

Coucou ! Fiche un peu longue aujourd'hui mais c'est un cours très intéressant et qui tombe souvent à l'examen ++. Comme d'hab, si vous avez la moindre question, venez la poser sur discord ou le forum. Sur ce, on commence !

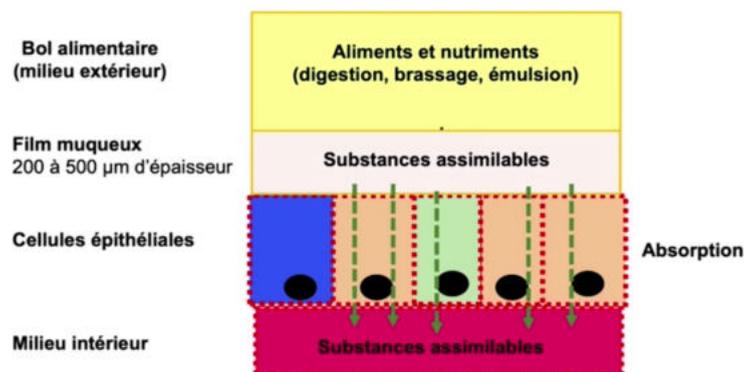
Flux transépithéliaux

I-L'épithélium digestif

Dans l'**intestin grêle**, il y a **2 couches**, de la lumière vers les cellules:

⇒ Une couche brassée

⇒ Une couche fixée



Dans la couche brassée: on retrouve les **aliments** et les **nutriments**. La digestion s'y déroule et l'émulsion des graisses également.

Dans la couche fixée: elle contient les **co-transporteurs** ou encore les **canaux** pour la diffusion facilitée.

⇒ Elle se trouve à l'intérieur d'un film muqueux qui est un gel hydrique à la surface du pôle luminal des entérocytes.

⇒ **Les graisses peuvent traverser la membrane plasmique** Elles sont hydrophobes comme la membrane donc elles peuvent passer tranquille.

Toutes ces substances vont se retrouver dans le milieu intérieur donc le liquide interstitiel et la circulation sanguine.

Dilution des aliments et variations du pH

La cavité + sa fonction	Type de sécrétion	Volume (L/j)	L'osmolarité par rapport au plasma	pH
Bouche (découpe)	Salive	1,5	Hypotonique	7
Estomac (malaxe)	Suc gastrique	2	Isotonique	1
Duodénum et jéjunum proximal (brasse)	Suc pancréatique Biliaire Intestinal	1,5 0,5 1,5	Hypertonique	8
Jéjunum distal et en aval (évacuation)	Suc intestinal	faible	Isotonique	7

La bouche: découpe les **aliments** et les dissout dans la salive.

⇒ liquide **hypotonique** à pH **neutre**

L'estomac: il malaxe les aliments dans le suc gastrique qui est abondant.

⇒ liquide **isotonique** à pH **acide**

L'intestin grêle: les différentes sécrétions vont former un milieu **alcalin** et **hypertonique** pour permettre l'absorption.

Ensuite, les structures évacuent les résidus dans un faible volume de liquide isotonique à pH **neutre**.

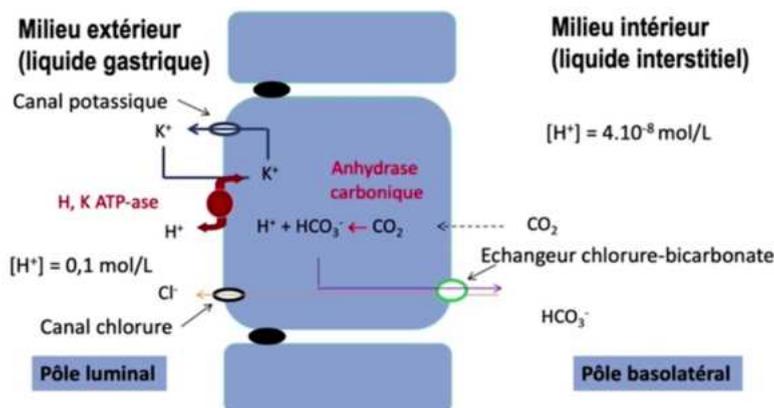
L'acidification de l'estomac

L'intérieur de notre estomac contient une **concentration en protons importante** (pH=1)

Le **milieu intérieur**, en revanche, est **moins riche en protons** (pH=7,40)

L'acidification de l'estomac est le fruit du travail de la pompe **H⁺/K⁺ATPase** qui sécrète des protons **en permanence**.

Maintenant on va voir plus en détail comment tout cela fonctionne.



Étape 1: l'hydratation du carbone facilitée par l'**anhydrase carbonique** donne des protons



Étape 2: La pompe **H+/K+ATPase** largue des protons dans la lumière gastrique.

Étape 3: Le canal **potassique** permet le recyclage de ce dernier

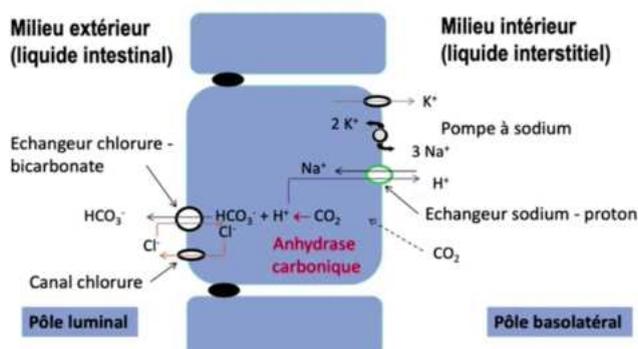
Étape 4: L'échangeur **Bicarbonates/Cl-** relargue le **HCO₃⁻** dans le **milieu intérieur**.

Étape 5: Le **canal chlorure** va sécréter du **Cl⁻** dans la lumière gastrique.

⇒ Cela explique la présence d'acide CHLORhydrique dans l'estomac.

La sécrétion de bicarbonates dans le duodénum

Dans le duodénum, des sécrétions alcalines sont déversées par le pancréas exocrine.



Étape 1: Les **protons** sont générés via l'hydratation du carbone facilitée par **l'anhydrase carbonique**.

Étape 2: La **pompe à sodium** (basolatérale) rejette **3 Na⁺** et fait rentrer **2 K⁺**. Il y a donc un gradient favorable à l'entrée du **sodium** dans la cellule.

Étape 3: L'échangeur **Na⁺ / H⁺** (basolatéral) va sécréter le proton dans le milieu intérieur.
L'hydratation du gaz carbonique permet d'avoir le proton on s'en souvient

Étape 4: L'échangeur **HCO₃⁻ / Cl⁻** (au pôle luminal) déverse le bicarbonate dans le liquide intestinal.

⇒ Alcalinisation du milieu

Étape 5: Le canal chlorure (au pôle luminal) permet le recyclage de cet ion pour l'échangeur.

Émulsion des lipides par les acides biliaires

Les **acides biliaires** (présents dans le suc biliaire) permettent la mise en émulsion des lipides.



Acide biliaire: il s'agit d'une substance **amphiphile** qui peut entourer les lipides hydrophobes à l'intérieur de micelles.

⇒ Les **acides biliaires** possèdent une face **hydrophobe** et une autre **hydrophile**.

Les acides gras, le cholestérol et le monoacylglycérol vont être entourés **d'acides biliaires** qui les rend solubles dans le gel muqueux qui est au- dessus des entérocytes.

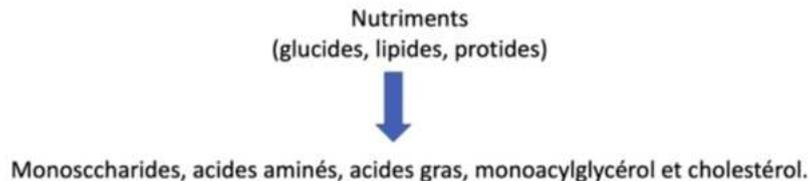
Intérêt du conditionnement (digestion)

Le conditionnement dans l'**intestin grêle** a pour but de rendre la digestion la plus optimale possible, de parfaire la digestion.

⇒ **Le pH, le brassage et l'hydratation favorisent l'action des enzymes.**

Les enzymes vont travailler de manière optimale à un certain degré d'hydratation et un certain pH.

⇒ Tout le bol alimentaire sera **soumis** à cette action chimique car ce dernier est brassé.



Les nutriments sont transformés en substances assimilables:

- Monosaccharides
- Acides aminés
- Acides gras
- Monoacylglycérol
- Cholestérol

Il s'agit des seuls composés chimiques assimilables chez l'Homme !! +++

L'absorption intestinale

La fonction d'absorption dans l'**intestin grêle** est très développée *Nannan jure*

Les entérocytes présentent des **microvillosités**. Elles permettent **d'augmenter la surface d'échange**.

Ils possèdent également un gel muqueux qui permet la diffusion facilitée des monosaccharides et des acides aminés.

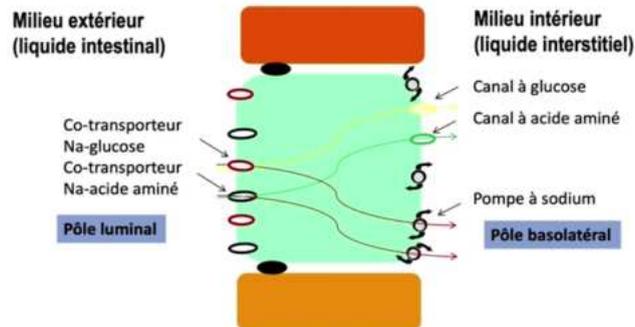
Les lipides passent par diffusion simple. *Parce qu'ils sont hydrophobes*

On n'absorbe pas tout ce que l'on ingère ++++

Seules les osmoles alimentaires qui peuvent être transportées par un transporteur moléculaire vont passer dans le milieu intérieur.

Ces osmoles (à l'exclusion des lipides), vont passer par diffusion facilitée.

⇒ On dit que le transport de ces osmoles est asservi au transport du sodium *Vous allez comprendre pourquoi.*



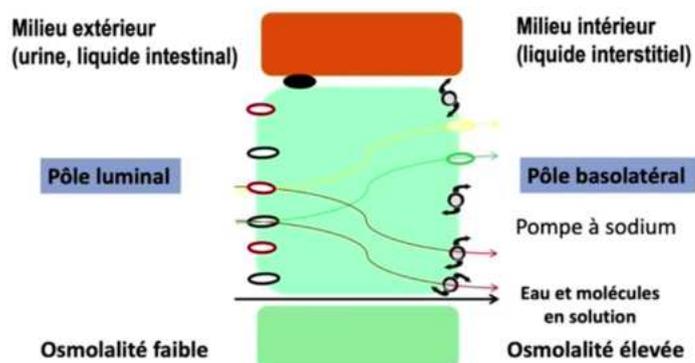
Étape 1: Les **pompes à sodium** créent un gradient favorable à l'entrée du **sodium** dans la cellule

Étape 2: Les co-transporteurs **Na/glucose** et **Na/AA** vont permettre l'entrée du **sodium** au pôle luminal de la cellule.

Étape 3: Les canaux à glucose et AA vont permettre l'entrée de nutriments dans le **milieu intérieur**.

Cet asservissement du passage du glucose et AA à celui du sodium permet une **augmentation de la concentration** cytoplasmique des entérocytes en osmoles alimentaires.

Donc le gradient chimique de ces osmoles permet leur sortie dans le milieu intérieur grâce aux canaux à glucose et à AA.



En **accumulant** des osmoles du côté basolatéral, on **augmente l'osmolarité** du **milieu intérieur** (la concentration est plus grande).

L'eau va passer par voie para-cellulaire avec des molécules en solution ++



La diffusion facilitée permet donc l'absorption d'eau !!

On s'hydrate par la création d'un gradient favorable au passage de l'eau !

Application médicale

Lors d'une épidémie de choléra, particulièrement chez l'enfant, l'OMS indique un soluté de réhydratation orale.

Composition du soluté:

- Du **sodium**: **75 mmol/L**
- Du **glucose**: **75 mmol/L**
- Des **anions**: **75 mmol/L**

Ce soluté contient du **sodium** et du **glucose** car l'absorption de l'un est couplée à celle de l'autre.

Ces substances sont essentielles à la création d'un gradient osmolaire, à condition que l'osmolarité du soluté soit inférieur à celui du plasma.

⇒ **300 mmol/L** pour le **plasma**

⇒ **245 mmol/L** pour le soluté

On peut donc avoir une réhydratation !!

Si on avait un soluté **hyperosmolaire** par rapport au **plasma** ou qui ne contient de sodium/glucose, et bien ce soluté ne donnerait pas une réhydratation.

Conclusion de la 1ère partie

⇒ Le milieu **intestinal** est conditionné par de nombreux facteurs mécaniques et chimiques.

⇒ **L'intestin grêle** est le siège de l'absorption des osmoles alimentaires.

- ⇒ L'absorption des monosaccharides et des AA est **couplée à celle du sodium**.
- ⇒ L'absorption de l'eau dépend de celle des précédentes.
- ⇒ Les lipides sont absorbés par diffusion simple.
- ⇒ Le premier mètre de l'intestin grêle absorbe **90% des osmoles alimentaires** (très grande réserve fonctionnelle).

II-L'épithélium rénal (réabsorption)

Cet épithélium réalise une réabsorption puisque **l'urine primitive** est obtenue après filtration du **plasma**.

Dans l'épithélium **rénal**, il est essentiel de différencier la réabsorption des osmoles les unes par rapport aux autres.

Le conditionnement de l'urine primitive

L'urine primitive est **conditionnée par les glomérules**. Ce sont ces structures qui filtrent le **plasma** en évitant que les molécules en suspension, notamment les protéines, se retrouvent à l'intérieur du compartiment urinaire.

L'ultrafiltrat est de 172,8 L/jour

⇒ Les reins filtrent le plasma **50 fois par jour**.

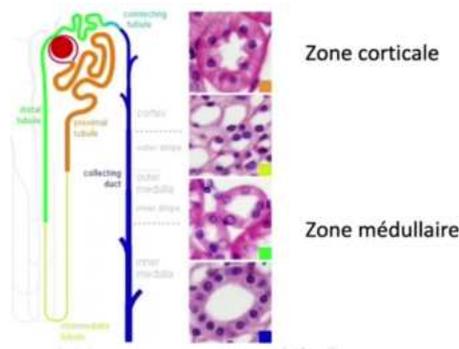
On urine 2L par jour

⇒ Cela indique que l'épithélium tubulaire réabsorbe la majeure partie de l'ultrafiltrat glomérulaire.

Spécialisation segmentaire des fonctions tubulaires

Au cours de son trajet dans le compartiment urinaire, **l'urine** rencontre différents types de cellules et chaque cellule a une spécialité dans les transports.

On peut observer la morphologie distincte du tubule proximal et du tubule distal dans des différentes sections. On considère simplement la zone corticale et la zone médullaire du tubule proximal et du tubule distal.



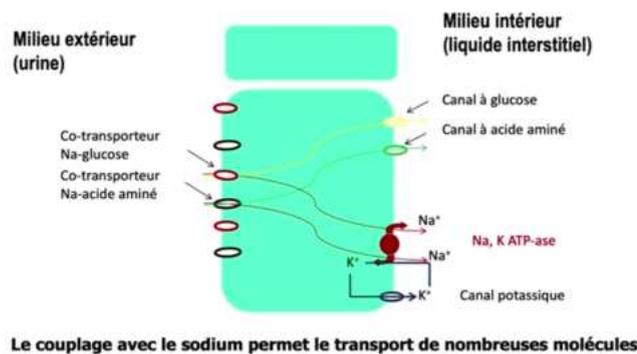
Tubule proximal

Réabsorption d'osmoles couplée au Na⁺:

Dans le tubule proximal (uniquement cortical), la réabsorption est **couplée au sodium**.

Important de comprendre et de retenir ça !

En fait, c'est exactement comme dans l'intestin grêle.



Étape 1: La **pompe à sodium** (basolatéral) génère un gradient favorable à l'entrée de sodium dans la cellule.

Étape 2: Le canal **potassique** (basolatéral) permet le recyclage du potassium.

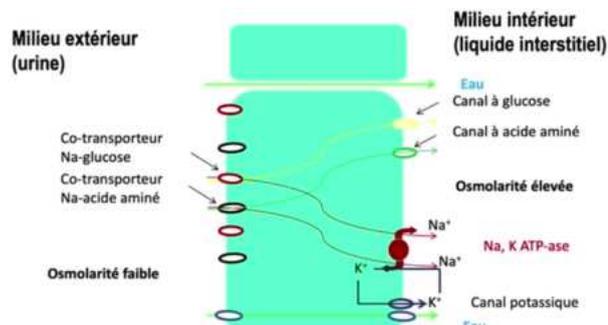
Étape 3: Les co-transporteurs **Na/glucose** et **Na/AA** (luminal) vont asservir l'entrée de sodium à celle des osmoles.

Étape 4: Les canaux **glucose** et **AA** (basolatéral) permettent l'entrée des osmoles (nutriments) dans le **milieu intérieur**.

La réabsorption d'eau liée aux osmoles:

Comme dans **l'intestin grêle**, la création d'un gradient osmolaire permet la diffusion de l'eau.

⇒ Gradient osmolaire milieu intérieur > milieu extérieur (urine)

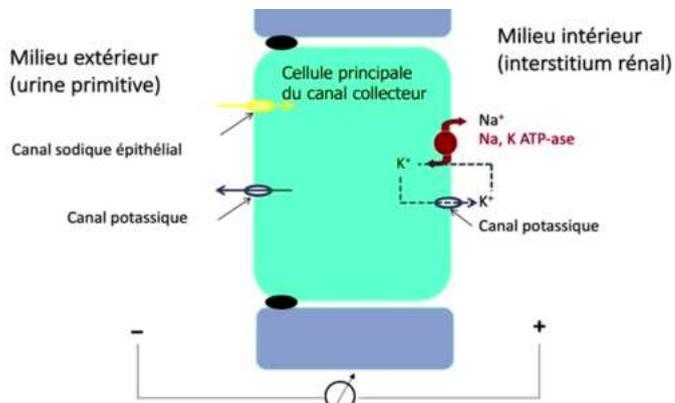


L'eau va donc passer par voie para-cellulaire MAIS AUSSI grâce aux aquaporines.

Tubule distal cortical

Réabsorption différentielle ou sécrétion spécifique:

Dans le tubule distal, la **réabsorption différentielle va démarrer.**



Étape 1: La **pompe à sodium** (basolatéral) génère un gradient favorable à l'entrée de sodium dans la cellule.

Étape 2: Le canal **ENaC** (luminal) permet la diffusion facilitée du **sodium**. *Sous l'effet de la pompe*

Étape 3: Le canal **potassique** (basolatéral) permet le recyclage du potassium.

Étape 4: Le canal potassique (luminal) va faire **sortir du K+** via le gradient chimique.

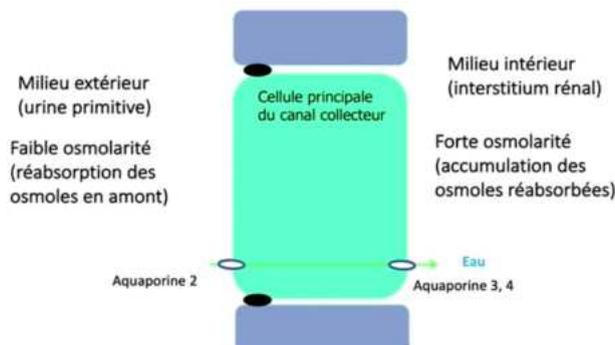
⇒ **Le gradient chimique et électrique du K+ favorise sa sortie !**

Tubule distal médullaire

Réabsorption d'eau libre d'osmoles:

Ici, la réabsorption de l'eau est liée à l'accumulation d'osmoles réabsorbées qui va se traduire par un très fort gradient.

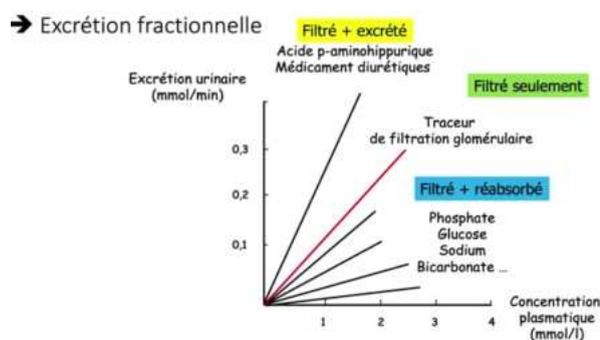
Dans la zone médullaire, l'urine arrive très diluée à cause de la réabsorption des osmoles en amont.



L'eau va être transportée par voie TRANScellulaire (régulée) via des aquaporines

L'excrétion fractionnelle

Pour savoir ce qui est filtré, sécrété ou réabsorbé à l'intérieur de l'urine, nous utilisons le concept d'excrétion fractionnelle.



Il faut savoir que ce qui est mis dans le plasma (axe horizontal), se retrouve dans l'urine de façon proportionnelle lorsque c'est simplement filtré.

⇒ En utilisant un traceur de filtration glomérulaire nous avons une relation linéaire en rouge au milieu du graphique avec un angle de 45°.

Si des substances vont être excrétées en plus d'être filtrées

⇒ La relation excrétion urinaire - concentration plasmatique est **au-dessus** de la ligne de 45°.

Maintenant si des substances vont être filtrés et ensuite réabsorbées (remises dans le milieu intérieur)

⇒ La relation va se retrouver **en dessous** de la ligne de 45°.

Calcul de l'excrétion fractionnelle

La clairance d'un traceur de filtration glomérulaire nous aide à concevoir la relation qui existe entre:

- La concentration du traceur dans **l'urine**
- La concentration du traceur dans le **plasma**

Elles sont proportionnelles au débit urinaire et à la clairance rénale

Clairance rénale: Il s'agit du rapport entre le produit de concentration du traceur dans l'urine par le débit urinaire divisé par la concentration plasmatique du traceur.

$$[\text{Traceur}]_{\text{urinaire}} \times \text{débit urinaire} = [\text{Traceur}]_{\text{plasmatique}} \times \text{clairance rénale}$$

$$\text{Clairance rénale} = \frac{[\text{Traceur}]_{\text{urinaire}} \times \text{débit urinaire}}{[\text{Traceur}]_{\text{plasmatique}}}$$

L'excrétion fractionnelle: rapport de la clairance d'une osmole à la clairance du traceur de filtration glomérulaire.

⇒ Elle indique à quelle intensité une osmole obligatoirement **filtrée** est **réabsorbée**

Donc une fois filtrée, une osmole est soit réabsorbée soit excrétée.

- Une excrétion fractionnelle faible indique une réabsorption **forte**

⇒ Cas du **sodium**

- Une excrétion fractionnelle forte indique une réabsorption **faible**.

⇒ Cas des **phosphates**

$$\frac{C_{\text{osmole}}}{C_{\text{traceur}}} \rightarrow \frac{U_{\text{osmole}} \times \text{diurèse}}{P_{\text{osmole}}} \div \frac{U_{\text{traceur}} \times \text{diurèse}}{P_{\text{traceur}}}$$
$$FE_{\text{osmole}} = \frac{U_{\text{osmole}} \times P_{\text{traceur}}}{P_{\text{osmole}} \times U_{\text{traceur}}} \times 100$$

Calcul de l'excrétion fractionnelle notée FE

Le tutorat est gratuit. Toute vente ou reproduction est interdite.

La fonction rénale

Le rein est un organe qui assure de nombreuses fonctions.



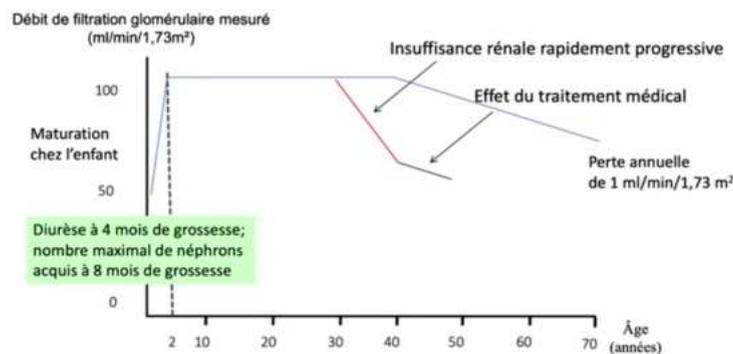
Le débit de filtration désigne la fonction rénale !

Le débit de filtration glomérulaire est **indispensable** à l'exercice des fonctions tubulaires qui dépendent de la présence d'urine primitive !

La fonction rénale désigne la filtration glomérulaire !

La réserve fonctionnelle rénale

Comme on peut le voir sur le schéma, le rein possède une **grande réserve fonctionnelle**. Le débit de filtration glomérulaire est sur l'axe des ordonnées et l'âge sur l'axe des abscisses.



- Le débit est de 120 mL/min/1,73 m²

⇒ Chez un enfant de 2 ans dont les reins sont matures

⇒ Jusqu'à 40 ans

Après cet âge, le débit **diminue petit à petit** pour quand même rester au-dessus d'une valeur seuil → 50 mL/min/1,73 m²

L'insuffisance rénale: elle se traduit par une chute brutale et rapide du débit de filtration glomérulaire.

L'enjeu médical est de parvenir à restaurer une perte liée à l'âge *naturellement quoi* afin de préserver le fonctionnement des reins.

Conclusion de la 2ème partie

⇒ La réabsorption des osmoles et de l'eau peut être sélective ou globale dans le rein et cela permet de réguler le contenu en sodium et en eau de l'organisme.

⇒ En effet, la réabsorption des composés présents dans l'urine primitive sera faite en fonction des besoins de l'organisme sous l'effet des facteurs régulateurs.

⇒ Certaines substances vont être sécrétées dans l'urine, cela permet de détoxifier le sang.

**La fonction rénale est la fonction de filtration car la fonction tubulaire y est subordonnée
+++++**

Par coeur cette phrase +++

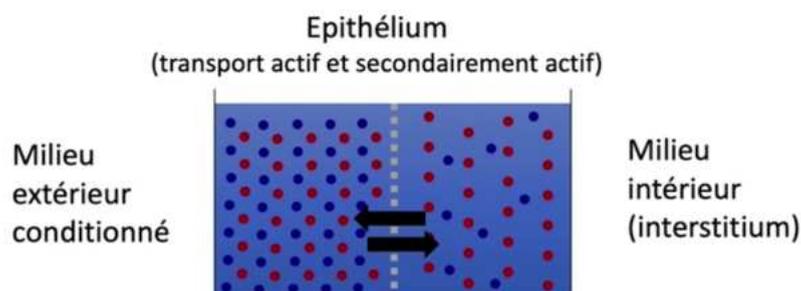
III-Vue d'ensemble des échanges épithéliaux

C'est très important d'avoir une vue d'ensemble de ce qui se passe dans les échanges entre les milieux extérieurs et intérieurs. Ce sont les épithéliums qui sont au cœur de ces échanges.

Paramètres, échanges, loi de Fick

Les échanges à travers les épithéliums sont conditionnés par:

- La **surface de contact** entre les 2 milieux
- Le gradient chimique des molécules qui vont traverser ces épithéliums



Ce gradient dépend en partie du débit des fluides de part et d'autre de l'épithélium.

⇒ Un **fort** débit gêne le passage à travers un transporteur moléculaire ou majore un gradient si on considère qu'il renouvelle le liquide et qu'il optimise donc la différence de concentration de part et d'autre pour un composé chimique.

On peut aussi considérer le **temps de contact** en particulier dans la circulation **pulmonaire** où le débit cardiaque peut accélérer (**x5**), ce qui va ralentir le moment où le **sang**, les globules rouges sont au contact des gaz dissous de l'air alvéolaire.

L'épithélium effectue des transports actifs et secondairement actifs, il ne s'agit pas d'une membrane inerte qui fait une diffusion simple.

Quelles sont les surfaces d'échange entre les différents compartiments ?

Les cellules et leurs microvillosités sont disposées sur une surface plane.

Le poumon :

- Surface de **80 m²**
⇒ L'équivalent d'un terrain de badminton
- **300 millions d'alvéoles** *ça fait beaucoup là non ?*

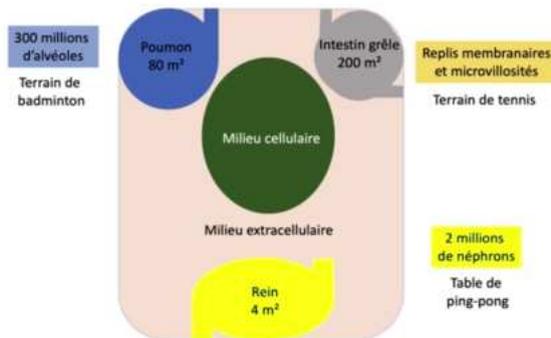
L'intestin grêle :

- Surface de **200 m²**
⇒ L'équivalent d'un terrain de tennis
- Replis membranaires et microvillosités

Le rein :

- Surface de **4 m²**
⇒ L'équivalent d'une table de ping-pong
- **2 millions de néphrons**

Les cellules sont baignées par le milieu extra-cellulaire d'un côté et par le milieu environnant de l'autre.



Les différents débits

Les **poumons** sont une très grande cavité aérienne :

⇒ Ils peuvent brasser jusqu'à **1200 L d'air/jour**

L'intestin grêle est le siège d'un débit de liquide qui va être sécrété et réabsorbé :

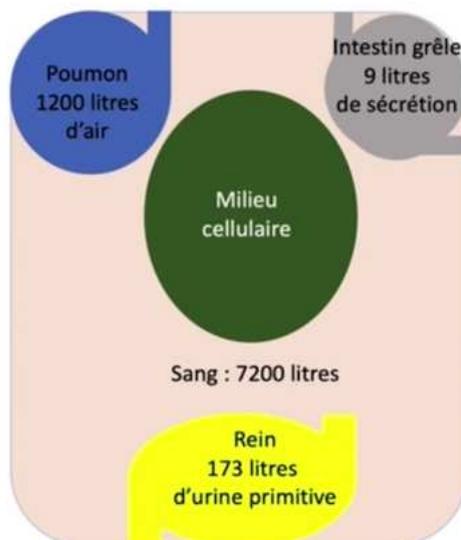
⇒ **9 L/jour** de sécrétion

Le **rein** avec sa filtration du sang a un débit de :

⇒ **173 L/24h soit 120 mL/min**

La fabrication d'urine se fait en permanence et l'urine va permettre de nettoyer la partie circulante du milieu extracellulaire qui est un volume de l'ordre de :

⇒ **7200 L de sang/24h**



Le débit sanguin par organe

Le débit par organe est quelque chose de très important.

Certains organes possèdent une perfusion privilégiée, un débit constant :

- Le poumon reçoit **100%** du débit cardiaque
⇒ Via la **petite circulation**
- Le **cerveau** reçoit **15%** du débit cardiaque
⇒ Cela peu importe l'effort
- Les **reins** reçoivent **20%** du débit cardiaque
⇒ Ils assurent l'équilibre de composition des milieux

En conditions basales	% débit cardiaque	
Poumons	100 %	Débit constant
Cerveau	15 %	
Reins	20 %	
Intestin et appareil digestif	36 %	Débit variable selon l'activité
Muscle et peau	24 %	
autres	5 %	

Cependant, pour l'appareil digestif, le débit sanguin varie en fonction de l'activité digestive.

Les muscles et la peau ont une perfusion qui va dépendre de l'activité musculaire 🦵 et de la transpiration 😓.

L'absorption digestive

Si l'on considère l'absorption digestive, qui a lieu essentiellement dans l'intestin grêle :

- La circulation digestive représente **36% du débit cardiaque**
⇒ Exprimé en litre de **plasma/jour**

Nous pouvons voir que les 9 L de sécrétions viennent au contact de **1425 L/jour de plasma** dans la circulation systémique.



- Le débit liquidien intestinal est faible
- Le débit liquidien digestif est en revanche important

⇒ Cela **optimise** les gradients chimique pour la diffusion facilitée des osmoles alimentaires de **l'intestin** vers le **sang**, en permanence renouvelés au contact de l'intestin.

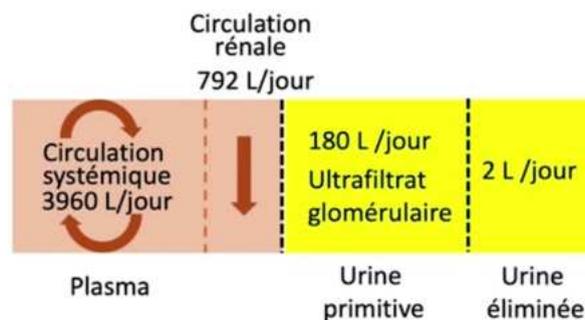
- Le temps de contact est très élevé

⇒ Le bol alimentaire est brassé. Il passe plusieurs heures à l'intérieur de l'intestin grêle.

- la surface d'échange est **importante**

⇒ Cela va favoriser l'absorption.

Les fonctions tubulaires rénales



Les flux circulatoires concernent le plasma :

- **55%** du sang
- L'hématocrite est de **0,45%**
- Le débit cardiaque est de **5 L/min**

Les fonctions sont assurées par la mise en contact d'un ultrafiltrat glomérulaire.

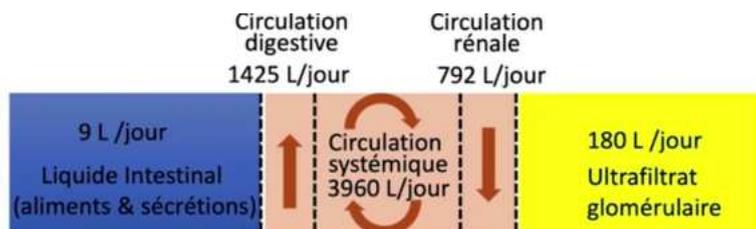
⇒ Environ **180 L/jour** avec **792 L/jour** de plasma

Dans les reins, les échanges ont lieu :

- Sur une petite surface
- En permanence
- A fort débit

L'intérêt en physiologie et en médecine

En mettant en parallèle **l'absorption intestinale** et **l'épuration rénale**, nous avons une image fonctionnelle de l'organisme car ce que l'on ingère va dans le **sang** (à condition que ce soit assimilable). Ensuite, il n'y a plus que les reins pour se débarrasser du surplus dont on n'a pas besoin, notamment le sel et l'eau.



Ce processus est très efficace car il y a une marge de réserve importante !

Avant d'arriver à des insuffisances organiques intestinales ou rénales, il faut que plus de la moitié des organes soient détruits ++

La malabsorption intestinale peut être fonctionnelle :

- **Accélération du transit** → Le contact avec les aliments diminue, on n'arrive plus à absorber.
- **Réduction chirurgicale** de la surface → A la suite d'une maladie.

Insuffisance rénale : c'est la diminution du DFG

Les fonctions tubulaires sont subordonnées à la présence de filtrat ++++

Hématose

L'épithélium **pulmonaire** est le siège de l'hématose. → Il possède une grande réserve fonctionnelle.

Hématose : c'est tout simplement l'oxygénation du sang.



Cette réserve est le résultat des variations du débit sanguin (**x5**) et aérien (**x15**) qui vont mettre en contact d'énormes volumes aériens avec d'énormes volumes sanguins.

On parle ici de volume **sanguin** car **il ne suffit pas de dissoudre les gaz dans le sang pour assurer l'oxygénation de l'organisme.**

⇒ Ces gaz doivent être **transportés** par les globules rouges (gaz carbonique et l'oxygène).

- La surface d'échange pulmonaire permet une grande réserve fonctionnelle.

⇒ La surface n'est pas mobilisée en permanence !

En effet, elle peut être amputée en fonction de la position du corps et à l'effort elle va être recrutée en totalité.

- Le temps de contact dans l'arbre aérien et sanguin est **minimum**, il assure une hématoxe correcte.

⇒ **100 ms**

Conclusion de la 3ème partie

⇒ Pour obtenir une vue fonctionnelle d'ensemble, il faut faire des analogies et il est très important de concevoir les échanges entre milieux intérieur et extérieur de manière globale.

⇒ Certains physiologistes pensent que la fonction crée l'organe, effectivement, lorsque l'on a bien compris comment fonctionne l'organe on comprend comment il est fait.

⇒ La notion de réserve fonctionnelle est essentielle en physiologie : elle permet la résistance de l'organisme à toute sorte de situation pathologique ou d'effort extrême.

IV-Le transport des gaz dans le sang

Les gaz **dissous** sont importants **QUALITATIVEMENT** car ils permettent de fabriquer les gaz **fixés** qui sont **QUANTITATIVEMENT** essentiels au fonctionnement de l'organisme.

Les globules rouges : Cellules qui vont fixer les gaz par l'intermédiaire de leur contenu en **hémoglobine** et en anhydrase carbonique.

La respiration cellulaire : consommation d'oxygène et une production de gaz carbonique, d'intensité variable en fonction du niveau d'effort de l'organisme.

	Métabolisme de base	Métabolisme à l'effort
Consommation d'oxygène	250 mL/min	3 500 mL/min
Production de gaz carbonique	200 mL/min	3 000 mL/min

Nous pouvons voir les variations de la consommation d'oxygène et de production de gaz carbonique au repos et à l'effort.

Loi de Fick

Le flux de gaz entre l'air alvéolaire et le sang va dépendre d'un gradient de diffusion.

Ce gradient dépend de :

- La **différence de pression partielle**
⇒ Entre le sang et l'alvéole
- **L'épaisseur de la membrane**

$$\text{flux gaz} = \frac{\text{surface} \times \text{coeff solubilité} \times \text{différence de pression partielle}}{\text{épaisseur de la membrane alvéolo - capillaire}}$$

Le coefficient de solubilité intervient dans le sens **air** → **sang**.

	Pressions partielles dans le sang artériel (kPa)	Coefficient de solubilité du gaz dans le sang à 37°C	Volume de gaz dissous dans 1 L de sang
oxygène	13,3	0,02	2,7 mL
gaz carbonique	5,3	0,52	27,6 mL

Pour l'oxygène, son coefficient de solubilité dans le sang à 37°C est de **0,02**.

⇒ Pour une pression partielle donnée de **13,3 kPa**, le volume d'oxygène dissous dans **1 L de sang** est de **2,7 mL** par litre de sang.

Le **gaz carbonique** qui possède un coefficient de solubilité de **0,52** (donc bien plus important que celui de l'oxygène), va être dissous à **27,6 mL** par litre de sang.

Les gaz dissous ne sont pas en adéquation avec les moindre besoins de l'organisme !

⇒ La consommation d'oxygène pour le métabolisme est de **250 mL/min**.

⇒ Le débit cardiaque de 5 L/min → Cela ne permet d'apporter que **5%** de ce qui est nécessaire.

	Débit cardiaque = 5 L/min
Consommation d'oxygène au repos = 250 ml/min	→ 5 x 2,7 = 13,5 mL/min soit 5%
Production de gaz carbonique au repos = 200 ml/min	→ 5 x 27,6 = 138 mL/min soit 69%

Le gaz carbonique ne peut pas être évacué en totalité par l'intermédiaire des gaz dissous.

Le rôle des globules rouges

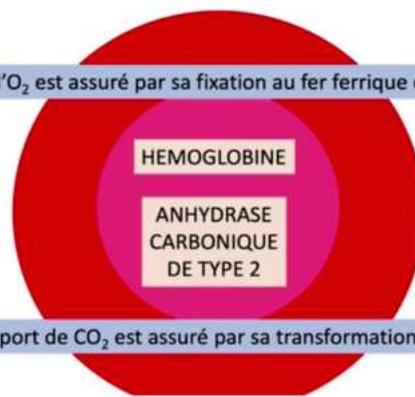
Les gaz dissous ne sont **pas le seul mode de transport** des gaz dans le sang.

L'oxygène va se fixer sur le résidu ferrique de l'hémoglobine, à l'intérieur des hématies.

Le gaz carbonique va être transformé en bicarbonate par l'anhydrase carbonique de type 2 qui est contenue dans les hématies.

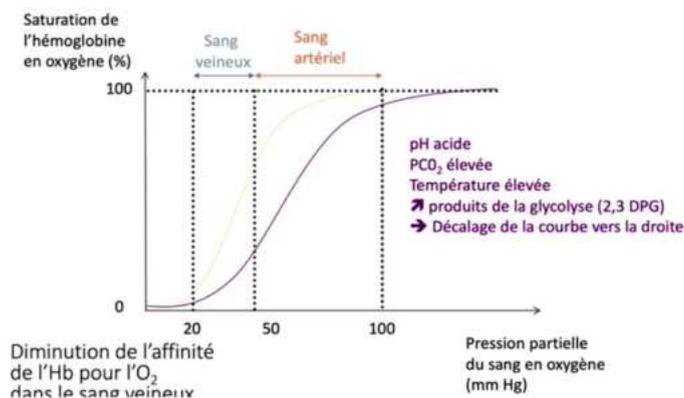
Une fois que l'oxygène est fixé à l'**hémoglobine**, elle va circuler avec les **globules rouges** et en fonction de la pression partielle du sang en oxygène, elle va libérer plus ou moins d'oxygène.

Le transport d'O₂ est assuré par sa fixation au fer ferrique de l'hémoglobine



Le transport de CO₂ est assuré par sa transformation en bicarbonate

Il faut des pressions partielles en oxygène **très faibles** (<50 mmHg) pour que la saturation de l'hémoglobine commence à diminuer. On voit que c'est dans l'intervalle de pression partielle en oxygène du sang artériel que la partie de la courbe de saturation est la plus importante.



L'hémoglobine peut voir son affinité pour l'oxygène et sa conformation changer en fonction :

- Du **pH : acide**
- Une **PCO₂ élevée**
- Une **température élevée**
- Des produits de la **glycolyse (2,3 BPG)**

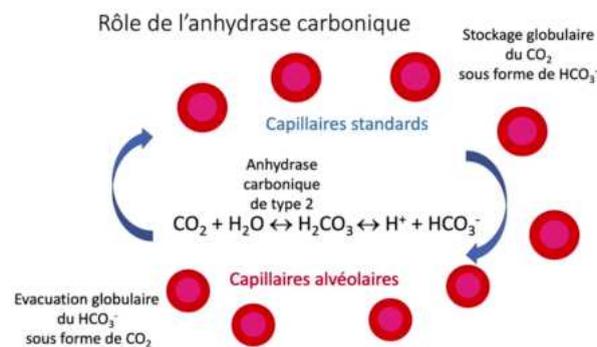
La courbe va dans ce cas se décaler **vers la droite**. Cela signifie que dans des conditions physico-chimiques, beaucoup plus d'oxygène est délivré au sang veineux pour la même pression partielle du sang en oxygène.

L'hémoglobine va libérer beaucoup plus d'oxygène dans les tissus actifs que dans les tissus inactifs !

Le rôle de l'anhydrase carbonique

Le **gaz carbonique** diffuse librement vers l'intérieur des capillaires.

⇒ Il est ensuite transformé en bicarbonate (**HCO₃⁻**) dans les capillaires standards.



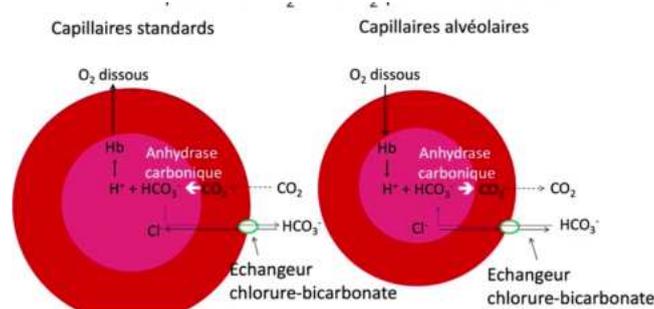
Dans les capillaires **alvéolaires**, le bicarbonate va se transformer en **gaz carbonique** pour ensuite diffuser à travers la membrane alvéolo-capillaire.

Le transport de CO₂ et d'O₂ dans les hématies

Il y a un couplage entre :

- La délivrance de **l'oxygène**
- La fixation du **CO₂**

Ou l'inverse !!



Dans les capillaires standards, au contact du sang veineux, l'hémoglobine délivre de l'oxygène.

⇒ Cette délivrance est **favorisée par l'arrivée de protons**.

Ces **protons** résultent de l'hydratation du gaz carbonique qui va se transformer en acide carbonique sous l'effet de l'**anhydrase carbonique**.

⇒ L'acide carbonique va se dissocier ensuite en un **proton** et **bicarbonate**.

Le contenu en **HCO₃⁻** dans les hématies des capillaires **standards** est maintenu en équilibre par l'échangeur **chlorure-bicarbonate**.

⇒ Il limite la grande quantité de **HCO₃⁻** dans l'hématie.

⇒ Il délivre un **tampon bicarbonate** dans les tissus actifs. *C'est très important dans l'équilibre acido - basique.*

Dans les capillaires **alvéolaires**, les globules rouges vont pouvoir délivrer du gaz carbonique en grande quantité.

⇒ **Le gaz carbonique est évacué par diffusion simple !**

Le bicarbonate (**HCO₃⁻**) a un effet osmotique qui attire l'eau à l'intérieur. Les globules rouges des capillaires standards sont donc plus gros que les capillaires alvéolaires.

L'échangeur **chlorure-bicarbonate** joue en sens inverse ici. Au fur et à mesure que le **CO₂** est extrait à l'intérieur des hématies, du bicarbonate rentre pour activer cette transformation via l'anhydrase carbonique.

Le bicarbonate présent dans le milieu extracellulaire va favoriser l'élimination du gaz carbonique.

Conclusion de la dernière partie

⇒ La dissolution des gaz dans le sang est **indispensable et limitante**. Par exemple, lorsque membrane alvéolo-capillaire s'épaissit dans l'œdème pulmonaire, on a une hypoxie responsable d'une dyspnée.

⇒ En revanche, ces gaz dissous sont **quantitativement insuffisants** pour satisfaire les besoins de l'organisme.

⇒ Les gaz sont donc **fixés** à l'intérieur des **hématies** sous forme de **bicarbonate** pour le **CO₂** tandis que **l'O₂** se fixe sur la partie ferrique de l'hémoglobine.

Dédi à Matisse, votre tuteur de biocell ! (mon floppeur préféré)

Dédi à Alexandra, votre excellente tutrice de pharmaco !

Dédi à Iris, votre ancienne tutrice de SP/SN (merci pour tes fiches de l'année dernière, elles étaient incroyables)

Dédi à Meyli et Nahélé, vos vieux tuteurs d'histo ! Vous allez voir, l'histo c'est une matière très intéressante !

Dédi à Lauriane, votre tutrice de SP/SN, je suis sûr qu'elle va réussir à vous faire aimer cette matière !

Dédi à Titouan, aka la meilleure cystite de tous les temps !

Dédi à Ophélie, la boss de la biochimie ! En vrai c'est une matière très intéressante, une fois que vous aurez relié les cours entre eux vous allez adorer la biochimie !

Dédi à Clément, votre de tuteur de biocell (encore) aka skibidi man !

Dédi à Manon, votre exceptionnelle CT ROI !!

Pour finir, dédi à toi qui a réussi à finir cette longue fiche ! C'est un cours qui tombe assez souvent donc il faut bien le bosser.

Moi je vous laisse, bon courage pour la suite !!!