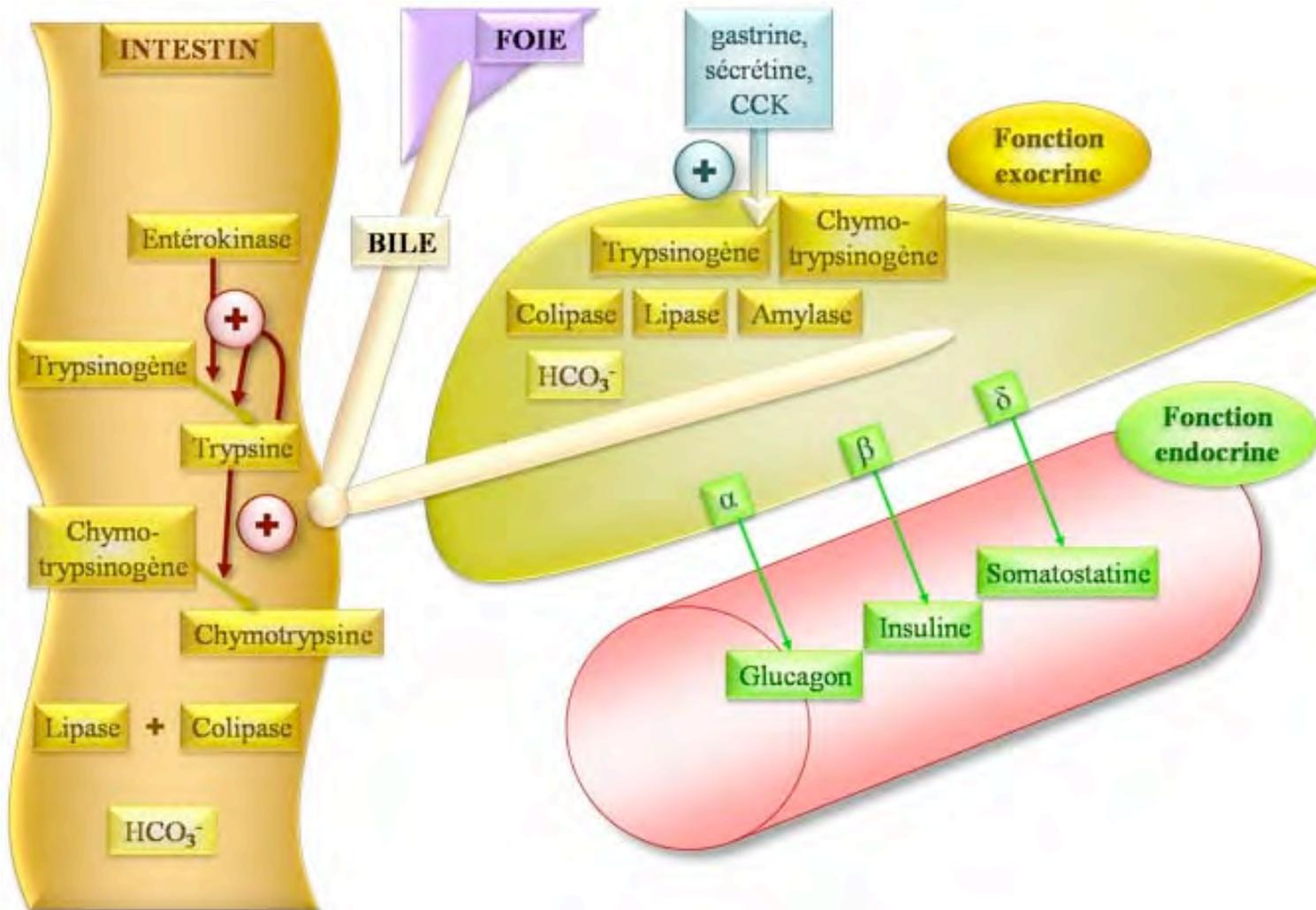


4. En réponse aux acides gras et aux acides aminés, certaines cellules de l'intestin sécrètent de la CCK dans le sang. En réponse au chyme acide d'autres cellules entéro-endocrines de la muqueuse intestinale libèrent de la sécrétine.

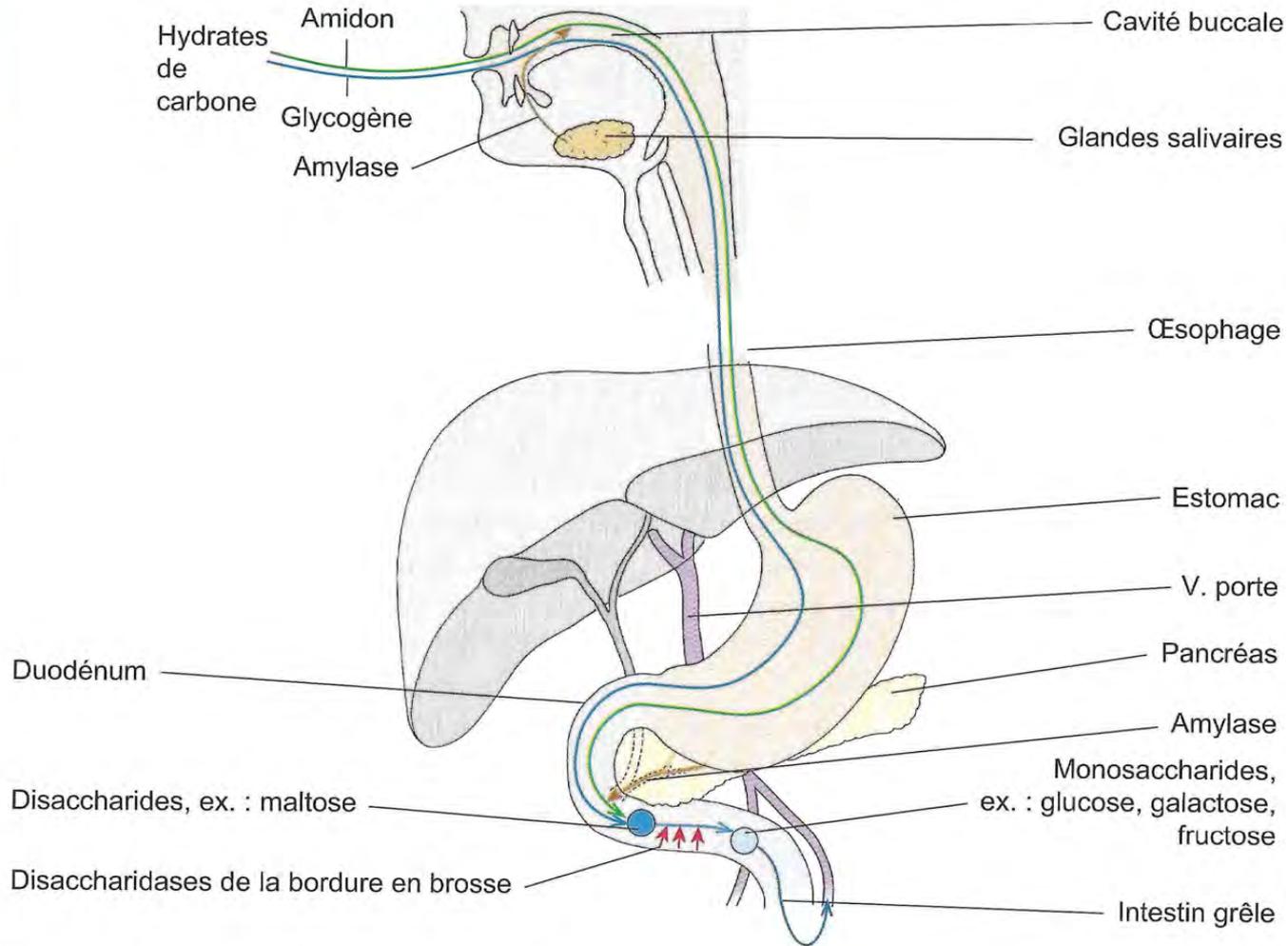
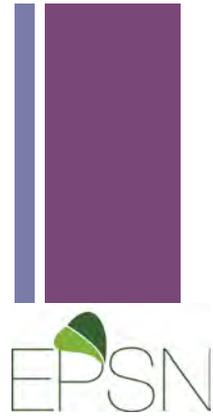
5. La sécrétine stimule la libération de suc pancréatique riche en ions bicarbonate (HCO_3^-).

6. La CCK stimule la sécrétion d'un suc pancréatique riche en enzymes digestives et ralentit la vidange gastrique.

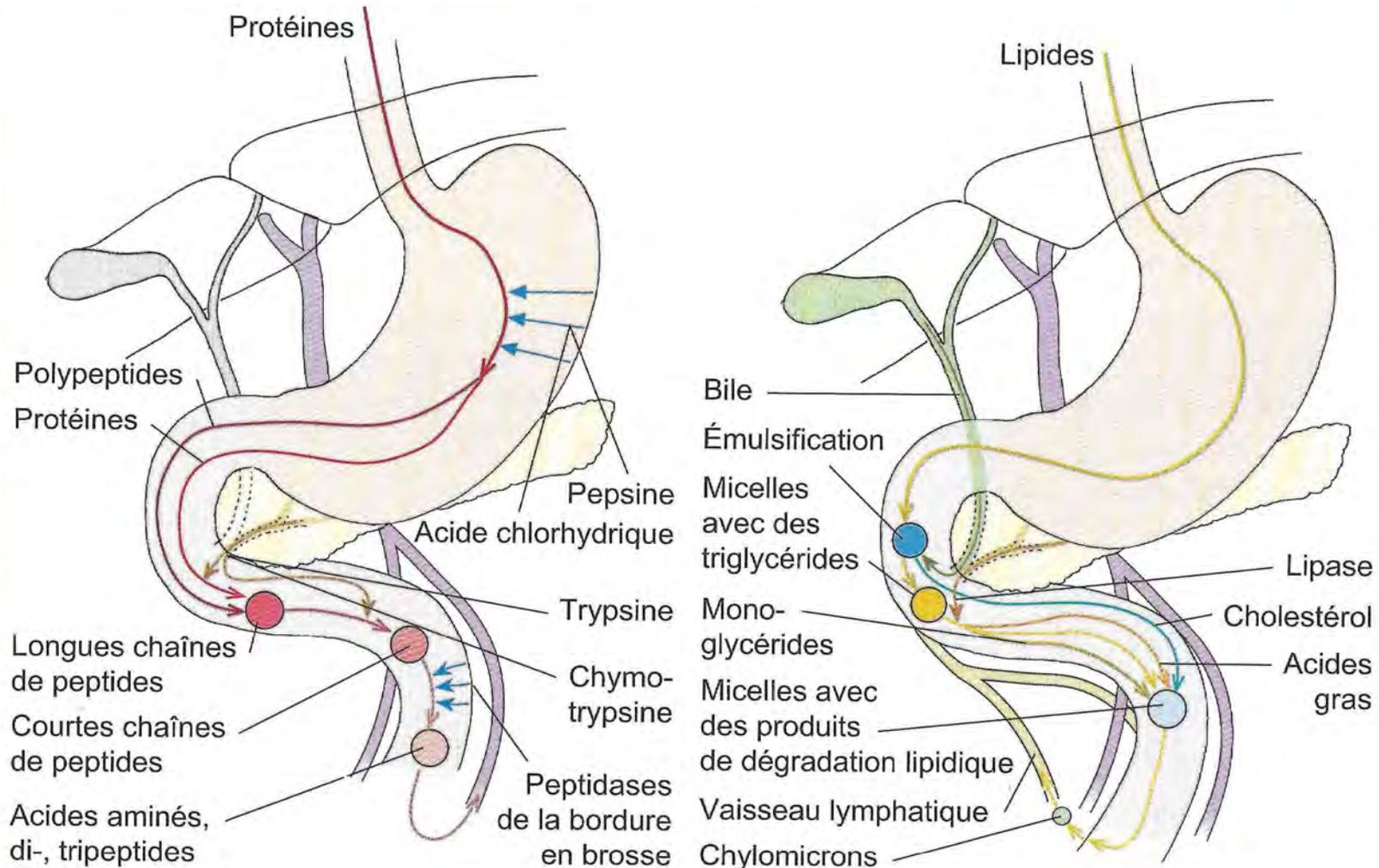
+ Pancréas endocrine et exocrine



+ Digestion des hydrates de carbone

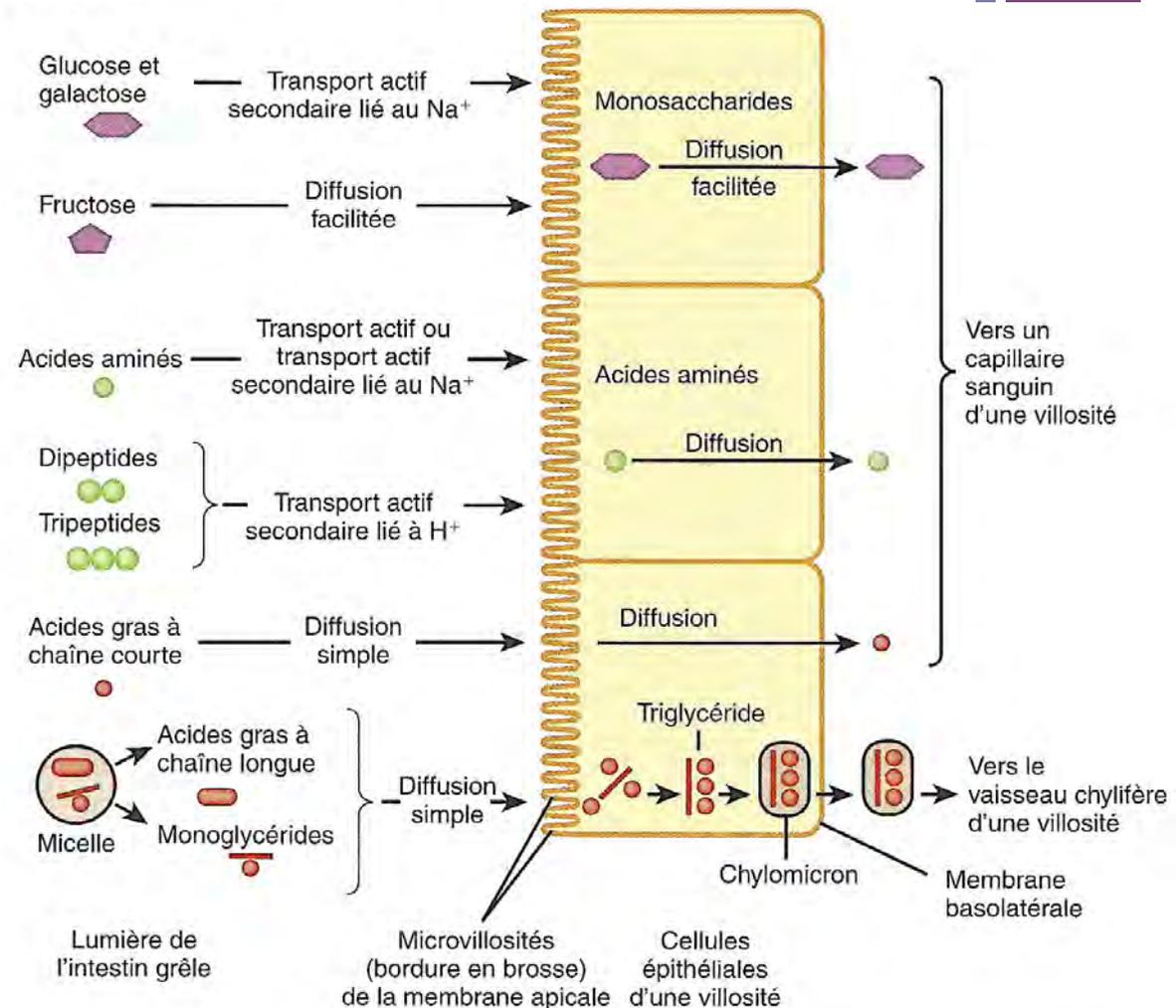


+ Digestion des protéines et des lipides

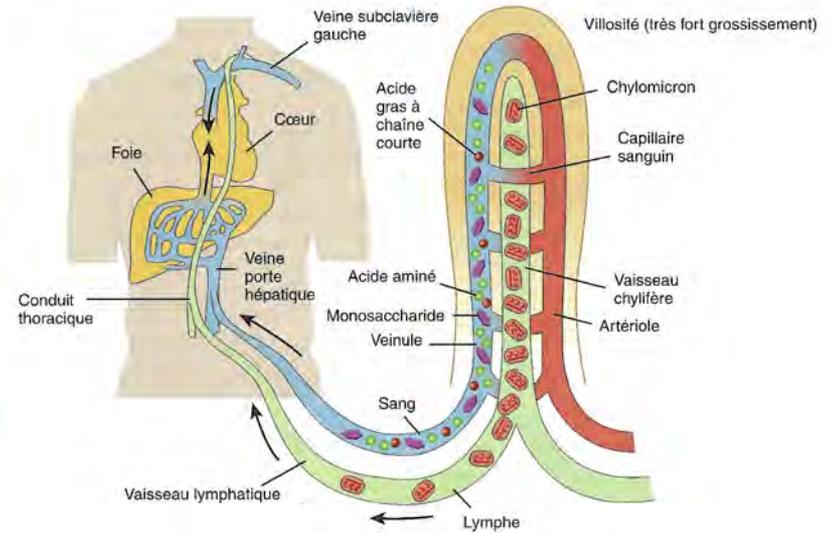
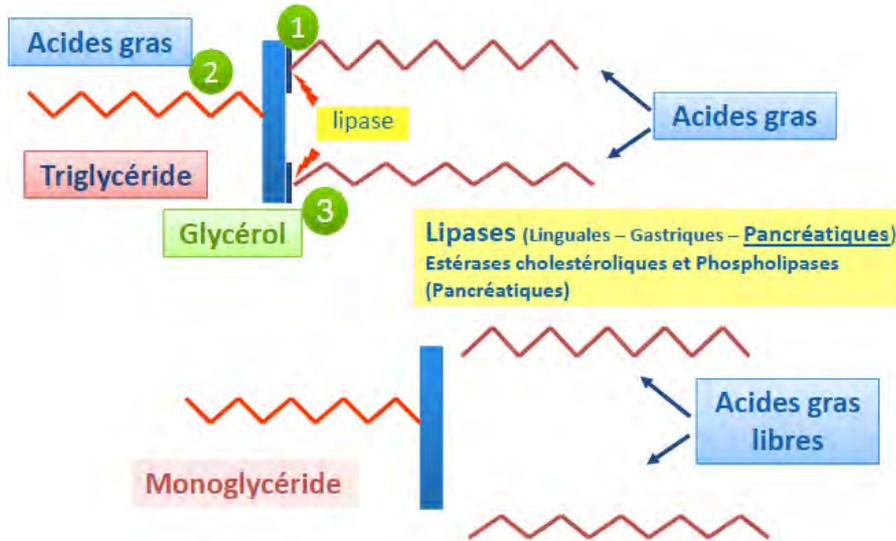


+ Absorption des nutriments digérés dans l'intestin grêle

- Les acides gras à longues chaînes et les monoglycérides sont absorbés dans les vaisseaux chylifères, et les autres produits de la digestion pénètrent dans les capillaires sanguins



+ Absorption des nutriments digestion des lipides



(b) Transport des nutriments absorbés dans le sang et la lymphe

- Les **AG** à chaînes longues (Omégas 3 & 6) et les **monoglycérides** vont être stocké dans des **micelles** qui vont les aider à traverser les entérocytes **par diffusion simple**. Les micelles restent dans le chyme pour être réutilisées. Les AG et les monoglycérides **se recombinent alors en triglycérides** à l'intérieur des l'entérocytes pour former des **chylomicrons** qui vont par **exocytose** rejoindre les vaisseaux chylifères et se déverseront dans la circulation sanguine via la veine subclavière gauche.



Le gros intestin

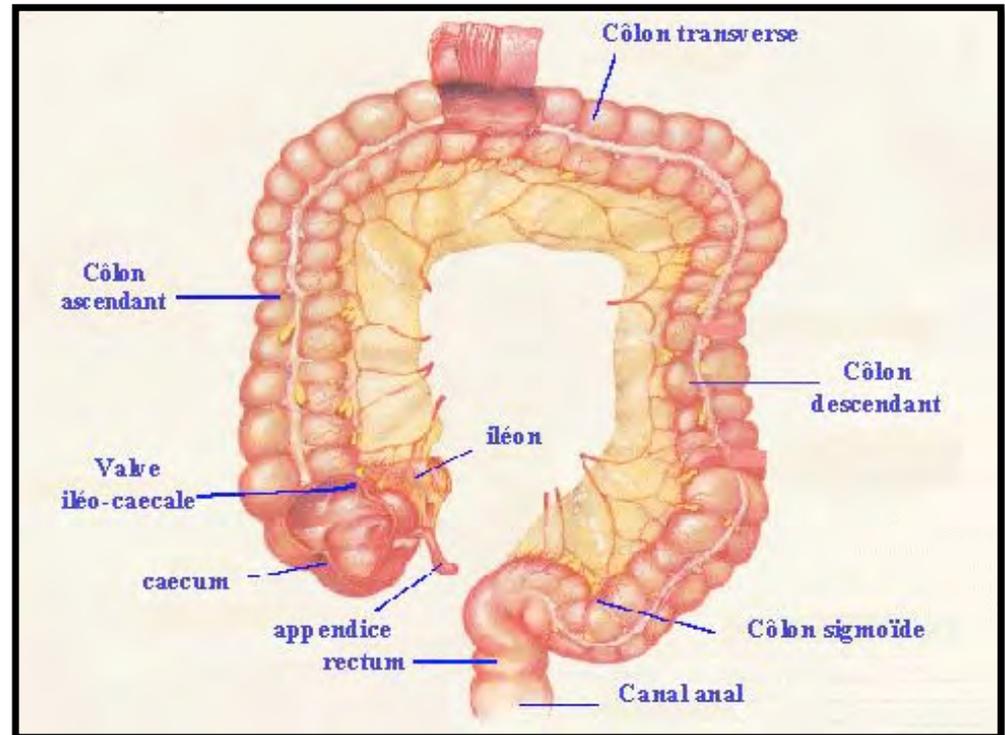
- Radiographie de l'abdomen avec injection de produit de contraste
- La valvule iléo-coecale est fermée empêchant le liquide d'entrer dans l'iléon





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





Le gros intestin



Histologie

- Le gros intestin et le grêle ne présentent pas de grandes différences. Le GI est recouvert de cellules caliciformes qui sécrètent du mucus afin de protéger les parois contre l'acidité et les gaz produits par la dégradation des derniers nutriments par la flore bactérienne présente en grand nombre dans la partie terminale du gros intestin.



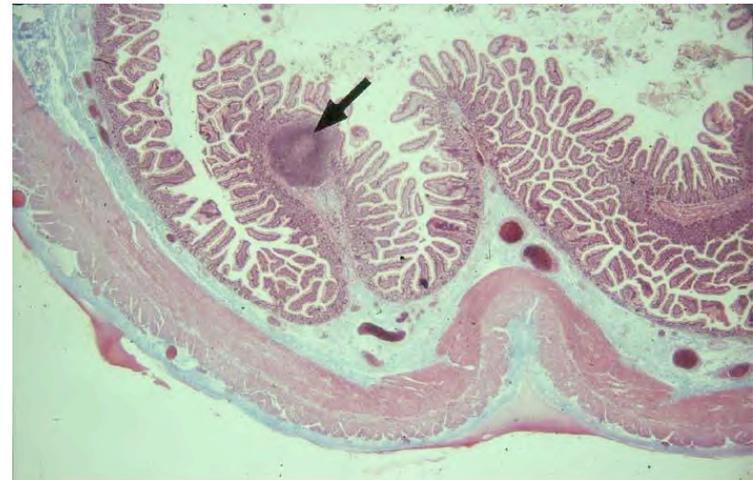


Le gros intestin



Histologie (suite)

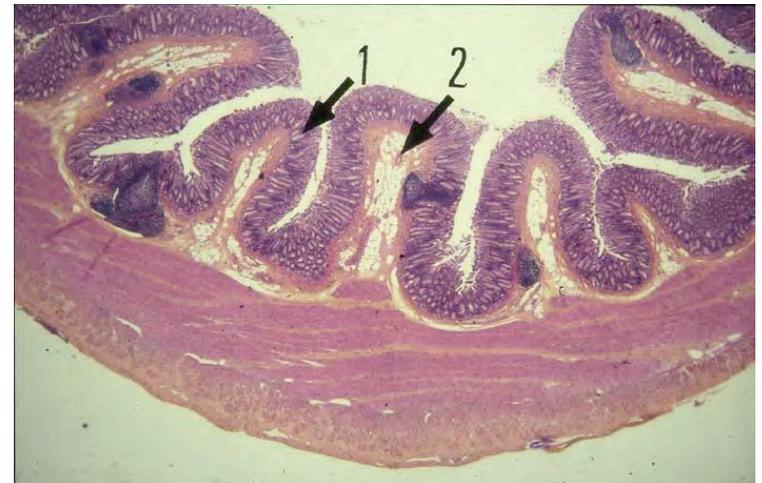
- La flore bactérienne dégrade certains gros glucides (polysaccharides) non digérés. Cette dégradation des celluloses (fibres) facilite la progression des selles vers l'anus
- **L'absorption principale s'est faite au niveau de l'intestin grêle**, il ne reste plus que quelques vitamines synthétisées (B,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





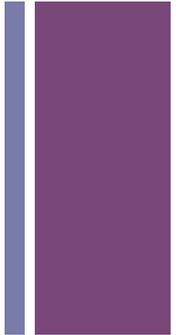
Le gros intestin

- 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





Principales fonctions du GI



- **Activité bactérienne**
 - Dégradation des glucides, protéines, acides aminés non digérés

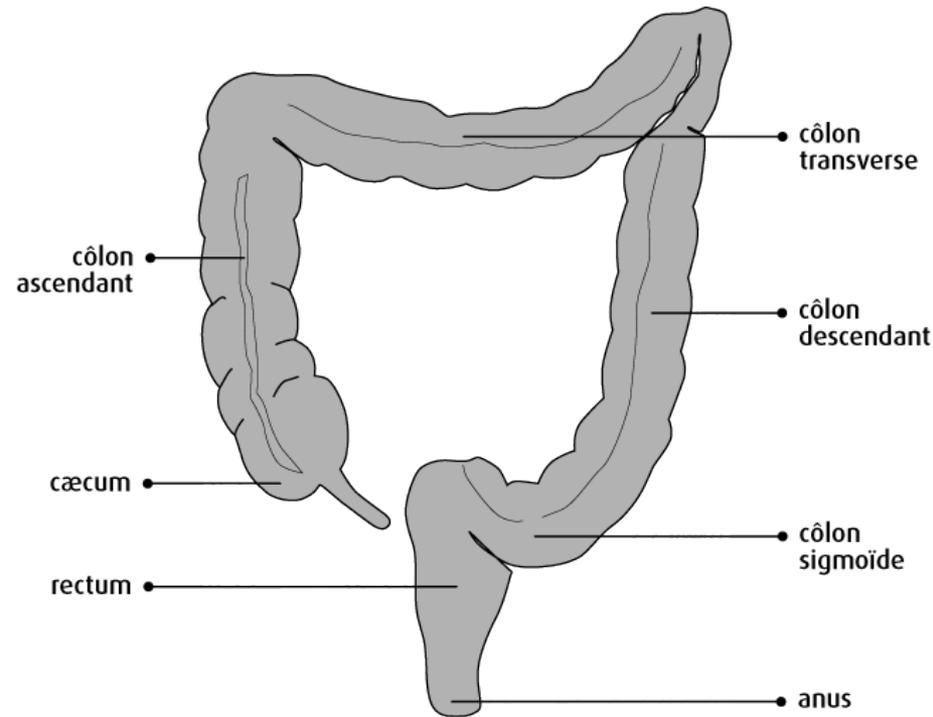
- **Sécrétion de mucus avec absorption d'eau et de composés solubles**
 - Maintient l'équilibre hydrique,
 - Augmente la consistance des fèces,
 - Absorbe les vitamines et les sels minéraux

- **Contractions haustrales**

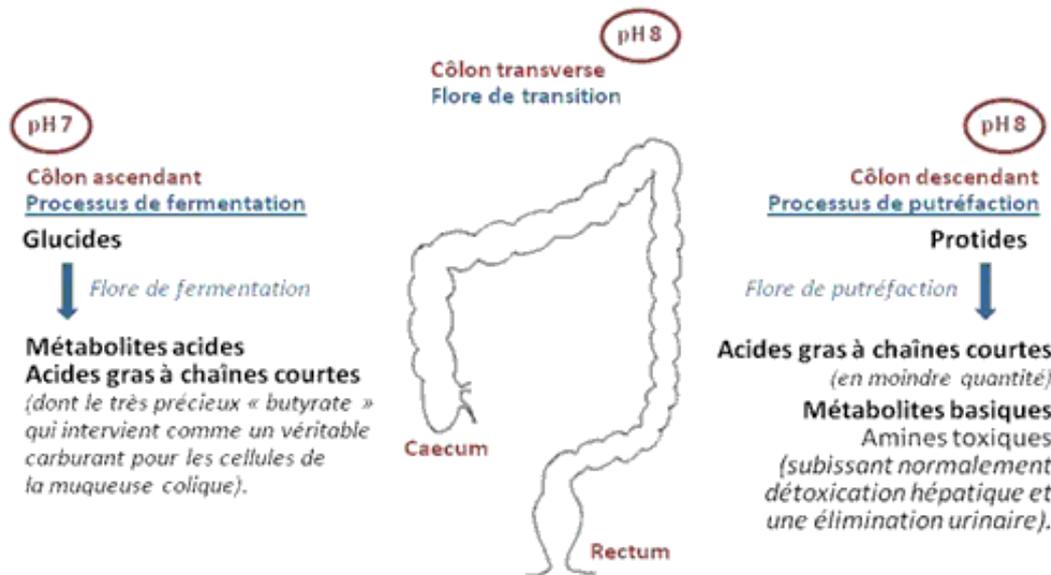
- **Péristaltisme**

- **Mouvements de masse**

- **Réflexe de défécation**

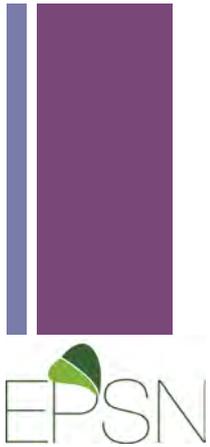


+ Dysbiose intestinale





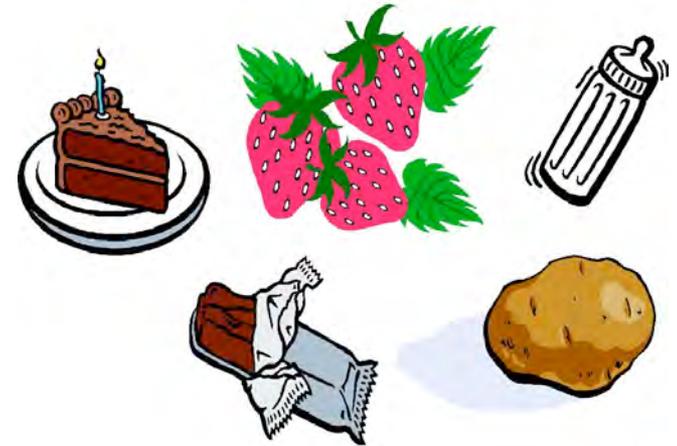
Physiologie de la digestion et chimie de l'absorption



- 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
- **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 = pression osmotique qui attire l'eau en direction des protéines).

+ 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)





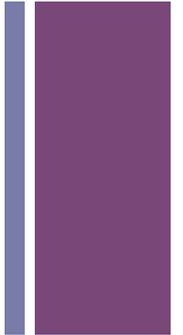
Les glucides

- 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





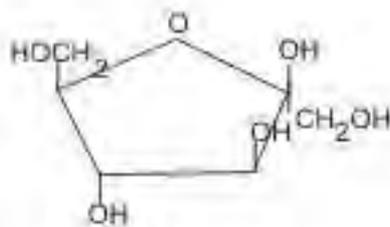
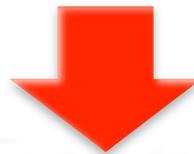
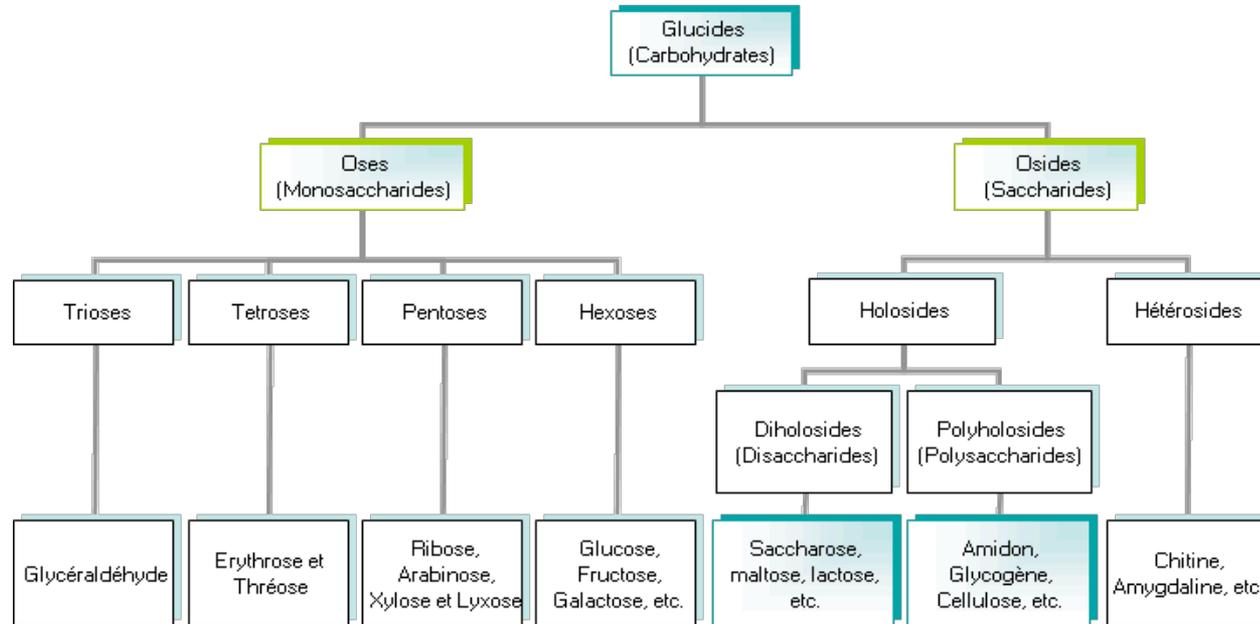
Les glucides



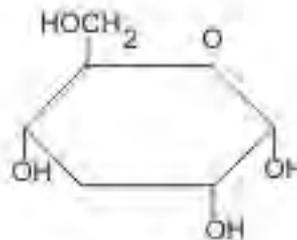
- Les glucides sont absorbés dans le **duodénum et le jéjunum au niveau de la bordure en brosse**
- Les monosaccharides digérés sont transportés activement par des protéines, puis passent dans la circulation veineuse par **diffusion simple**
- Seul le **fructose** peut passer de manière passive la muqueuse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



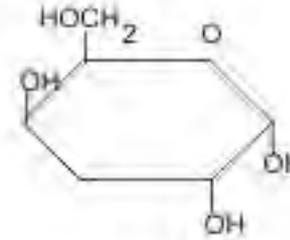
Schéma des différents glucides



Fructose



Glucose



Galactose



Les lipides

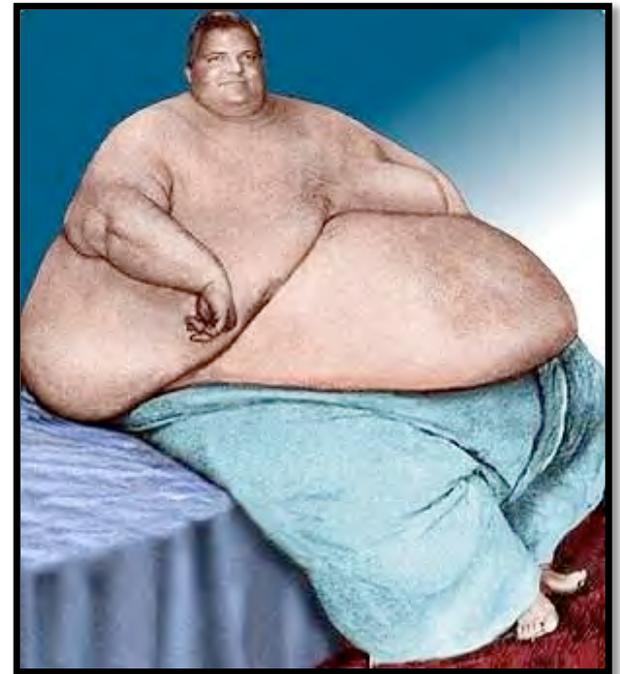
- Les graisses subissent une **macroémulsion** par le péristaltisme important de l'estomac
- Elles sont ensuite mêlées aux sels biliaires dans le duodénum et aux enzymes pancréatiques pour être finalement assimilées sous forme de monoglycérides ou de glycérol
- Ils passent au travers de la muqueuse gastrique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





Les lipides

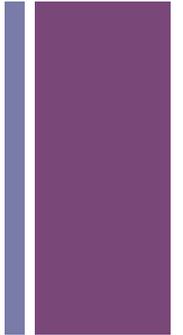
- Les lipides sont la **principale source d'énergie** qui peut être stockée par l'organisme
- Sur demande, les lipides vont être transformés
 - en glucides
 - puis en ATP pour fournir l'énergie au corps
- Ils sont présents dans les **adipocytes** sous forme de **triglycérides**, qui sont la synthèse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





Les protéines

- Les protéines sont le principal constituant du corps humain (muscles, muqueuse, membrane cellulaire,...). Elles n'ont pas qu'un rôle structurel
- Elles **participent activement aux transports des autres substances vitales de l'organisme** (l'oxygène sur l'hémoglobine des globules rouges, protéines transmembranaires, etc.)
- 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

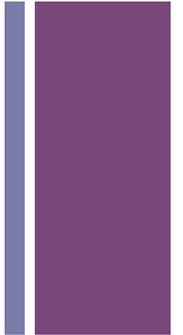




Phase de jeûne

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 :

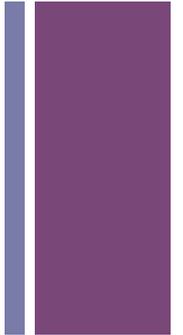
- **Déstockage:** utilisation des réserves de glycogène présentes dans le foie et les muscles (forme rapide, dégradée par hydrolyse) ou des triglycérides (forme lente) ou encore par dégradation des protéines (dégradation de certains acides aminés) pour fournir le glucose aux cellules cérébrales. Cette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





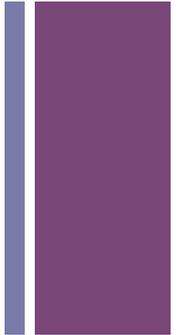
Les vitamines

- 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**

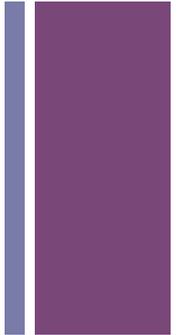


+ Les oligo-éléments

- Les oligo-éléments sont des éléments **non synthétisés par l'organisme**, essentiels au métabolisme des différents systèmes.
 - Ex : électrolytes (Na⁺, K⁺, Cl⁻), certaines vitamines
- **L'oligothérapie** est utilisée depuis quelques années pour palier aux carences des électrolytes responsables selon les dires des auteurs de certains développements de pathologies chroniques et inflammatoires
- La thérapeutique qui utilise le potentiel des vitamines et de oligo-éléments se nomme **Micronutrition**



+ Sources bibliographiques



- Principes d'Anatomie-Physiologie / Tortora Grabowski
- Anatomie-Physiologie-Pathologie du corps humain /P. Kugler
- Fondation Kousmine
- Sources Wikipedia