

Flux transépithéliaux

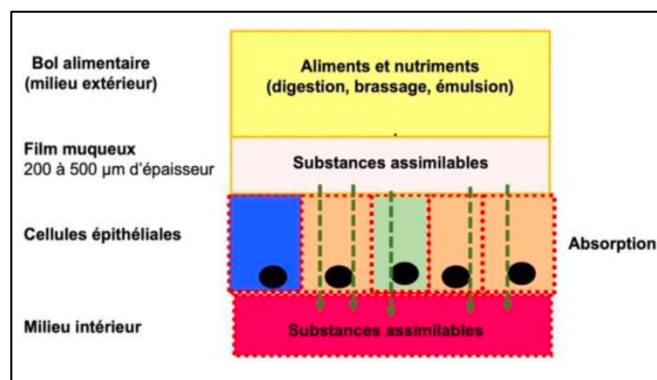
I. EPITHÉLIUM DIGESTIF

✨Sommaire à la fin de la fiche ✨

Coucouu , on se retrouve pour un des meilleurs cours ! Il peut faire peur au début mais vous allez voir, il est simple. Je vous conseille de le découper en plusieurs parties les premières fois ☺

À l'intérieur de l'intestin grêle, il y a deux couches de la lumière vers les cellules :

- Une couche **BRASSÉE**
- Une couche **FIXÉE**



‡ **couche brassée** : contient les aliments et nutriments.

- La digestion se poursuit ici et l'émulsion des graisses également.

‡ **couche fixée** : contient les co-transporteurs, les canaux pour la diffusion facilitée.

- A l'intérieur règne un film muqueux qui est un **gel hydrique**
 - A la surface du pôle **luminal** (lumière) des entérocytes.
- Les graisses vont pouvoir traverser la membrane plasmique

‡ **entérocyte** : cellule de l'intestin grêle.

Ces substances vont toutes se retrouver dans le milieu **intérieur** : liquide interstitiel et circulation sanguine.

A. CONDITIONNEMENT DU MILIEU DIGESTIF

Tut'rappel : le compartiment digestif appartient au milieu extérieur, on le mesure par drainage.

DILUTION DES ALIMENTS ET VARIATIONS DU pH

Cavité + fonction	Type de sécrétion	Volume (L/jour)	Osmolarité par rapport au plasma	pH
Bouche : découpe	Salive	1,5	Hypotonique	7
Estomac : malaxe	Suc gastrique	2	Isotonique	1
Duodenum et jejunum proximal : brasse	Suc pancréatique, Biliaire, Intestinal	1,5 0,5 1,5	Hypertonique	8
Jejunum distal : évacuation	Suc intestinal	faible	Isotonique	7

La bouche : **découpe** les aliments, les dissouts dans la salive.

‡ **salive** : liquide **hypotonique** à pH **neutre**.

L'estomac : **malaxe** les aliments dans le suc gastrique abondant.

‡ **suc gastrique** : liquide **isotonique** à pH **acide**.

L'intestin grêle : les différents sucs sécrétés par les parois vont former un milieu **alcalin** et **hypertonique** pour permettre absorption.

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

ACIDIFICATION DE L'ESTOMAC

- À l'intérieur de notre estomac nous avons une forte concentration en protons : **pH = 1**
- A contrario, le milieu intérieur est plutôt basique : **pH = 7,40**

Ok alors là, je vous conseille de refaire le schéma petit à petit, étape par étape pour biiien comprendre.

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

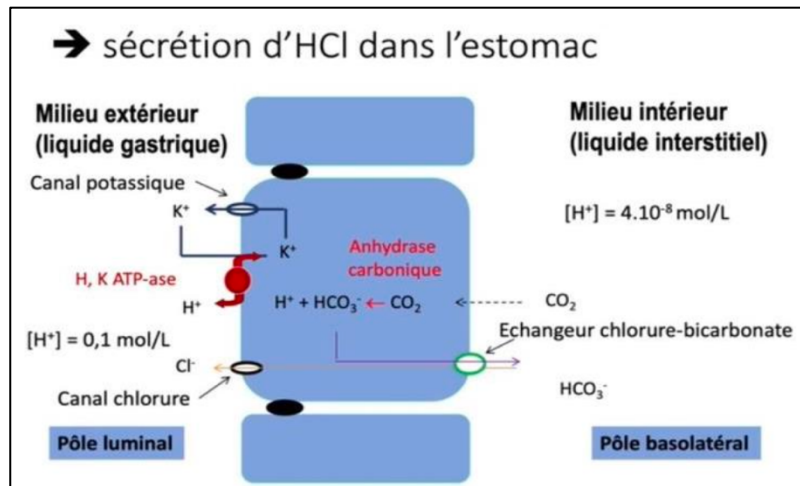
Tut'rappel :

- une pompe consomme de **l'ATP**, à la différence des transporteurs/canaux.

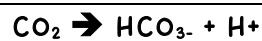
- les cellules de l'épithélium sont **polarisées**

Pôle **luminal** : Contact avec **l'extérieur** : urine primitive, liquide intestinal...

Pôle **basolatéral** : baigne le côté sanguin



1. Les protons sont générés via l'hydratation du carbonique facilitée par l'anhydrase carbonique (biiien revu en acide-base)



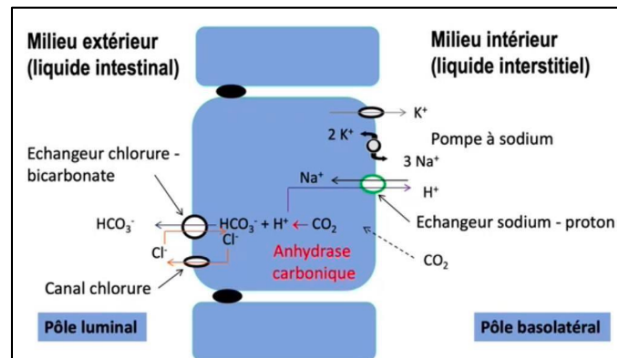
2. La pompe H⁺/K⁺ ATPase sécrète les **protons** dans la lumière gastrique
3. Le canal **potassique** (pôle luminal) permet son recyclage
 - il fait une boucle
4. L'échangeur bicarbonate / Cl⁻, va rejeter les HCO₃⁻ dans le milieu intérieur
 - car milieu + basique
5. Le canal **chlorure** va sécréter l'anion chlorure dans la lumière gastrique pour acidifier
 - ⇒ Ce qui explique la présence d'acide chloridrique dans notre estomac (revu au S2)

Tut'recap

Pôle luminal (estomac)	Pôle basolatéral (interstitium)
<ul style="list-style-type: none"> - Pompe H⁺/K⁺ - Canal K⁺ - Canal Cl⁻ 	<ul style="list-style-type: none"> - Echangeur HCO₃⁻ / Cl⁻

SÉCRÉTION DE HCO₃⁻ DANS LE DUODÉNUM

Dans notre duodénum, les sécrétions alcalines sont déversées par le pancréas **exocrine**.



1. Les protons sont générés via l'hydratation du carbonique facilitée par l'anhydrase carbonique
2. La pompe à sodium (basolatéral) va rejeter 3 Na^+ et faire entrer 2 K^+ .
➤ Cela va créer un gradient favorable à l'entrée de sodium dans la cellule.

Tut'memo :

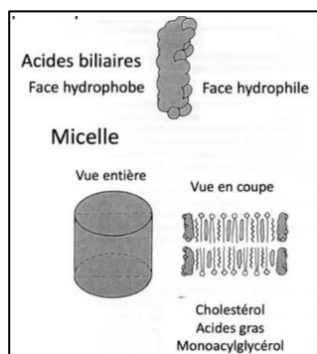
Souvent on marque les chromosomes comme K.
On a 2 (paires) de K dans notre corps, donc 2K^+ à l'intérieur

3. L'échangeur Na^+ / H^+ (basolatéral) va sécréter le proton dans le milieu intérieur (via hydratation) et faire rentrer un Na^+
4. L'échangeur $\text{HCO}_3^- / \text{Cl}^-$ (luminal) va déverser le bicarbonate dans le liquide intestinal
⇒ Alcalinisation du milieu
5. Le canal chlorure (luminal) va permettre le recyclage du Cl^- pour l'échangeur

Tut'recap

Pôle luminal	Pôle basolatéral
<ul style="list-style-type: none"> - Echangeur $\text{HCO}_3^- / \text{Cl}^-$ - Canal chlorure 	<ul style="list-style-type: none"> - Pompe à sodium K^+ / Na^+ - Échangeur Na^+ / H^+ - Canal potassique

ÉMULSION DES LIPIDES PAR LES ACIDES BILIAIRES



Les acides biliaires, présents dans le suc biliaire, va permettre l'émulsion des lipides.

≠ acide biliaire : substance amphiphile, ils vont parfois entourer les lipides hydrophobes à l'intérieur de micelles.

- Face hydrophobe
- Face hydrophile

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

B. INTÉRÊT DU CONDITIONNEMENT

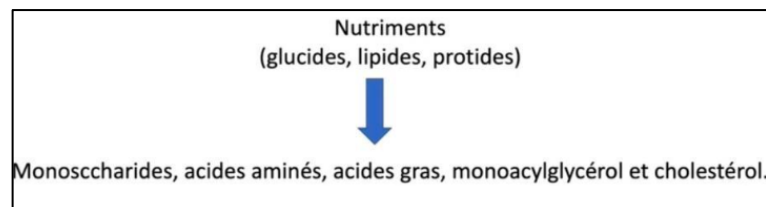
DIGESTIF

L'**hydratation**, le brassage et le pH **favorise** l'action des enzymes.

Le conditionnement de l'intestin grêle a pour but de **parfaire** la digestion.

Les enzymes travaillent de manière **optimale** à un **certain pH**, pour un certain niveau **d'hydratation**.

- L'ensemble du bol alimentaire sera soumis à cette action chimique car il est brassé.



Les nutriments (glucides, lipides, protéines) vont être transformés en substances **assimilables** :

- Monosaccharides
- AA
- Acides gras
- Monoacylglycérol
- Cholestérol

Ce sont les seuls composés chimiques **assimilables** chez l'Homme

ABSORPTION INTESTINALE

La fonction d'absorption est très développée dans l'Intestin grêle.

Les entérocytes présentent

- des **microvillosités**
⇒ qui **augmentent** la surface

- un **gel muqueux**
⇒ qui permet la **diffusion facilitée** des monosaccharides et AA

Important à comprendre ;

On n'absorbe PAS tout ce que l'on ingère

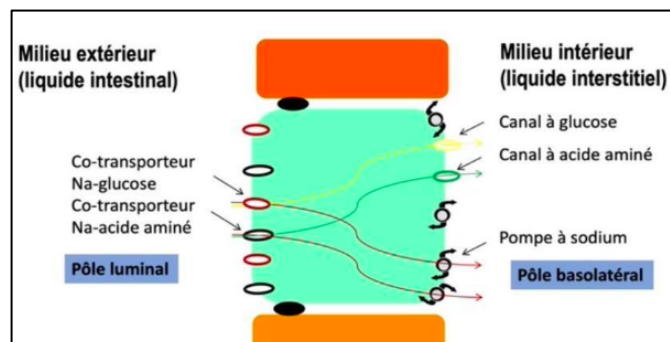
et seules les **osmoles alimentaires**, qui peuvent être transportées par un transporteur moléculaire, vont se retrouver dans le milieu **intérieur**.

C. ABSORPTION PAR DIFFUSION FACILITÉE

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

⇒ Le transport de ces osmoles est asservi au transport de **sodium**.

1. Les **pompes à sodium** (**basolatéral**) vont créer un gradient favorable à l'entrée de sodium dans la cellule.
2. Les co-transporteurs **Na/glucose** et **Na/AA** (**luminal**) vont permettre l'entrée de sodium (uniquement au pôle **luminal**) dans la cellule
3. Les canaux **glucose et AA** (**basolatéral**) vont permettre l'entrée de nutriments dans le milieu intérieur



Tut'recap

Pôle luminal	Pôle basolatéral
<ul style="list-style-type: none"> - co-transporteur Na/glucose - co-transporteur Na/AA 	<ul style="list-style-type: none"> - pompe sodium - canal glucose - canal AA

L'asservissement du passage du glucose et des AA à celui de **sodium** permet d'augmenter la **concentration** cytoplasmique des entérocytes en osmoles alimentaires.

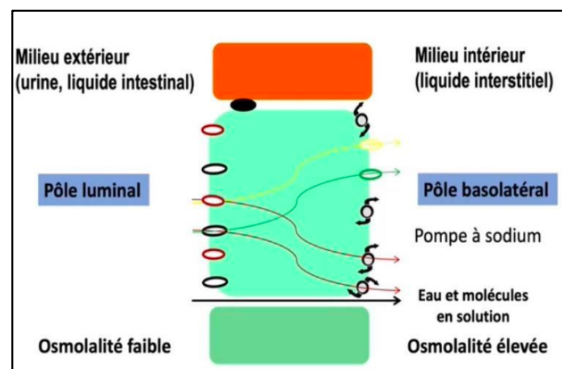
De fait, le gradient chimique de ces osmoles permet leurs **sorties** vers le milieu intérieur par l'intermédiaire des canaux à **glucose** et des canaux à **AA** (**basolatéral**).

La **diffusion facilitée** permet également l'absorption de l'eau

En effet, en **accumulant** les osmoles du côté **basolatéral**, on augmente **l'osmolarité** du côté **basolatéral** par rapport au pôle **luminal**.

L'eau, contenu dans le liquide intestinal, va pouvoir passer par voie **PARA-cellulaire** avec des molécules en solution.

- Elle est ingérée et sécrétée dans les différents sucs



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

Le gradient résulte du passage des **osmoles** alimentaires.

Tut 'rappel : L'eau (solvant) diffuse dans le **MÊME** sens que le gradient de concentration (- vers +).
A bien différencier des autres espèces qui diffusent en **sens inverse** (+ vers -).

D. Application médicale

En cas d'épidémie de choléra, particulièrement chez les enfants, l'OMS indique un soluté de réhydratation orale.

Composition du soluté :

- **Sodium** : 75 mmol/L
- Glucose : 75 mmol/L
- Anion : 75 mmol/L

Il contient du glucose et du **sodium** puisque l'absorption de l'un est **couplée** à celle de l'autre.

La composition du soluté va permettre aux osmoles de passer par les entérocytes.

Ces substances sont essentielles à la création d'un gradient osmolaire, à condition que l'osmolarité du soluté de réhydratation soit INFÉRIEURE à celle de plasma.

- 300 mmol/L pour le plasma
- 245 mmol/L pour le soluté

Cette disposition est favorable à la **réhydratation**.

Un soluté **hyperosmolaire** ou dépourvu en sodium/glucose ne permettrait pas la réhydratation.

CONCLUSION

- Le milieu intestinal est conditionné par différents facteurs mécaniques et chimiques que nous n'avons fait que survoler.
- L'intestin grêle est le siège de l'absorption des osmoles alimentaires.
- L'absorption des monosaccharides et des acides aminés est **couplée au 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 (énorme réserve fonctionnelle)

II. ÉPITHÉLIUM RÉNAL (réabsorption)

L'**épithélium rénal** réalise une réabsorption puisque l'urine primitive est obtenue par la filtration du plasma.

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

A. CONDITIONNEMENT DE L'URINE PRIMITIVE

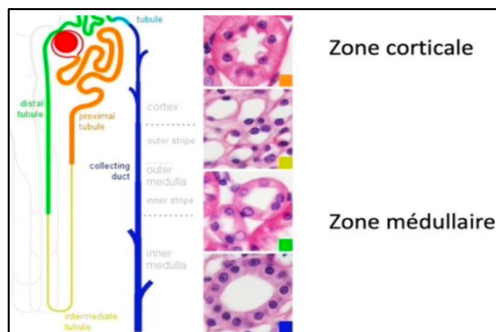
L'urine primitive est conditionnée par les **glomérules** qui **filtrent le plasma** en évitant que toutes les molécules en suspension, notamment les protéines, se retrouvent à l'intérieur du compartiment urinaire.

- Ultrafiltrat : **172,8 L/jour**
 - **50 fois** le volume plasmatique
 - Les reins filtrent le plasma **50 fois par jour**
- On urine **2L**
 - ⇒ L'épithélium tubulaire **réabsorbe** la majeure partie de l'ultrafiltrat glomérulaire

B. HÉTÉROGÉNÉITÉ CELLULAIRE DES SEGMENTS DU NÉPHRON

SPÉCIALISATION SEGMENTAIRE DES FONCTIONS TUBULAIRES

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



On observe la morphologie **distincte** du tube proximal, du tube distal dans différentes sections et on va considérer simplement la **zone corticale** et la **zone médullaire** du tube proximal et du tube distal :

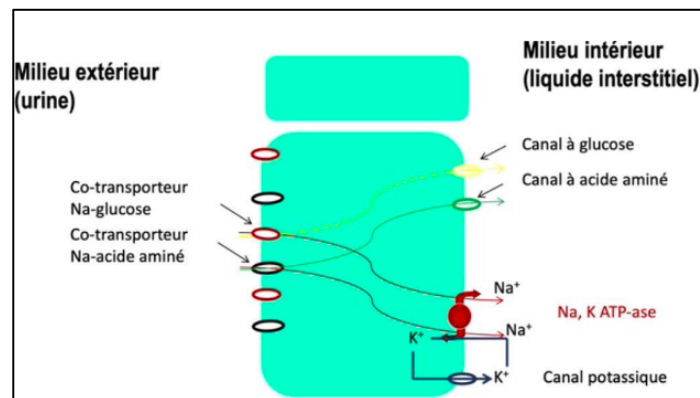
C. TUBULE PROXIMAL (portion initiale)

RÉABSORPTION D'OSMOLES COUPLÉES AU Na⁺

Dans le tube **proximal** (qui est uniquement cortical),

la réabsorption des osmoles est couplée au **sodium**

Exactement comme dans l'intestin grêle.



1. La **pompe à sodium** (**basolatéral**) génère un gradient entrant de sodium dans la cellule
2. Le canal **potassique** (**basolatéral**) va permettre le recyclage du K⁺
3. Les co-transporteurs **Na/glucose** et **Na/AA** (**luminal**) vont asservir l'entrée du **sodium** à celle des osmoles
4. Les canaux **AA, glucose** (**basolatéral**) permettent l'entrée de nutriments à l'intérieur

Tut'recap

Pôle luminal	Pôle basolatéral
<ul style="list-style-type: none"> - co-transporteurs Na/glucose - co-transporteurs Na/AA 	<ul style="list-style-type: none"> - pompe à sodium - canal potassique - canal glucose - Canal AA

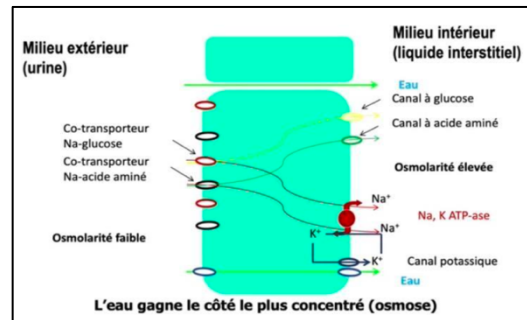
comme vous l'avez vu, la **pompe à sodium** est toujours au pôle **basolatéral** (pour IG et rénal) ;)

RÉABSORPTION D'EAU LIÉE AUX OSMOLES

Comme dans l'intestin, la création d'un gradient osmolaire va permettre la **diffusion de l'eau** (- vers +).

- Gradient osmolaire intérieur > extérieur (urine)

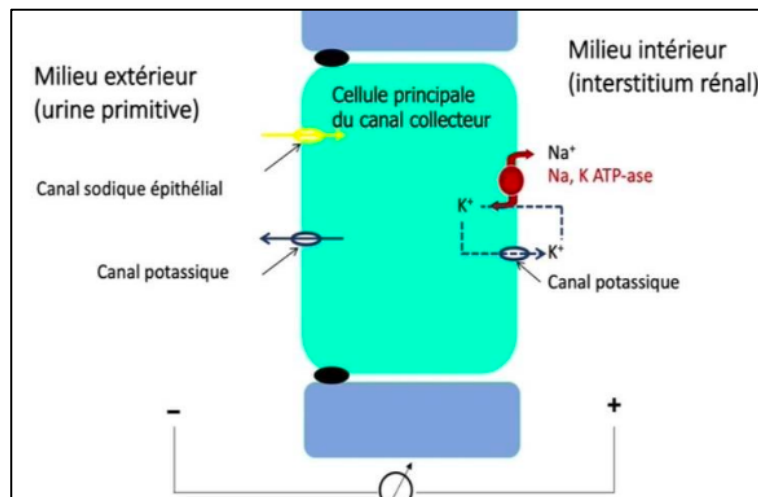
L'eau va passer en PARA-cellulaire mais aussi grâce aux aquaporines.



D. TUBULE DISTAL CORTICAL

RÉABSORPTION DIFFÉRENTIELLE OU SÉCRÉTION SPÉCIFIQUE

Dans le tubule distal, la réabsorption différentielle démarre.



1. La pompe à sodium (**basolatéral**) va créer un gradient favorable à l'entrée de sodium dans la cellule (*toujours la même chose*)
2. Le **canal ENaC** (**luminal**) va permettre la diffusion facilitée du **sodium**
 - Sous l'effet de la pompe
3. Le canal **potassique** (**basolatéral**) permet le recyclage des K⁺ (*répétition*)
4. Le canal potassique (**luminal**) va également faire sortir du K⁺ via le **gradient chimique**
 - Le gradient **chimique** et **électrique** du K⁺ favorise sa sortie

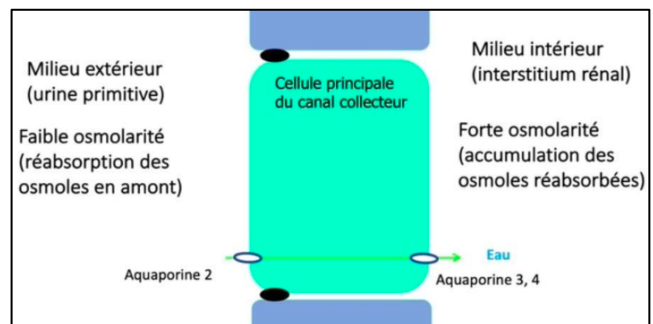
Le potassium est donc également sécrété dans cette cellule sous l'effet de facteurs régulateurs (abordés plus tard).

E. TUBULE DISTAL MÉDULLAIRE

RÉABSORPTION D'EAU LIBRES D'OSMOLES

La réabsorption de l'eau, ici, est liée au fait que l'accumulation des osmoles réabsorbées va se traduire par un très fort gradient.

En effet, dans la zone médullaire, l'urine arrive très diluée par la réabsorption des osmoles en amont.



A ce moment-là, par voie TRANScellulaire régulée,

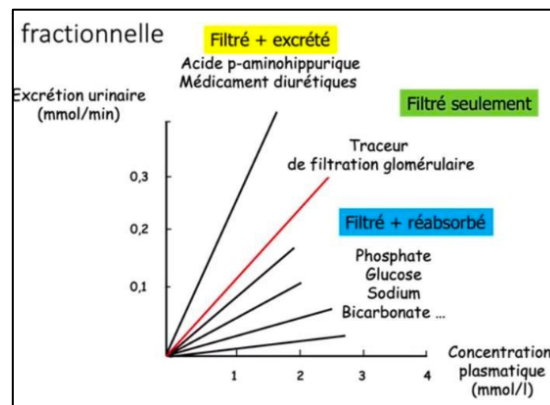
L'eau va être transportée par des AQUAPORINES

≠ aquaporine : Protéine qui permet le passage d'eau dans toutes les cellules de l'organisme.

F. TRAVAIL GOLÉMRULAIRE OU TUBULAIRE ?

EXCRETION FRACTIONNELLE

Qu'est-ce qui est filtré, qu'est-ce qui est sécrété ou réabsorbé à l'intérieur de l'urine ? Et bien pour le savoir nous avons recours au concept d'excrétion fractionnelle, de quoi s'agit-il ?



Ce qui est mis dans le **plasma** (sur l'axe horizontal) se retrouve dans **l'urine** de façon **PROPORTIONNELLE** lorsque c'est simplement filtré.

- Si l'on utilise un traceur de filtration glomérulaire nous avons la relation **LINEAIRE** en rouge située au milieu du graphique avec un angle de **45°**.

Dès que des substances vont être **excrétées** en plus d'être filtrées (*c'est le cas des médicaments diurétiques, de certaines substances toxiques*)

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

En revanche, dès que des substances filtrées vont être **réabsorbées**, c'est-à-dire réinjectées vers le milieu intérieur,

- nous sommes à **droite** de cette ligne rouge.

CALCUL DE L'EXCRÉTION FRACTIONNELLE

On utilise la **clairance**.

La **clairance** d'un traceur de filtration glomérulaire permet de concevoir la relation qui existe entre

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

Les deux sont **proportionnelles** au **débit urinaire** et à la **clairance** rénale.

≠ clairance rénale : le rapport entre le produit de concentration du traceur dans l'urine par le débit urinaire divisé par la concentration plasmatique du traceur.

CLAIRANCE RÉNALE D'UN TRACEUR DE FILTRATION GLOMÉRULAIRE

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

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

≠ **Excrétion fractionnelle** : rapport de la **clairance** d'une osmole à la clairance du traceur de **filtration glomérulaire**.

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

Une fois filtrée, une osmole est soit réabsorbée, soit excrétée (absorbée).

- Une **excrétion fractionnelle** **FAIBLE** indique une réabsorption **FORTE**
 - Sodium
- Une **excrétion fractionnelle** **FORTE** indique une réabsorption **FAIBLE**
 - Phosphates

Tut'help :

En gros, l'excrétion fractionnelle va nous aider pour 2 notions : **excrétion** (absorption) et **réabsorption**. Elle désigne à quelle intensité une osmole obligatoirement filtrée est **absorbée** ou **excrétée**.

Si on a excrétion fractionnelle = **60%**, l'osmole est :

- **Excrétée** à 60%
- **Réabsorbée** à 40%

Calcul de l'excrétion fractionnelle noté FE :

$$\frac{C_{\text{osmole}}}{C_{\text{traceur}}} \rightarrow \frac{U_{\text{osmole}} \times \text{diurèse}}{P_{\text{osmole}}} / \frac{U_{\text{traceur}} \times \text{diurèse}}{P_{\text{traceur}}}$$

$$FE_{\text{osmole}} = \frac{U_{\text{osmole}} \times P_{\text{traceur}}}{P_{\text{osmole}} \times U_{\text{traceur}}} \times 100$$

G. APPLICATION MÉDICALE

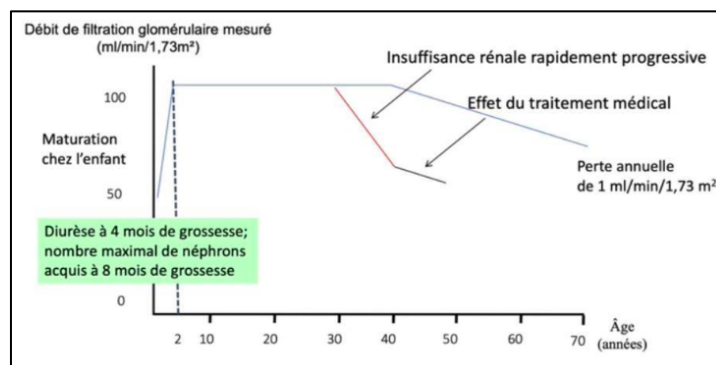
LA FONCTION RÉNALE

- Le rein 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

RÉSERVE FONCTIONNELLE RÉNALE

Il y a une grande réserve fonctionnelle rénale comme on le voit sur ce schéma où on a noté le débit de filtration glomérulaire en fonction de l'âge en années.



- Débit : **120 mL/min/1,73m²**
 - chez un enfant de **2 ans** dont les reins sont matures
 - jusqu'à **40 ans**
- Attention aux unités !

Au-delà de cet âge, il va **décroît** petit à petit pour rester quand même très **au-delà** de la valeur seuil.

- Valeur seuil : **50mL/min/1,73m²**

♥ **insuffisance rénale** : se traduit par une chute brutale et rapide du débit de filtration glomérulaire.

- L'enjeu médical est de parvenir à restaurer une perte normale liée à l'âge du DFG pour préserver le **fonctionnement** des reins.

CONCLUSION

- 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 faire en fonction des besoins de l'organisme sous l'effet de facteurs régulateurs
- Certaines substances vont être sécrétées dans l'urine, elle permet de **détoxifier** le sang (médicaments)

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

Par cœur cette phrase ++++

Prochaine partie.... Beaucoup de répétition des autres cours !

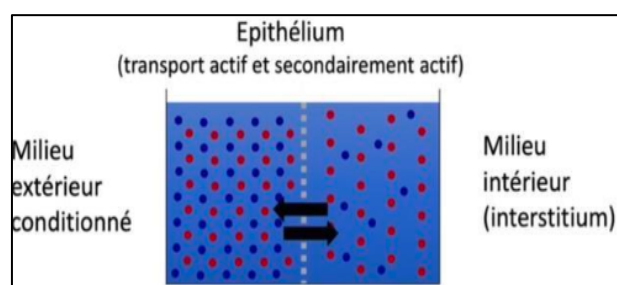
III. VUE D'ENSEMBLE DES ÉCHANGES ÉPITHÉLIAUX

Il est très important d'acquérir une vue d'ensemble de ce qui se passe dans les échanges entre les milieux extérieurs et intérieurs de l'organisme. Les épithéliums sont au cœur de ces échanges.

A. PARAMÈTRES, ÉCHANGES, LOI DE FICK

Ce qui conditionne les échanges à travers les épithéliums :

- 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 maigre un gradient si l'on considère qu'il renouvelle le liquide et qu'il optimise en conséquence la différence de concentration de part et d'autre pour un composé chimique.

Le **temps de contact** peut également être considéré en particulier dans la circulation pulmonaire où le **débit cardiaque** peut accélérer (**x5**) ce qui ralentit le moment où le sang, les globules rouges sont en contact avec les gaz dissous de l'air alvéolaire.

L'épithélium effectue des transports **actifs** et **secondairement actifs**, ce n'est PAS une membrane inerte qui fait une diffusion simple.

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

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

Le poumon

- **80m²** de surface
 - o Terrain de badminton
- **300 millions** d'alvéoles

Intestin grêle

- **200 m²** de surface
 - o Terrain de tennis
- **Replis membranaires et microvillosités**

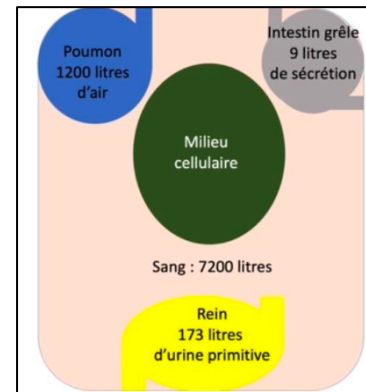
Rein

- **4m²** de surface
 - o 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.*

C. LES DIFFÉRENTS DÉBITS

- Le poumon est une très grand comme cavité aérienne.
⇒ Ils brassent 1200 L d'air/24h
- L'intestin grêle fait circuler à l'intérieur :
⇒ 9 à 10L /jour de sécrétion
- Le rein avec sa filtration du sang a un débit de :
⇒ 173L/24h soit 120 ml/min



La fabrication d'urine se fait en permanence et cette urine va permettre de nettoyer.

- La partie circulante du milieu **extracellulaire** c'est un grand volume de l'ordre de :
⇒ 7200 L de sang/ 24h.

D. DÉBIT SANGUIN PAR ORGANE

Le débit sanguin par organe est très important.

Certains organes ont une perfusion privilégiée, un débit **CONSTANT** :

- Le **POUMON** : reçoit 100% du débit cardiaque
➤ Via la petite circulation
- Le **CERVEAU** : reçoit 15% du débit cardiaque
➤ Peu importe l'effort
- Les **REINS** : 15%
➤ 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 %	

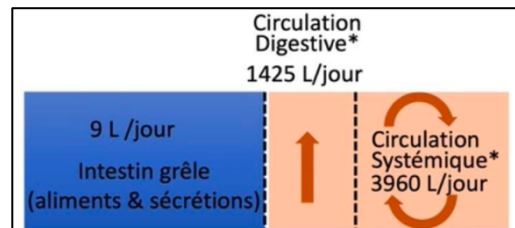
En revanche ; l'appareil digestif sont le siège d'un débit sanguin variable en fonction de l'activité digestion.

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

E. ABSORPTION DIGESTIVE

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

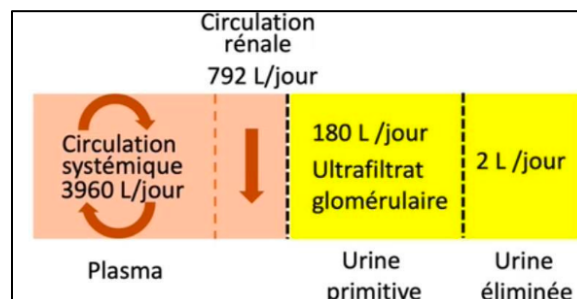
- La circulation digestive : **36%**
 - Exprimé en litres de **plasma/jour**



On voit que les **9 litres** de sécrétion qui circulent dans l'intestin grêle tous les jours, viennent au contact de **1425 L/jour** de plasma dans la circulation systémique.

- Débit liquidien **intestinal FAIBLE**
- Débit plasmatique **digestif FORT**
 - ⇒ Cela optimise les gradients chimiques pour la **diffusion facilitée** des osmoles alimentaires de l'intestin vers le sang, en permanence renouvelées au contact de l'intestin.
- Temps de contact **TRÈS ÉLEVÉ**
 - Le bol alimentaire est brassé
 - Il séjourne plusieurs heures à l'intérieur de l'IG
- La surface d'échange est **énorme**
 - ⇒ Favorise absorption

F. FONCTIONS TUBULAIRES RÉNALES



Flux circulatoire : concerne le plasma pour :

- **55%** de sang
- Hématocrite de **45%**
- Débit cardiaque de **5L/min**

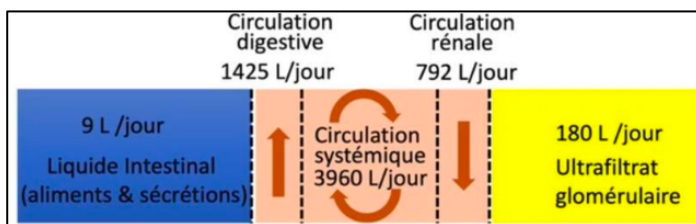
Ces fonctions sont assurées par la mise en contact d'un ultrafiltrat glomérulaire,

- Environ **180 L/jour**
 - Avec **792 L/jour** de plasma

Dans les reins, les échanges ont lieu :

- **PETITE** surface
- En permanence
- A **FORT** débit

G. INTÉRÊT EN PHYSIOLOGIE ET EN MÉDECINE



Si l'on met en parallèle l'**absorption intestinale** et l'**épuration rénale**, on a une image **fonctionnelle** de l'organisme puisque ce que l'on ingère va dans le sang (à condition que ce soit **ASSIMILABLE**) et il n'y

ensuite plus que les reins pour se débarrasser du surplus dont on n'a pas besoin, notamment le sel et l'eau.

Ce processus est extrêmement efficace car il y a une marge de réserve importante.

Ainsi, avant d'arriver à des insuffisances organiques intestinales ou rénales, il faut que plus de la **MOITIÉ** des organes soient détruits.

♥ **malabsorption intestinale** peut être fonctionnelle :

- **Accélération** du transit
 - Le contact avec les aliments **diminue**, on arrive plus à absorber
- **Réduction chirurgicale** (définitive) de la surface
 - À la suite d'une maladie

♥ **insuffisance rénale** : diminution du DFG

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

H. HÉMATOSE

GRANDE RÉSERVE FONCTIONNELLE

≠ L'épithélium pulmonaire : siège de l'hématose.

➤ Énorme réserve fonctionnelle

≠ hématose : oxygénation du sang.

7200 L/jour 36.000 L/j SANG	1200 L/jour 18.000 L/jour AIR ALVÉOLAIRE
-----------------------------------	--

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.

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

➤ Il faut que ces gaz soient 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.
 - 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 hématose correcte.
 - ⇒ **100 ms**

CONCLUSION

- 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. TRANSPORT DES GAZ PAR LE SANG

Les gaz dissous sont très importants **QUALITATIVEMENT** puisqu'ils permettent de fabriquer des gaz fixés qui eux sont **QUANTITATIVEMENT** essentiels au fonctionnement de l'organisme.

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

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

On peut voir ci-dessous entre le métabolisme de base et à l'effort les variations de consommations d'oxygène et de production de gaz carbonique.

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

A. RAPPELS SUR L'HEMATOSE

LOI DE FICK

Le flux de gaz entre l'air alvéolaire et le sang (ou dans le sens inverse), va dépendre d'un gradient de diffusion.

Le gradient dépend de :

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

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

Dans le sens : air → sang, le **coefficient de solubilité** du gaz intervient, nous allons voir comment :

	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

Prenons l'exemple de l'oxygène dont le **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 **1L** de sang est de **2,7 mL**.

Le **gaz carbonique** possède un **coefficient de solubilité** bien plus important, il va être dissous à **27,6 mL** par litre de sang.

les gaz dissous ne sont pas en adéquation avec les moindres 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	→ $5 \times 2,7 = 13,5$ mL/min soit 5%
Production de gaz carbonique au repos = 200 ml/min	→ $5 \times 27,6 = 138$ mL/min soit 69%

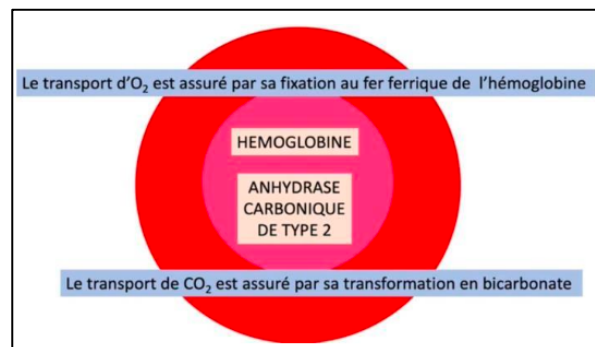
Pour le **gaz carbonique**, c'est la même chose, il ne peut pas être évacué en totalité par l'intermédiaire des gaz dissous.

B. RÔLE DES GLOBULES ROUGES

Les gaz dissous ne sont pas les seuls modes de transport des gaz dans le sang.

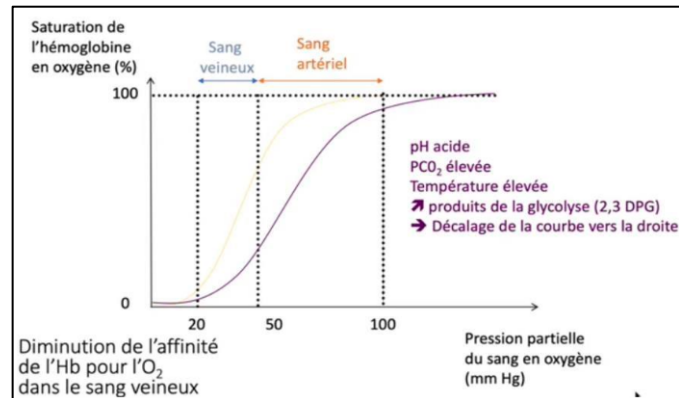
L'oxygène va **se fixer** au résidu ferrique de **l'hémoglobine**, à l'intérieur des hématies.

Le **gaz carbonique** va être transformé en bicarbonate par **l'anhydrase carbonique de type 2** contenue par les hématies. (cc le cours acide base)



Une fois l'oxygène fixé à **l'hémoglobine**, celle-ci va circuler avec les globules rouges et en fonction de la **pression partielle** du sang en oxygène (axe horizontal), elle va **libérer** plus ou moins d'oxygène.

Ici, 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.



La conformation et l'affinité pour l'oxygène de l'hémoglobine changent en fonction de :

- Le pH : **acide**
- **PCO₂** est **élevée**
- Température **élevée**
- Des produits de la glycolyse (**2,3 DPG**)

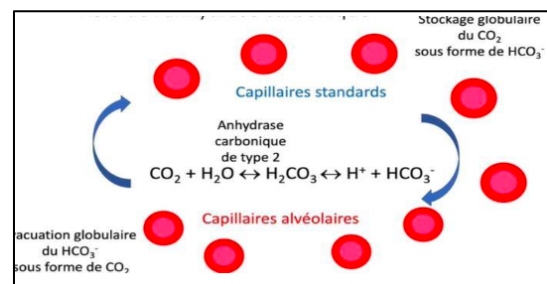
La courbe va alors se décaler vers la droite, ce qui signifie que dans ces conditions physico-chimiques, beaucoup plus d'oxygène est délivré au sang veineux pour la même pression partielle du sang en oxygène.

l'hémoglobine va libérer beaucoup plus d'oxygène dans les tissus **actifs** que dans les tissus inactifs.

C. RÔLE DE L'ANHYDRASE CARBONIQUE

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

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



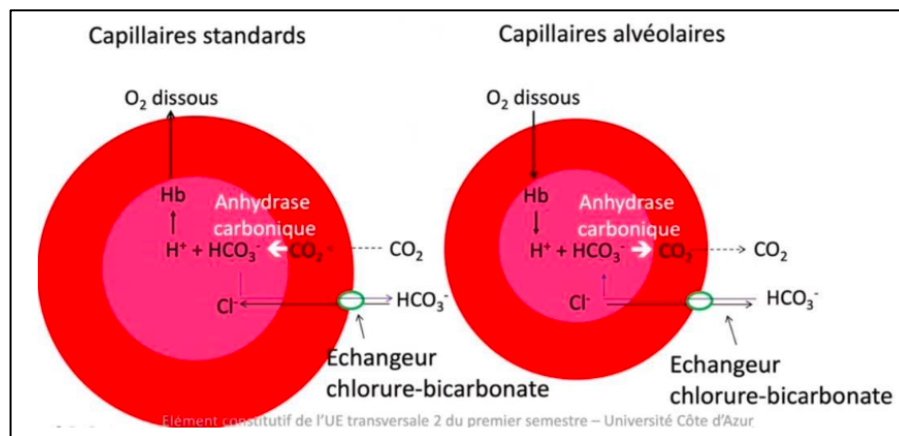
Au sein des **capillaires alvéolaires**, le bicarbonate va se transformer en **gaz carbonique**, il pourra ainsi **diffuser** à travers la membrane alvéolo-capillaire.

D. TRANSPORT DE CO₂ ET O₂ DANS LES HÉMATIES

Il existe un couplage entre :

- La **délivrance** d'oxygène
- La **fixation** de CO₂

Ou l'inverse ; fixation oxygène et délivrance CO₂.



Dans les capillaires standards,

au contact des tissus **actifs** dans le 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 proton et anion bicarbonate.

Tut'recap

1. Le **gaz carbonique** arrive via une diffusion simple
 - Hydratation du gaz carbonique : $\text{CO}_2 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$
2. HCO_3^- sort grâce à l'échangeur chlorure - bicarbonate
3. L'**hémoglobine**, grâce aux H^+ , va délivrer de l'O₂

Le contenu en HCO_3^- dans les **hématies** des capillaires standards est équilibré par l'échangeur chlorure bicarbonate.

⇒ Il limite la grande quantité de HCO_3^- dans l'hématie

⇒ Il délivre un **tampon bicarbonate** dans les tissus actifs

○ Très important pour l'équilibre acido - basique

Dans les capillaires **alvéolaires**,

Les **globules rouges** vont pouvoir délivrer du **gaz carbonique** en **grande** quantité.

⇒ L'oxygène arrive sur l'**hémoglobine** et favorise le relargage d'ions H^+

Ces protons, avec le bicarbonate (dans les hématies), vont provoquer la formation de **gaz carbonique**.

➤ Le gaz carbonique est évacué par diffusion simple.

Tut'recap

1. O_2 , grâce à l'**hémoglobine**, va relarguer des protons (sens inverse de tout à l'heure)
2. Le bicarbonate rentre dans le GR via l'échangeur chlorure – bicarbonate
3. Les H^+ et HCO_3^- vont permettre la formation de **gaz carbonique**
 - Il va sortir par diffusion simple

Le bicarbonate a un effet osmotique qui attire l'eau à l'intérieur. De fait, les GR des capillaires standards sont plus gros.

GR capillaires standards > GR capillaires alvéolaires

L'échangeur chlorure – bicarbonate joue en sens inverse. 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**.

Ainsi,

Le bicarbonate présent dans le milieu extra-cellulaire va favoriser l'élimination de gaz carbonique

CONCLUSION

- La dissolution des gaz dans le sang est indispensable et limitante. Par exemple, lorsque la 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**, et l'O₂ se fixe sur la partie ferrique de **l'hémoglobine**.

Petite astuce pour ce cours :

- Faire **partie par partie**
- Refaire régulièrement les schémas

Bon courage pour cette année

Je crois en toi !

Peu importe tes résultats, tout est encore possible alors, ne perd pas espoir <3

Dédi à mes parents aka mes meilleurs amis

Dédi à mes stars : Camille, Camilya, Oscar

Pas dédi à Ferrari : LA ROUE SVPPP

I. ÉPITHÉLIUM DIGESTIF

A. CONDITIONNEMENT DU MILIEU DIGESTIF

- dilution des aliments et variations du pH
- acidification de l'estomac
- sécrétion de HCO_3^- dans le duodénum
- émulsion des lipides par les acides biliaires

B. INTÉRÊT DU CONDITIONNEMENT

- digestif
- absorption intestinale

C. ABSORPTION PAR DIFFUSION FACILITÉE

D. Application médicale

- Conclusion

II. ÉPITHÉLIUM RÉNAL (réabsorption)

A. CONDITIONNEMENT DE L'URINE PRIMITIVE

B. HÉTÉROGÉNÉITÉ CELLULAIRE DES SEGMENTS DU NÉPHRON

- spécialisation segmentaire des fonctions tubulaires

C. TUBULE PROXIMAL (portion initiale)

- réabsorption d'osmoles couplées au Na^+
- réabsorption d'eau liée aux osmoles

D. TUBULE DISTAL CORTICAL

- réabsorption différentielle ou sécrétion spécifique

E. TUBULE DISTAL MÉDULLAIRE

- réabsorption d'eau libres d'osmoles

D. TRANSPORT DE CO_2 ET O_2

F. TRAVAIL GLOMÉRULAIRE OU TUBULAIRE ?

- excrétion fractionnelle
- calcul de l'excrétion fractionnelle
- clairance rénale d'un traceur de filtration glomérulaire

G. APPLICATION MÉDICALE

- la fonction rénale
- réserve fonctionnelle rénale

III. VUE D'ENSEMBLE DES ÉCHANGES ÉPITHÉLIAUX

A. PARAMÈTRES, ÉCHANGES, LOI DE FICK

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

C. LES DIFFÉRENTS DÉBITS

D. DÉBIT SANGUIN PAR ORGANE

E. ABSORPTION DIGESTIVE

F. FONCTIONS TUBULAIRES RÉNALES

G. INTÉRÊT EN PHYSIOLOGIE ET EN MÉDECINE

H. HÉMATOSE

- grande réserve fonctionnelle

IV. TRANSPORT DES GAZ PAR LE SANG

A. RAPPELS SUR L'HEMATOSE

- loi de Fick

B. RÔLE DES GLOBULES ROUGES

C. RÔLE DE L'ANHYDRASE CARBONIQUE