- Appareil digestif : Physiologie -

1) Voies aérodigestives : mastication, salivation et déglutition

La cavité buccale et les voies aérodigestives supérieures sont le siège de trois évènements importants dans le fonctionnement de l'appareil digestif : la salivation, la mastication et la déglutition.

La salivation

La production quotidienne de salive par l'ensemble des glandes salivaires est comprise entre 800 et 1500 ml, cette production est continue mais varie en quantité selon que l'organisme est en phase de jeûne ou phase prandiale. La salive est une solution aqueuse, dont le **pH varie entre 6 et 7.** Elle est composée **d'eau à 95 %,** et contient des ions et des protéines.

- **Composés minéraux** :
  - Les ions sodium et potassium participent à l'arrivée d'eau dans la sécrétion (d'abord le sodium est sécrétée dans l'adénomère pour créer une pression osmotique puis il est réabsorbé en partie via la sécrétion de potassium dans le canal excréteur)
  - Les ions hydrogénocarbonates HCO3- participent au maintien du pH car lorsque le pH buccal s'acidifie les ions HCO3- neutralisent les ions H+ par la réaction suivante : $HCO3^- + H^+$ à H2O + CO2

- **Composés organiques :** On trouve trois à quatre grammes de substances organiques par litre de salive produite, ce sont essentiellement des protéines produites par les adénomères.
  - Les enzymes salivaires :
    - **L'amylase salivaire** est une enzyme spécifique des liaisons osidiques α-1,4. Elle hydrolyse donc partiellement l'amidon. Son pH optimal est de 6,9 et son activité est fortement inhibée par l'acidité gastrique.
    - **Le lysozyme** est une glycoprotéine enzymatique qui exerce un pouvoir bactéricide en dégradant la paroi des bactéries.
  - Les glycoprotéines :
    - **Les mucines** sont de grosses glycoprotéines chargées négativement qui retiennent l'eau et forme ainsi le mucus. Ce mucus permet la lubrification du bol alimentaire pour faciliter la déglutition.
    - **Les anticorps :** La salive contient des immunoglobulines (ou anticorps) provenant du plasma par diffusion (IgG, IgM, et IgA) mais également produits par des plasmocytes se trouvant dans le chorion des muqueuses. Ces immunoglobulines assurent une immunité locale importante vis-à-vis des bactéries en particulier.

La salive joue un rôle indispensable dans la formation d'un bol alimentaire de qualité par les fonctions suivantes :

- **La digestion des glucides** commence dans la cavité buccale par l'action de **l'amylase salivaire.**
- **L'humidification et la lubrification** du bol alimentaire par le mucus de la salive facilite la déglutition.

- **La défense contre les microorganismes** est assurée grâce au lysozyme, une enzyme qui détruit les bactéries en lysant leur paroi et grâce aux anticorps.
- **La sensibilité gustative** dépend de la salive car elle met les molécules en solution et facilite leur fixation sur les bourgeons du goût.

La salive possède aussi d'autres fonctions non digestives, elle facilite la phonation, contribue à l'hygiène buccale. L'écoulement continuel de la salive garde la bouche et les dents propres en éliminant les restes alimentaires, les cellules épithéliales desquamées et les particules étrangères. Enfin la présence d'ions HCO3- neutralise des acides alimentaires ou produits par des bactéries dans la bouche et contribue ainsi à la prévention de la carie dentaire.

La mastication

La mastication est le résultat de l'action combinée **des dents, des muscles masticateurs et de la langue**. Les dents déchirent, coupent et broient les aliments et la langue les mélange avec la salive afin de les ramollir.

La mastication a plusieurs actions :

- La mastication permet le **mélange des aliments à la salive**
- La mastication **augmente la surface de contact entre les enzymes digestives et les aliments**.
- La mastication **dégrade mécaniquement la cellulose**

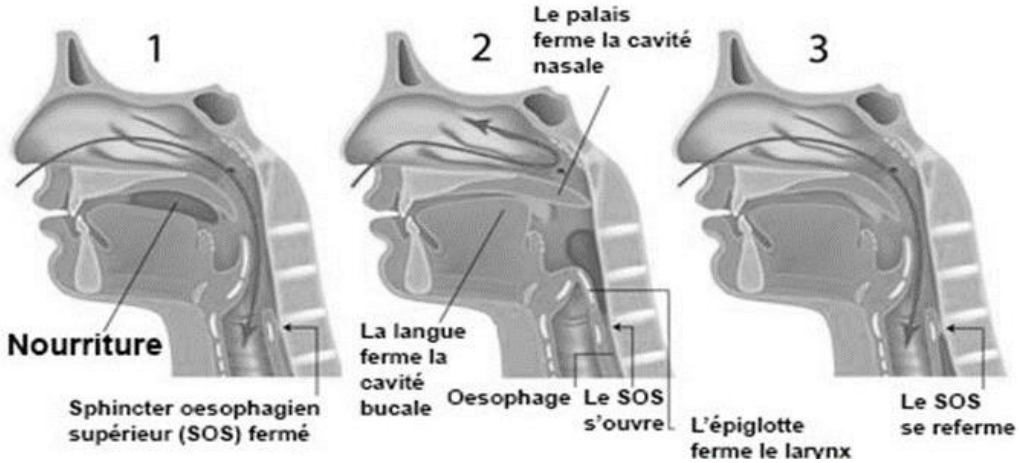
Le résultat de la mastication est donc la **transformation des aliments en bol alimentaire.**

La déglutition

La déglutition est un processus permettant le passage du bol alimentaire de la cavité buccale dans le tube digestif. La déglutition comprend une activité volontaire et une activité réflexe.

Elle se déroule en trois étapes :

- **Le temps buccal** est la première étape elle correspond au **transfert volontaire du bol alimentaire depuis la cavité buccale vers le pharynx** par l'action de la langue et du palais. Lors de cette étape la luette remonte afin de bloquer les cavités nasales afin d'empêcher le bol alimentaire de passer au nasopharynx.
- **Le temps pharyngien** est la deuxième étape elle correspond aux **mouvements musculaires réflexes** qui permettent l'avancement du bol alimentaire **le long du pharynx.** Une fois l'oropharynx traversé, **l'épiglotte** conduit le bol alimentaire vers le laryngopharynx et empêche son passage dans le larynx. Dans le cas où une partie du bol alimentaire passe dans les voies respiratoire un réflexe de toux se déclenchera afin de faire remonter ce dernier de nouveau au laryngopharynx.
- **Le temps œsophagien** correspond aussi aux mouvements réflexes d'ouverture du sphincter œsophagien supérieur (SOS) et au franchissement du premier tiers de l'œsophage dont la paroi contient des muscles striés afin d'entrer dans le tube digestif.



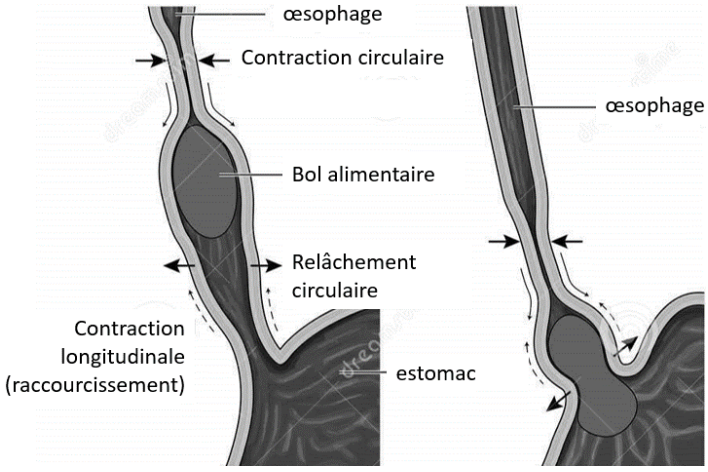
Les trois étapes de la déglutition

2) Le péristaltisme œsophagien

L'œsophage a un rôle très important de **péristaltisme** qui consiste à un ensemble de contraction permettant le déplacement d'un objet au travers d'un organe creux, plus précisément ici le tube digestif.

La musculature de l'œsophage développe deux types de mouvements péristaltiques :

- **Un péristaltisme primaire** qui constitue la fin de la déglutition. L'onde de contraction déclenchée par le pharynx se propage au tiers supérieur de l'œsophage et les muscles striés permettent de terminer la déglutition.
- **Un péristaltisme secondaire** est déclenché par la distension de la paroi œsophagienne, au niveau des deux tiers inférieurs suite à l'arrivée du bol alimentaire par la déglutition. Ce péristaltisme se réalise grâce à la contraction alternée de la couche circulaire (segment propulseur) et la couche longitudinale (segment receveur) de la musculeuse. C'est le mécanisme observé tout le long du tube digestif.



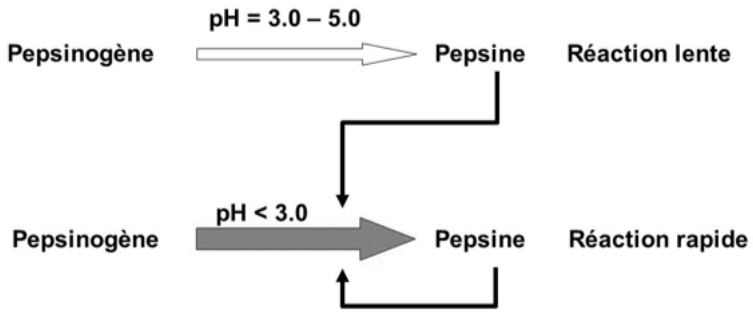
Péristaltisme secondaire

3) Estomac : brassage et suc gastrique

Digestion chimique par le suc gastrique

Le volume moyen de la sécrétion de suc gastrique est compris entre 1,5 et 3,5 litres par jour.
La sécrétion des glandes gastriques est constituée de mucus aqueux, d'acide chlorhydrique, de facteur intrinsèque, de la lipase gastrique et de pepsine.

- **L'acide chlorhydrique** : La sécrétion d'acide chlorhydrique a lieu dans les cellules pariétales des glandes gastriques. Les stimulations nerveuses ou hormonales activent le transport actif des ions chlore (Cl-) et protons (H+) à travers la membrane des cellules par le biais des pompes. L'acide chlorhydrique permet d'acidifier la lumière gastrique à un **pH = 1,5 à 2** cela permet les fonctions suivantes :
    - **Dénaturer les protéines alimentaires** en modifiant leur état d'ionisation afin de faciliter leur digestion.
    - **Activer le pepsinogène en pepsine**
    - **Ionisation les sels minéraux** et en favoriser ainsi l'absorption.
    - **Dissociation de la vitamine B12** de sa protéine vectrice alimentaire
    - Le pH acide est aussi un excellent **bactéricide** car peu de microorganismes résistent au pH acide gastrique.
- **La pepsine** : il s'agit d'une protéase produite dans un premier temps sous forme inactive appelée pepsinogène. La synthèse du pepsinogène suit la synthèse des protéines par le réticulum endoplasmique et appareil de Golgi. Au contact de l'acide chlorhydrique lors de l'exocytose et des molécules de pepsine déjà activées, il se transforme en pepsine. La pepsine est une protéase, elle hydrolyse les protéines en peptides et son pH d'action optimal est de 2.



- **Le facteur intrinsèque** : Le facteur intrinsèque est une glycoprotéine essentielle pour l'absorption de la **vitamine B12**. Il permet la reconnaissance par des récepteurs de la vitamine B12 situés dans l'**iléon**.
- **La lipase gastrique** : La lipase gastrique a une faible activité, elle est capable d'hydrolyser les liaisons ester des triacylglycérols présents sur le carbone 3. Elle facilite également le processus d'**émulsion des lipides** au sein de la lumière gastrique.

Rôle endocrine

La glande gastrique produit en plus du suc gastrique une hormone produite par les **cellules G** de l'estomac est la **gastrine**. Cette hormone stimule les fonctions digestives de l'estomac en ciblant les cellules glandulaires et musculaire de la paroi.

Elle a ainsi différents rôles :

- Stimulation des **cellules pariétales** et donc de la sécrétion de **HCl**
- Stimulation des **cellules principales** et donc de la sécrétion de **pepsine**
- Stimulation de la contraction des **muscles lisses** de la musculeuse et donc le **brassage**

Permet **l'ouverture du sphincter pylorique** et donc stimule de la **vidange** gastrique

Digestion mécanique

La fonction de **brassage** permet le mélanger le bol alimentaire au suc gastrique et d'assurer une digestion mécanique de grosses molécules comme les fibres glucidiques. L'arrivée des aliments par le cardia déclenche la formation d'**ondes de contractions**. Au fur et à mesure de sa progression, l'onde de contraction s'amplifie et devient plus puissante pour se transformer en un « anneau de contraction ».

Le brassage dans l'estomac est particulièrement puissant et aléatoire grâce à plusieurs caractéristiques :

- **3 axes de contractions** : le positionnement des fibres musculaires au sein de la musculeuse permet de former 3 axes de contractions différents.
- **L'asymétrie de contraction** : les deux courbures de l'estomac sont inégales et parallèles. La propagation d'une onde de contraction se fait alors de manière asymétrique entre les deux courbures, ce qui permet d'obtenir des mouvements complexes du contenu.
- **Les mouvements de flux et de reflux** : l'arrivée de l'onde de contraction dans la région pylorique projette le contenu gastrique contre le sphincter pylorique. Celui-ci est fermé et permet seulement le passage de quelques millilitres de contenu gastrique à la fois. Ce mouvement provoque un retour violent des aliments vers le corps de l'estomac, dans une onde de rétropropulsion comparable aux flux et reflux.

Les aliments ayant subi ces mouvements sont transformés en un mélange de consistance liquide appelé **chyme gastrique**.

Vidange

La vidange gastrique est le passage du chyme gastrique vers l'intestin grêle. Elle est la résultante de deux actions contraires :

- La **formation d'une onde de contraction** gastrique très puissante déclenchée par la voie nerveuse et hormonale. Cette onde de contraction diffère des petites ondes régulières facilitant le brassage.
- Le **relâchement du pylore** permettant l'ouverture du sphincter pylorique également sous contrôle nerveux et hormonal.

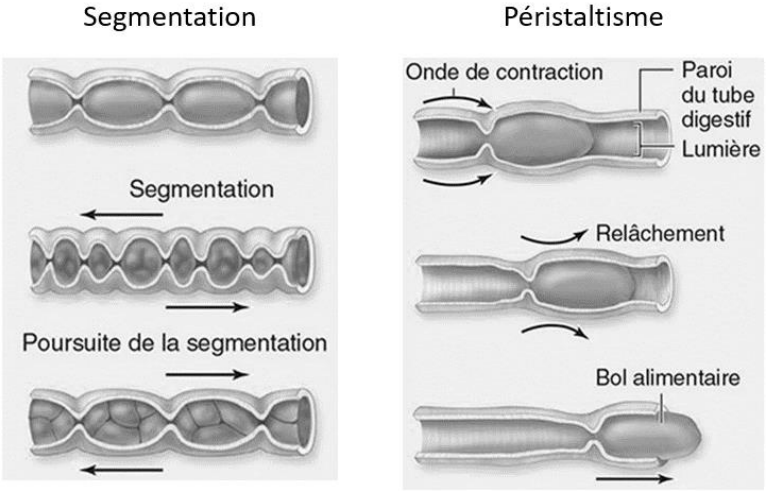
Le contrôle de la vidange sera abordé dans la partie sur la régulation nerveuse et hormonale de l'appareil digestif.

4) Intestin grêle : Fin de la digestion

Digestion mécanique intestinale

La fonction motrice est assurée par la couche musculeuse de la paroi intestinale.
Les mouvements intestinaux sont de deux types :

- **Les mouvements de segmentation** ou de brassage permettent le mélange des aliments avec les sucs digestifs. Il s'agit d'une série de contractions multiples et simultanées, séparées par des territoires non contractés permettant la digestion mécanique du chyme.
- **Les mouvements péristaltiques** comme ceux décrits dans l'œsophage permettent la progression lente du contenu digestif, d'à peu près 1 cm par minute. Le trajet des aliments dans l'intestin grêle dure normalement 3 à 5 heures.



Motricité intestinale

Duodénum : carrefour, contrôle du pH et de l'osmolarité, rôle endocrine

Le duodénum n'a pas de fonction digestive en tant que telle. La digestion à ce niveau est le fait des enzymes pancréatiques, particulièrement nombreuses et puissantes. Il représente néanmoins un endroit stratégique pour la préparation du chyme gastrique à la digestion intestinale et a plusieurs autres rôles :

- **Neutralisation de l'acidité du chyme** : le mucus alcalin possède des ions hydrogénocarbonates (HCO_3^-) qui neutralisent les H^+ présent dans le chyme à pH acide (autour de 5). Cela permet de protéger la muqueuse duodénale contra l'acidité du chyme mais est aussi indispensable à la digestion car le pH optimum d'action des enzymes pancréatiques et intestinales étant autour de 7,5 à 8.

- **Dilution du chyme** : le chyme gastrique à son arrivée dans le duodénum est hyperosmolaire. Très rapidement, la muqueuse duodénale permet le passage d'importante quantité d'eau (par osmose) pour ramener l'osmolarité du chyme aux alentours de celle du plasma.
- **Carrefour duodénal** : Le chyme gastrique rencontre dans le duodénum la bile et le suc pancréatique. La bile permet que les lipides alimentaires se trouvent dans le chyme gastrique sous forme de gouttelettes lipidiques de grande taille, peu accessibles aux enzymes pancréatiques. L'émulsion des lipides sous forme de micelles à lieu au niveau du duodénum par contact avec les sels biliaires et la lécithine contenus dans la bile. Le suc pancréatique permettra la digestion enzymatique de toutes les molécules organiques présentes dans le chyme.

Les cellules argentaffines (ou entéroendocrine) de la muqueuse intestinale particulièrement présentes dans le duodénum produisent deux hormones régulatrices de la digestion la sécrétine et la cholécystokinine (CCK) :

- **La sécrétine** est sécrétée en particulier lorsque le chyme est acide et trop osmolaire (ou hypertonique). Elle cible les cellules centroacineuses pancréatique et augmente **la sécrétion d'eau et d'ions HCO3-** dans le suc pancréatique.
- **La cholécystokinine** (CCK) est sécrétée en particulier lorsque le chyme est riche en protéines et lipides. Elle stimule les cellules acineuses pancréatique et augmente la **production d'enzymes** dans le suc pancréatique. Elle stimule aussi les muscles lisse de la paroi de la vésicule biliaire afin de provoquer sa contraction et la **libération de la bile.**

Jéjunum : fin de la digestion

La digestion dans l'intestin grêle a pour but d'obtenir des nutriments absorbables à partir des molécules résultant de la dégradation enzymatique du suc pancréatique. Cette dernière étape de digestion se fait à l'aide d'enzymes présentent dans la bordure en brosse des entérocytes.
Ces enzymes sont :

- **Des peptidases** que sont les aminopeptidases (des exopeptidases en N-terminal) et les dipeptidases.
- **Des disaccharidases** que sont les maltases, isomaltases, lactases, invertase ou saccharase qui scindent les diholosides en glucides simples. Du fait de la structure des glucides alimentaires, leur produit final de digestion est à 80% le glucose et les 20% sont répartis entre le galactose et le fructose.
- **Les nucléotidase et nucléosidase** qui scindent respectivement nucléotides en nucléoside, base azotée et pentoses.

L'absorption des nutriments dans l'intestin grêle

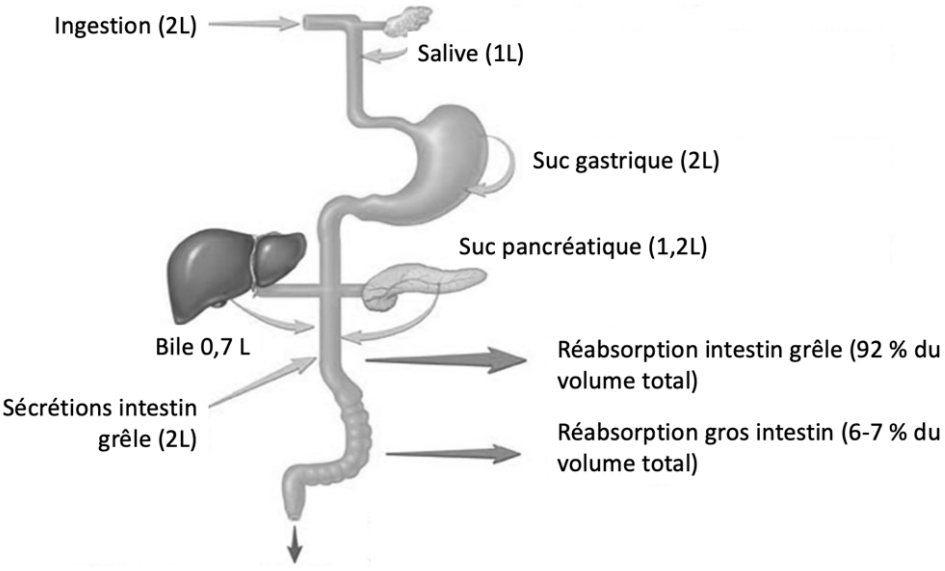
L'**absorption intestinale** est le principal moyen utilisé par l'organisme pour s'approprier des molécules en provenance du monde extérieur. Bien que l'absorption de l'eau, des ions, de certaines molécules hydrosolubles ou volatiles puisse avoir lieu à tous les étages du tube digestif, l'intestin grêle constitue le **seul endroit où une absorption de tous les nutriments est possible**.

L'absorption se fait selon trois mécanismes de base :

- **Le transport passif par diffusion simple ou facilitée** se fait dans le sens du gradient de concentration, à travers la membrane cellulaire ou par les pores intercellulaires.
- **Le cotransport ou transport actif secondaire** par des transporteurs membranaires permet le transport couplé d'une molécule (molécule organique ou ion) à un ion en général le sodium.
- **Le transport actif simple** assure le passage d'ions ou de molécules contre leur gradient de concentration.

Absorption de l'eau :

L'eau est transportée à travers la muqueuse intestinale exclusivement par osmose. Le transport peut se produire dans les deux sens : depuis la lumière intestinale vers le sang ou en sens inverse, selon le jeu des pressions osmotique de part et d'autre de la muqueuse. La pression osmotique permettant l'absorption de l'eau est assurée par un transport actif du sodium.



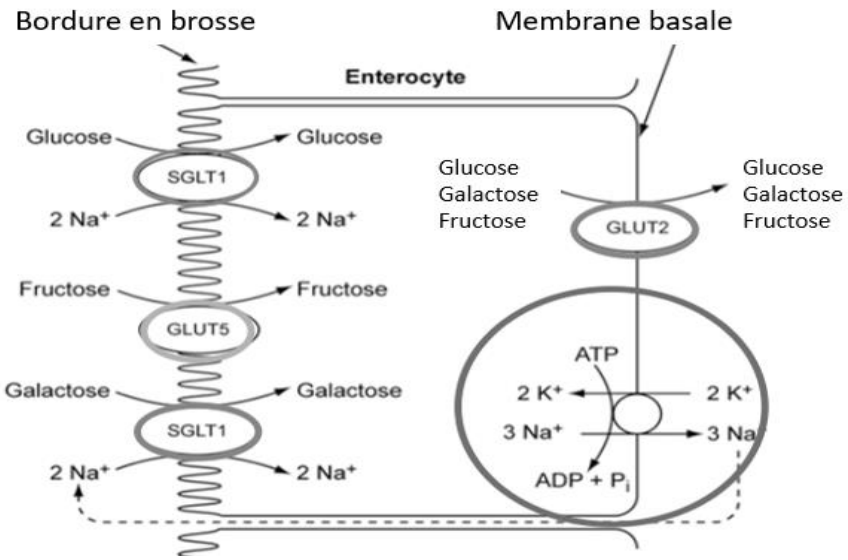
Volumes d'eau sécrétés et réabsorbés par jour

Absorption des glucides :

C'est essentiellement sous forme des diholosides (maltose, isomaltose, saccharose et lactose) que les glucides d'origine alimentaire atteignent la muqueuse digestive pour être absorbés.

Les disaccharidases de la bordure en brosse scindent les diholosides en leurs oses simples constitutifs : glucose, galactose et fructose.

- **Le glucose et le galactose** sont tous deux absorbés par un **transport actif secondaire** dans lequel les cotransporteurs **SGLT1** de la membrane apicale transportent simultanément **le Na+ et l'ose** vers le cytosol des entérocytes. Ces cotransporteurs n'utilisent pas eux-mêmes de l'énergie mais fonctionnent grâce au gradient de concentration établi par la **pompe Na+/K+ ATPase** située sur le pôle basal de l'entérocyte. Une fois la molécule de glucose ou de galactose entrée dans l'entérocyte, un autre transporteur, **GLUT2,** facilite sa diffusion à travers la membrane basale vers le capillaire sanguin.
- **L'absorption du fructose** se produit par un **transport facilité passif indépendant du sodium**. Le transporteur apical du fructose est **GLUT 5** et au pôle basal **GLUT2.**



Absorption des oses

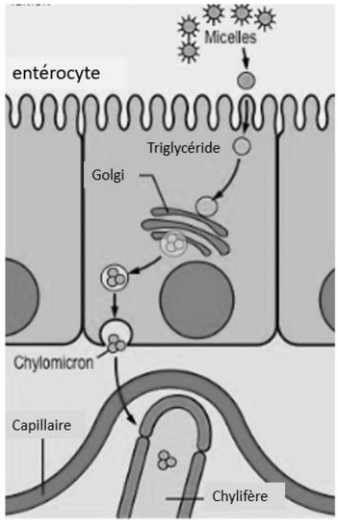
Absorption des acides aminés et bases azotées :

Le mécanisme d'absorption des acides aminés et bases azotées est similaire à celui du glucose et galactose. Au pôle apical on retrouve des **cotransporteurs** capables de transporter simultanément l'acide aminé ou base azoté avec des ions sodium. Ce mécanisme dépend du gradient de concentration établi par la **pompe Na+/K+ ATPase** située sur le pôle basal de l'entérocyte. Une fois présents dans le cytosol des entérocytes, les acides aminés et bases azotés pourront diffuser vers les capillaires sanguins via la présence d'un **transporteur passif** au pôle basal des cellules.

Absorption des lipides :

Les produits de la digestion lipidique par le suc pancréatique sont les acides gras, les monoacylglycérols et le cholestérol. Ces molécules ne sont pas solubles dans l'eau et leur transport nécessite un couplage avec les sels biliaires pour former des **micelles**.

- Les micelles transportent les lipides jusqu'au contact de la bordure en brosse des entérocytes où les sels biliaires sont libérés
- Les lipides traversent alors la membrane par **diffusion simple**
- Une fois dans les entérocytes, les acides gras sont utilisés dans le **réticulum endoplasmique lisse** pour la synthèse de nouveaux **triglycérides et stérides**.
- Ensuite ils iront à l'appareil de Golgi se mélanger aux apoprotéines afin de former **les chylomicrons**.
- Puis ils seront exocytés vers le chylifère central des villosités.



Absorption des lipides

Ce mécanisme de transport est utilisé pour l'absorption de 80 à 90% des lipides digérés.
Le reste est représenté par les acides gras à chaîne courte produits par le microbiote intestinal, qui passent directement par diffusion de l'entérocyte dans le sang, sans être convertis en triacylglycérols.

Absorption des ions :

- **L'absorption des ions calcium** (Ca2+) se déroule essentiellement dans le **duodénum et le jéjunum proximal** le transport à travers la muqueuse intestinale utilise deux mécanismes :
    - **Un transport passif paracellulaire** qui suit le gradient de concentration ou le gradient osmotique. Cela est possible uniquement si le gradient est suffisamment important, donc lors d'un repas riche en calcium.
    - **Un transport actif vitamine D dépendant**, ce transport intracellulaire dépendant d'un transporteur passif sur la bordure en brosse (CaBP) et d'un deuxième transporteur actif situé sur la membrane basale de l'entérocyte. C'est ce dernier qui est contrôlé par la vitamine D.

  Un pH acide gastrique est essentiel à l'ionisation du calcium : il permet de solubiliser le calcium alimentaire en le maintenant sous forme d'ions Ca^{2+}, favorisant ainsi son absorption intestinale.

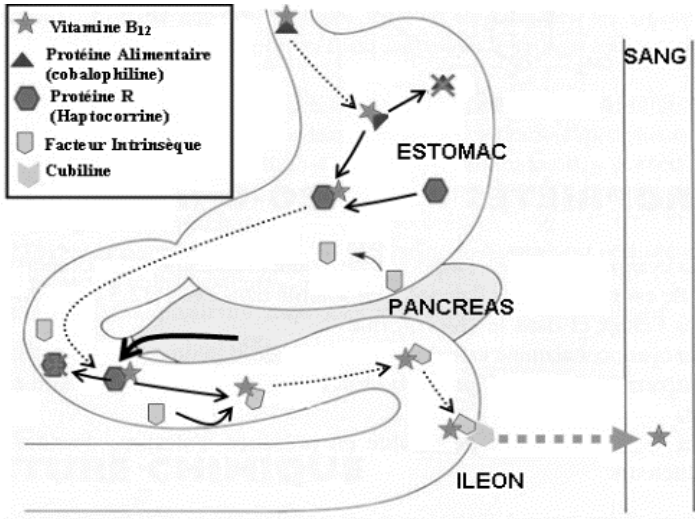
- **Le fer alimentaire** peut être d'origine animal (fer héminique) ou végétale (fer non héminique). L'absorption du fer se produit dans tout l'intestin grêle, mais principalement au niveau du duodénum et de la partie haute du jéjunum. L'absorption du fer dépend de sa nature : **le fer ferrique (Fe3+) est difficilement absorbable** alors que la forme ferreuse (Fe2+) est propice à l'absorption. La transformation du fer ferrique en fer ferreux se fait sous l'influence de la **vitamine C**. Ce processus de réduction est **favorisé par l'environnement acide de l'estomac**, qui augmente la solubilité du fer et permet sa conversion en forme ferreuse plus absorbable.

  Le fer héminique, provenant des viandes, est absorbé plus efficacement, via des transporteurs spécifiques, sans nécessiter de réduction préalable

  Une fois dans l'entérocyte, le fer peut être stocké sous forme de **ferritine** ou exporté vers le plasma pour être transporté par la **transferrine**.

Absorption des vitamines :

- Les vitamines hydrosolubles sont absorbées par entraînement paracellulaire avec l'eau depuis le duodénum dans l'ensemble de l'intestin.
- Les vitamines liposolubles sont absorbées avec les lipides dans le jejunum et se retrouve au sein des chylomicrons.
- Le mécanisme d'absorption de la **vitamine B12** (cobalamine) est plus complexe.
    - La cobalamine alimentaire est libérée des aliments dans l'estomac.
    - En raison du pH gastrique, acide, elle se dissocie de sa protéine vectrice alimentaire et est couplée à une glycoprotéine d'origine salivaire, la **protéine R.**
    - Dans le duodénum, le pH alcalin et l'action de la trypsine (enzyme pancréatique) dégradent la protéine R et libèrent la cobalamine. Celle-ci s'associe alors au **facteur intrinsèque** produit par l'estomac.
    - Arrivée au niveau de **l'iléon terminal,** le complexe cobalamine-facteur intrinsèque se lie à des récepteurs spécifiques qui reconnaissent le facteur intrinsèque. La vitamine B12 est libérée et absorbée.
    - Elle est transportée dans le sang grâce à la **transcobalamine**.



Absorption de la vitamine B12

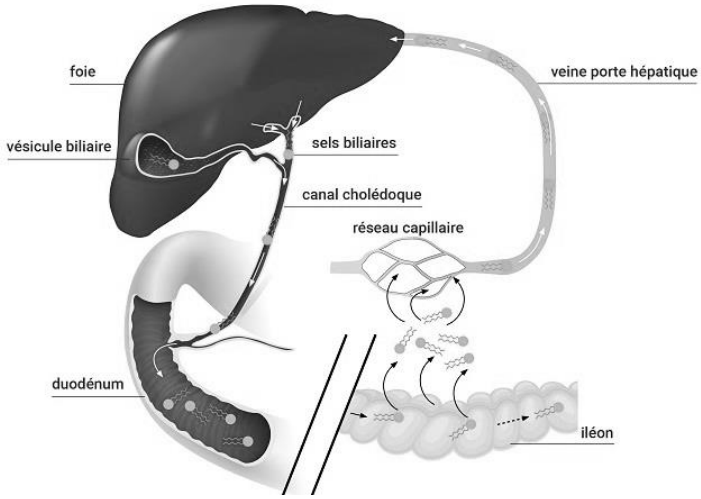
Absorption des sels biliaires, le cycle entérohépatique :

Le cycle entérohépatique désigne la circulation en boucle de certaines substances entre le foie, la bile, le tube digestif et à nouveau le foie via la veine porte. Il concerne principalement les sels biliaires, mais aussi certaines vitamines liposolubles (notamment la vitamine K), des médicaments ou des toxines. Ce cycle permet une réutilisation efficace de ces composés, limitant leur perte dans les selles et optimisant les fonctions digestives.

Au cours de la digestion, les sels biliaires sont synthétisés par les hépatocytes à partir du cholestérol, puis stockés dans la vésicule biliaire. Lors d'un repas, sous l'action de la cholécystokinine (CCK), la vésicule se contracte et libère la bile dans le duodénum. Les sels biliaires facilitent la digestion des lipides en les émulsionnant, c'est-à-dire en les dispersant en fines gouttelettes pour en augmenter la surface de contact avec les lipases.

Après avoir accompli leur fonction, les sels biliaires sont majoritairement réabsorbés (environ 95%) au niveau de l'iléon terminal, principalement par un transport actif sodium-dépendant. Ils rejoignent ensuite la circulation porte pour retourner au foie, où ils sont captés par les hépatocytes et sécrétés à nouveau dans la bile, fermant ainsi le cycle. Ce mécanisme permet une économie métabolique importante, puisque le foie ne doit synthétiser que 5% des sels biliaires nécessaires chaque jour.

Outre les sels biliaires, certaines substances comme les hormones stéroïdes, les médicaments glucuro- ou sulfo-conjugués, ou encore des toxines bactériennes peuvent aussi être excrétées dans la bile, modifiées par le microbiote intestinal, puis réabsorbées, ce qui prolonge leur temps de résidence dans l'organisme et peut moduler leur activité.



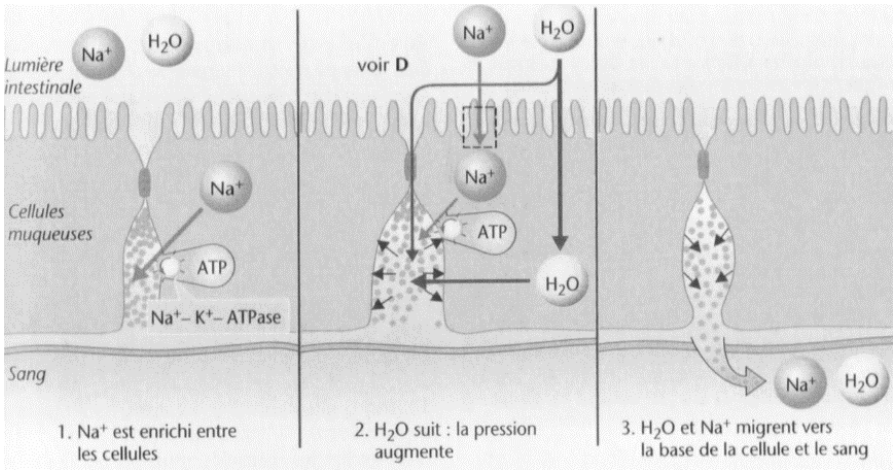
Le cycle entérohépatique

5) Gros intestin : Formation du bol fécal

Le côlon a deux fonctions principales : **l'absorption d'eau** et d'**électrolytes** et la **constitution du bol fécal**.

Les sécrétions digestives et l'eau alimentaire représentent en moyenne 7 litres d'eau, dont plus de 75% sont absorbés dans l'intestin grêle. Au passage à travers la valve iléo-cæcale, le chyme intestinal contient encore 1 500 mL d'eau. Les matières fécales en contenant en moyenne 150 mL, la différence est donc réabsorbée dans le côlon. Malgré cette activité relativement faible, la capacité totale de réabsorption d'eau et du côlon est très importante environ 5 L par jour. La majeure partie de cette absorption survient dans la partie ascendante et dans la première partie transverse du côlon. Les autres parties du côlon ont davantage une fonction de stockage des matières entre deux défécations.

La muqueuse colique a une grande capacité **d'absorption active du sodium**. Les molécules d'eau suivent les mouvements du sodium grâce à la pression osmotique générée au pôle basal des entérocytes. La caractéristique du côlon réside dans la quasi-imperméabilité des jonctions intercellulaires au sodium alors qu'elles sont perméables à l'eau. De ce fait, le côlon est capable de maintenir un milieu hypertonique dans l'espace intercellulaire et de drainer une quantité plus importante d'eau que l'intestin grêle.



Absorption de l'eau dans le colon

L'absorption d'eau et des électrolytes dans le côlon est sous contrôle hormonal notamment par **l'aldostérone** favorisant la mise en surface des pompes Na+/K+ et donc l'absorption active du sodium.

La formation du bol fécal a lieu principalement dans la seconde moitié du colon transverse et le colon descendant. Le colon sigmoïde sert plutôt de stockage du bol fécal entre deux défécations.

La formation du bol fécal est principalement dû à la transformation des résidus non absorbés par le microbiote intestinal. La flore colique est composée de plus de 200 espèces bactériennes, avec une prédominance des bactéries anaérobies (bactéroïdes, clostridies) et quelques bactéries aérobies sont (principalement Escherichia coli).

Le substrat nutritif de ces bactéries est les restes alimentaires non digérés : glucides complexes, fibres alimentaires, protéines et acides aminés ainsi que certains acides gras :

- **Les fibres glucidiques** sont dégradées par fermentation en acides gras à chaîne courte, hydrogène, dioxyde de carbone, méthane, propionate et acétate. Les acides gras ainsi obtenus représentent une source énergétique importante pour les entérocytes. Les bactéries de fermentation peuvent également digérer de faibles quantités de cellulose, mais cette digestion reste très limitée chez l'Homme.
- **La dégradation des protéines et des acides aminés** engendre des produits différents selon le substrat dégradé :
    - La dégradation du tryptophane génère des indoles
    - Celle de la glycine, de l'ammoniac
    - Celle de la méthionine de l'hydrogène sulfuré
- **Les sels biliaires** non réabsorbés au niveau de l'iléon sont dégradés en produits stimulant la sécrétion des glandes coliques et dotés d'un effet irritant.

Les différentes molécules produites par le microbiote vont avoir un impact sur la physiologie de notre organisme notamment :

- Le développement et maturation du système immunitaire
- Le stockage des graisses abdominales
- L'angiogenèse abdominale (synthèse de vaisseaux sanguins) et donc une meilleure capacité d'absorption
- Modulation du système nerveux central (axe intestin cerveau)

La prolifération bactérienne excessive peut diminuer l'absorption de la vitamine B12 et augmenter la production bactérienne de folates et de vitamine K.

L'arrivée des matières fécales dans le rectum provoque l'apparition du besoin de défécation.
Le rectum est habituellement vide. Il est fermé par un double sphincter très puissant, formé d'une partie interne (muscle lisse) et d'une partie externe (muscle strié).

Marlène Gonzalez Sances – L1 SpS

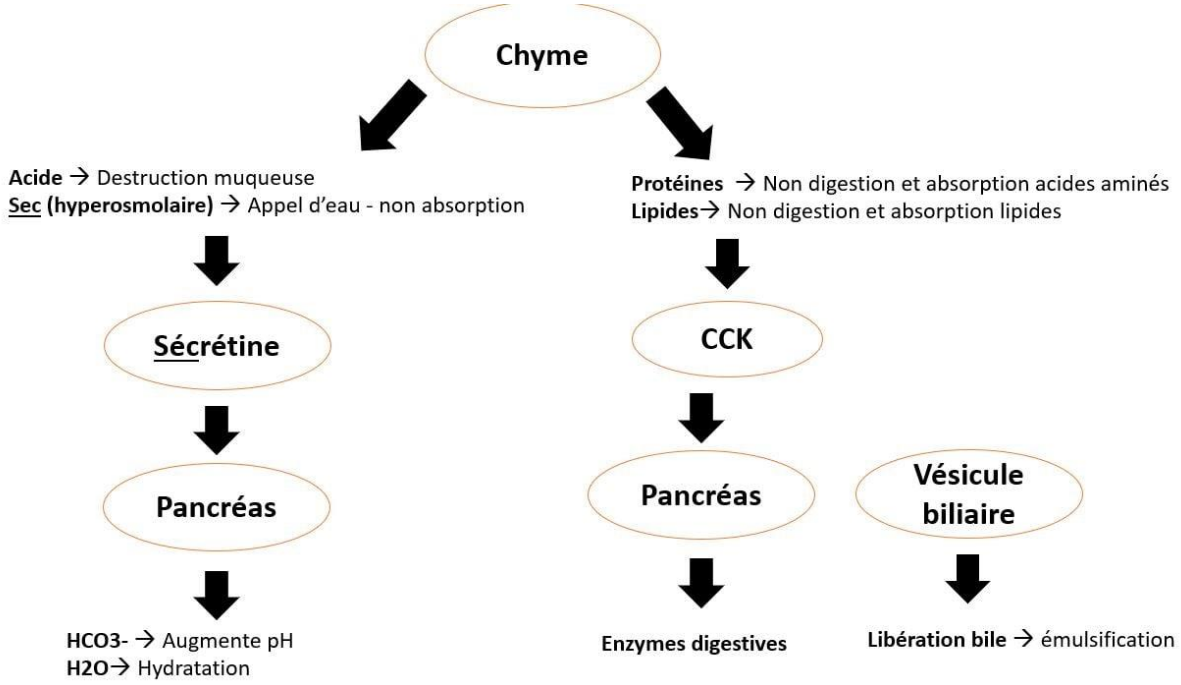
Lorsque les matières fécales arrivent dans le rectum, celles-ci détendent la paroi et stimulent les plexus locaux, ce qui génère une onde péristaltique. La propagation de l'onde contractile à l'anus induit le relâchement du sphincter anal interne.

Les stimulations de l'ampoule rectale sont également conduites vers le système nerveux central qui de manière consciente enclenchera le relâchement du sphincter anal externe strié et l'expulsion des selles.

6) Régulation de l'appareil digestif

La régulation des sécrétions digestives se déroule en trois phases coordonnées : céphalique, gastrique et intestinale.

- **La phase céphalique** est déclenchée par anticipation avant même l'arrivée des aliments dans l'estomac, par la vue, l'odeur, le goût ou la pensée de nourriture. Elle est entièrement nerveuse et dépend des voies extrinsèques parasympathiques, en particulier du **nerf vague**, qui stimule les sécrétions salivaires, gastriques et pancréatiques via l'acétylcholine. La phase gastrique commence avec l'arrivée des aliments dans l'estomac.
- **La phase gastrique** est provoquée par la distension de la paroi gastrique et la présence de peptides qui stimulent les récepteurs mécaniques et chimiques de la muqueuse. Cela active à la fois **les voies nerveuses extrinsèques et intrinsèques** (réflexes vagaux et locaux via les plexus nerveux myentérique et sous-muqueux) et la sécrétion de **gastrine**. La gastrine, libérée par les cellules G de l'antre gastrique, augmente la sécrétion d'acide chlorhydrique (HCl) par les cellules pariétales et stimule la motilité gastrique.
- **La phase intestinale** est déclenchée par l'acidité et la composition du chyme gastrique qui arrive dans le duodénum. La régulation est à la fois nerveuse et hormonale. La présence d'un chyme riche en protéines et lipides déclenche la sécrétion de **cholécystokinine**, l'acidité et l'osmolarité du chyme déclenche la sécrétion de **sécrétine.** Dans un premier temps lors que la digestion a lieu dans l'estomac le passage que quelques gouttes de chyme dans le duodénum permet la production de CCK et sécrétine afin de déterminer que le chyme n'est pas encore prêt à passer en phase intestinale et la CCK et sécrétine inhibent la vidange gastrique en bloquant les récepteurs de la gastrine au niveau du sphincter pylorique.
  Dans le contrôle de la phase intestinale la CCK, produite si le chyme est trop riche en peptides et lipides, stimule les **cellules acineuses** et augmente la sécrétion d'enzymes digestives. L'acidité et l'osmolarité du chyme déclenche la sécrétion de **sécrétine** qui stimule les **cellules centroacineuses** et augmente la production d'eau et d'ions. La présence d'eau permet d'apporter l'ensemble des enzymes produites à la lumière du duodénum.



Contrôle de la digestion intestinale par la CCK et la sécrétine

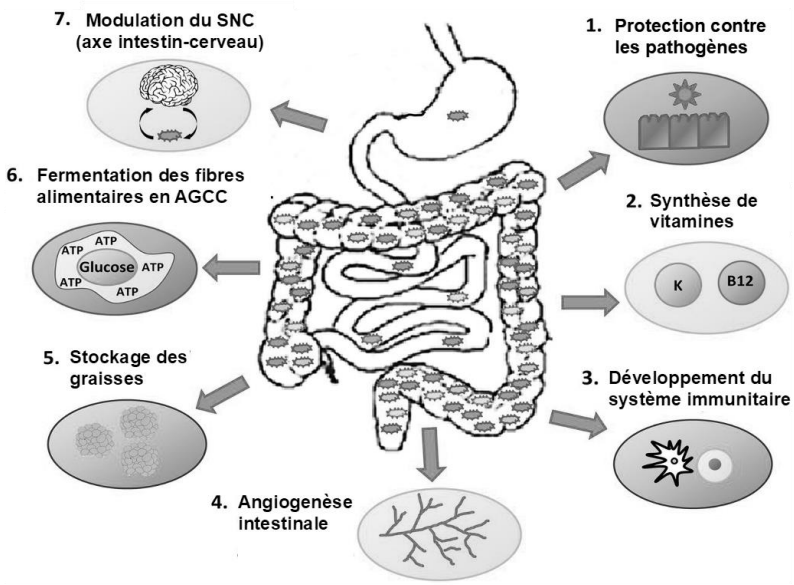
7) Le microbiote intestinal

Le microbiote intestinal humain est une communauté complexe, stable et dynamique de micro-organismes comprenant principalement des bactéries, mais aussi des virus, archées, champignons et protozoaires. Il représente un poids total d'environ 1 à 2 kg et un patrimoine génétique (le microbiome) 100 fois supérieur à celui de l'hôte humain. La diversité du microbiote est vaste, bien que dominée par deux familles bactériennes principales : Firmicutes et Bacteroidetes. La répartition du microbiote varie selon les segments du tube digestif : il est quasi absent dans l'estomac et le duodénum (à cause du pH acide et du transit rapide), modérément présent dans l'iléon, et atteint son apogée dans le côlon où la fermentation est maximale. L'implantation du microbiote débute dès la naissance : les nouveau-nés nés par voie basse reçoivent un microbiote d'origine vaginale, tandis que ceux nés par césarienne sont colonisés par des bactéries cutanées et environnementales. L'allaitement favorise la dominance de bifidobactéries, alors que le sevrage et l'introduction de solides enrichissent la diversité. Le microbiote se stabilise progressivement entre 2 et 3 ans et reste relativement stable à l'âge adulte, sauf en cas de prise d'antibiotiques, de maladies ou de changements alimentaires drastiques.

Le microbiote intestinal assure de multiples fonctions essentielles, tant au niveau **digestif** que **métabolique, immunitaire et neuroendocrinien**.

- Le microbiote agit comme un **rempart contre les pathogènes**, en occupant l'espace, en consommant les nutriments disponibles et en produisant des substances antimicrobiennes (bactériocines, acides organiques).
- Il est également impliqué dans la **synthèse de vitamines** du groupe B (B1, B2, B6, B12) et de la **vitamine K**, indispensables à de nombreuses fonctions biologiques.

- Il module la **perméabilité de la barrière intestinale** et joue un rôle fondamental dans la **maturation du système immunitaire**, notamment par l'intermédiaire des cellules dendritiques, des lymphocytes T régulateurs et des immunoglobulines A.
- Le microbiote régule le métabolisme de l'organisme en particulier **l'absorption et le stockage des graisses.**
- Il participe à la digestion des fibres alimentaires que l'organisme ne peut hydrolyser, les transformant en **acides gras volatils** aux effets trophiques sur la muqueuse colique, aux rôles anti-inflammatoires et participent à la communication cerveau-intestin (acide butyrique)
- Enfin, les bactéries intestinales produisent des **neuromédiateurs** (sérotonine, GABA, dopamine) et des métabolites qui influencent l'axe **intestin-cerveau**, affectant ainsi l'humeur, l'appétit et le comportement.



Les principaux rôles du microbiote intestinal

Bilan absorption des nutriments :

Substance	Site principal d'absorption	Mécanisme d'absorption	Conditions / cofacteurs nécessaires
Glucides (glucose, galactose)	Jéjunum	Transport actif secondaire (SGLT1/GLUT2/pompe Na/K)	Na^+ et ATP dépendant
Fructose	Jéjunum	Diffusion facilitée (GLUT5/GLUT2)	–
Acides aminés	Jéjunum	Transport actif secondaire	Na^+ et ATP dépendant
Acides gras, monoglycérides	Jéjunum	Diffusion passive via micelles puis formation chylomicron	Présence de sels biliaires, et apolipoprotéines pour la synthèse des chylomicrons
Cholestérol	Jéjunum	Diffusion facilitée via micelles	Sels biliaires nécessaires
Sels biliaires	Iléon terminal	Transport actif	Cycle entérohépatique ; Na^+ dépendant
Eau	Intestin grêle + côlon ascendant	Osmose passive	Suivi du gradient osmotique créé par transport actif de Na^+
Na^+, Cl^-, K^+	Intestin grêle + côlon	Transport actif ou diffusion selon l'ion	Régulation hormonale possible (ex : aldostérone)
Fer (Fe^{2+})	Duodénum	Transport actif	pH acide gastrique + réduction via vitamine C $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ +
Calcium	Duodénum + jéjunum	Transport actif intracellulaire et diffusion passive paracellulaire	Selon gradient de concentration Transport intracellulaire : Stimulé par la vitamine D (calcitriol)
Vitamine B12	Iléon terminal	Endocytose récepteur-complexe B12–facteur intrinsèque	Liaison au facteur intrinsèque
Vitamines liposolubles	Jéjunum	Diffusion passive via micelles	Sels biliaires nécessaires
Vitamines hydrosolubles	Jéjunum	Transport actif ou diffusion facilitée	Transporteurs spécifiques

Bilan digestion des molécules organiques :

Type de molécule	Enzymes digestives	Origine	Site d'action	Produits finaux
Glucides	Amylase salivaire Amylase pancréatique Maltase, lactase, Saccharase	Glandes salivaires Pancréas Bordure en brosse	Bouche (début) Duodénum Jejunum	Glucose, fructose, galactose
Lipides	Lipase pancréatique Sels biliaires	Pancréas Foie (via bile)	Duodénum	Acides gras monoglycérides
Protéines	Pepsine Trypsine, Chymotrypsine Dipeptidases	Estomac Pancréas Bordure en brosse	Estomac Duodénum Jejunum	Acides aminés
Acides nucléiques	ADNase, ARNase Nucléotidases et nucléosidases	Pancréas Entérocytes	Jéjunum Bordure en brosse	Bases azotées, pentoses, phosphates

Bilan régulation de la digestion :

Phase	Stimuli	Voies nerveuses	Hormones principales	Organes cibles / Effets
Céphalique	Vue, odeur, goût, pensée de nourriture	Voies **extrinsèques** (nerf vague, SNC)	Aucune (rôle purement nerveux)	Glandes salivaires, estomac, pancréas : activation des sécrétions digestives précoces
Gastrique	Distension de l'estomac, peptides, pH acide	Réflexes **vagaux** et **plexus entériques**	**Gastrine** (cellules G)	Estomac : ↑ sécrétion HCl, ↑ motilité, ↑ sécrétions enzymatiques
Intestinale	Arrivée du chyme acide, présence de lipides et peptides dans le duodénum	Réflexes **entériques** (plexus locaux)	**Sécrétine**, **CCK**	Pancréas (↑ bicarbonates, ↑ enzymes), foie (↑ bile), vésicule biliaire (contraction), estomac (↓ vidange)