



TRANSFERTS MEMBRANAIRES

ULTRAFILTRATION

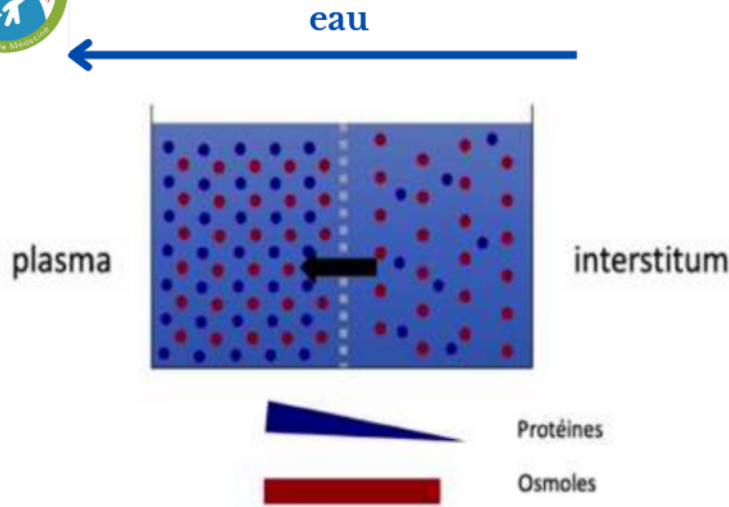
15 pages. 15 pages pour comprendre comment vos cellules peuvent s'alimenter et se débarrasser de leurs déchets, de la genèse à la fin. Considérée comme l'Art de la Guerre des temps modernes, cette œuvre décrit le conflit entre plasma et interstitium comme jamais auparavant. En effet, Favre n'est pas seulement un homme assoiffé de connaissances, il convoite secrètement depuis des années de partager son savoir et de montrer au monde la sagacité qu'on lui connaît aujourd'hui tant. En tant qu'acolyte de ce dernier, Nicolasthme, j'annoterai ses cours de mes commentaires en italiques (présents pour vous aider, à ignorer s'ils vous embrouillent)

Grand thriller à pression (oncotique) constante, ce best-seller aura su conquérir le cœur de milliers de jeunes étudiants en santé, tous unanimes : cet ouvrage n'est pas simplement une révélation, c'est une invitation à redécouvrir le monde d'une nouvelle perspective.

RÔLE DES FORCES EN PRÉSENCE

Rappel des définitions importantes du cours

- **Osmole** : Petite molécule en solution
- **Protéine** : "grosse" molécule en suspension
- **Ultrafiltration** : Passage uniquement d'eau et d'osmoles à travers les membranes biologiques (donc pas les protéines car elles sont trop grosses)
- **Pression oncotique** : Dépend de la concentration de molécules en suspension (protéines). Elle se manifeste par la tendance de l'eau à aller vers le compartiment où la concentration en protéines est supérieure.
→ Du - concentré vers le + concentré (*cherche à aller vers l'intérieur des capillaires*).
- **Pression hydrostatique** : c'est la force de pression latérale qui va pousser les échanges du plasma vers l'interstitium.



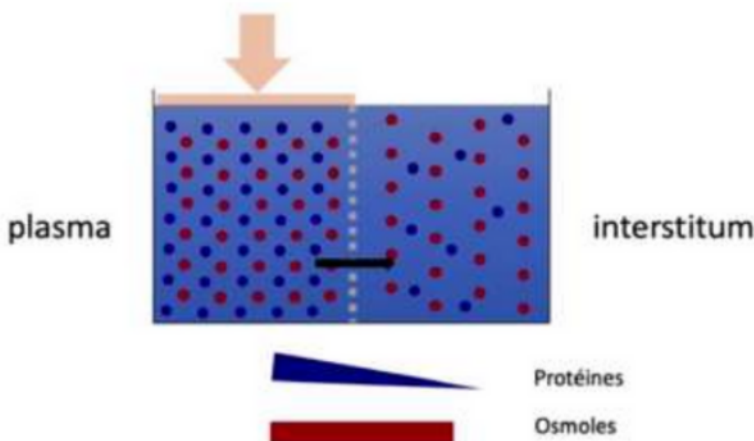
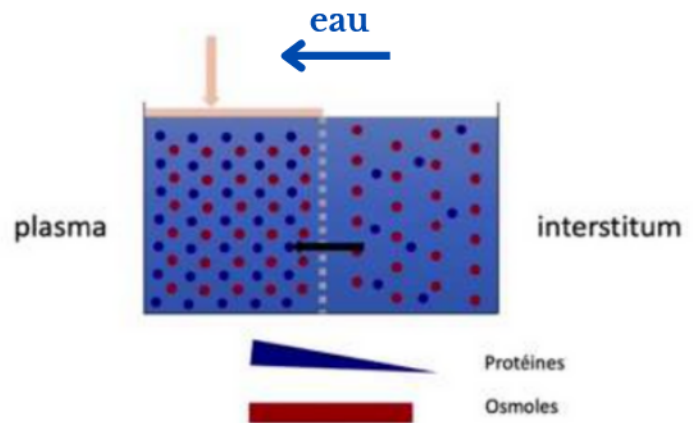
Interstitium : espace entre les vaisseaux, les cellules...

La **pression oncotique** est plus importante dans le compartiment de gauche (plasma), car la concentration en **protéines** est plus grande. Le plasma est plus riche en **protéines** que le compartiment de droite (interstitium) ++++

L'eau a donc tendance à passer du compartiment de droite vers le compartiment de gauche (*du - vers le + on n'oublie pas*).

Si on exerce une **pression hydrostatique** sur le compartiment de gauche (le plasma), on limite le flux hydrique lié à la différence de **pression oncotique**.

Le flux de l'eau dans le sens interstitium → plasma est donc limité grâce à cette **pression hydrostatique**.

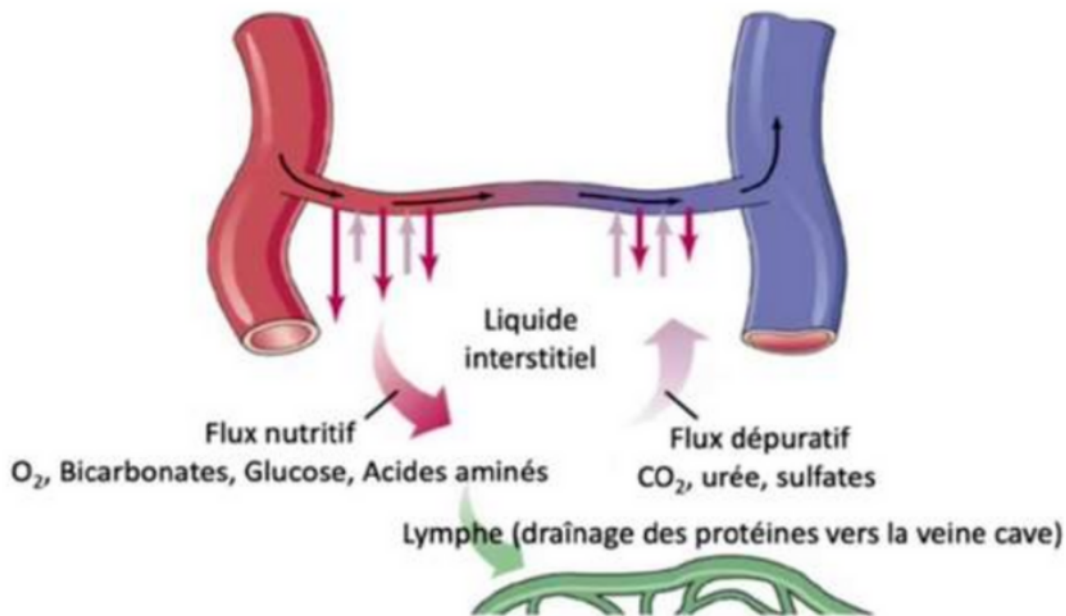


Maintenant, nous pouvons voir que si on exerce une **pression hydrostatique** supérieure à la **pression oncotique**, on inverse le sens du flux hydrique. La **pression hydrostatique** est plus forte que la **pression oncotique**, donc cette fois on ne limite pas mais on inverse bien le sens du flux. Le flux va donc de gauche à droite (du + concentré vers le - concentré)

La situation décrite ci-dessus reflète ce qu'il se passe en réalité dans les capillaires standards de notre organisme.

Dans ces capillaires standards on alterne entre ces situations si on est plus proche de pôle artériel ou du pôle veineux : on va développer ça maintenant.

ULTRAFILTRATION À TRAVERS LES CAPILLAIRES STANDARDS



➔ Au **pôle artériel (à gauche)**, la **pression hydrostatique (flèche rouge)** est forte au départ puis elle diminue de + en + au fur et à mesure qu'on se rapproche du **pôle veineux (à droite)**.

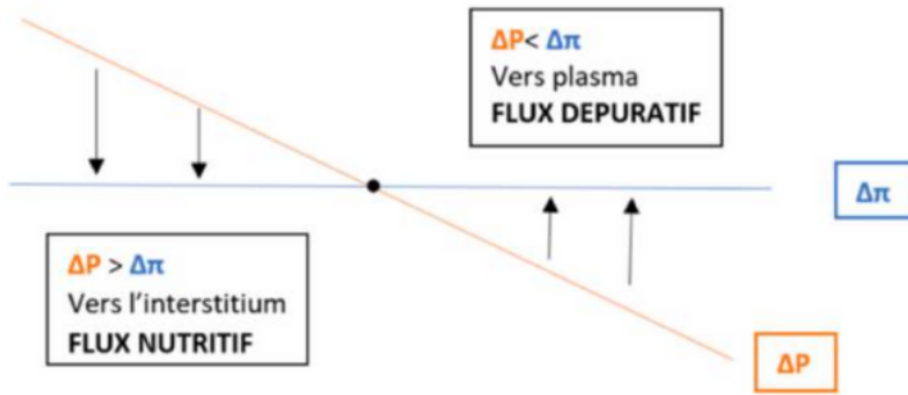
Les transferts de liquide permis par la **pression hydrostatique** sont représentés par les flèches dirigées vers le bas, vers le liquide interstitiel.

➔ La **pression oncotique** est représentée par les flèches en sens inverse, dirigée vers le haut c'est-à-dire vers le capillaire. La **pression oncotique** reste identique tout au long du capillaire.

Il existe donc un déséquilibre entre **pression oncotique** et **hydrostatique**, il détermine :

⇒ Un **flux nutritif au pôle artériel**. En effet la **pression hydrostatique** est supérieure à la pression oncotique. Ce flux assure un apport d'oxygène, d'acides aminés et de glucose aux tissus. **Les nutriments vont à l'extérieur +++**

⇒ Un **flux dépuratif au pôle veineux**. En effet la **pression oncotique** est supérieure à la **pression hydrostatique**. Il y a épuration du gaz carbonique, de l'urée, de sulfate et d'autres déchets. **Les déchets rejoignent les veines +++**



Nota bene:

- $\Delta\pi$ correspond à la pression oncotique
- ΔP correspond à la pression hydrostatique

RELATION DE STARLING

La relation de Starling met en équation les forces dont on vient de parler.

c = capillaire

i = interstitiel

P = pression hydrostatique

π = pression oncotique

Gradient de pression hydrostatique Gradient de pression oncotique

$$\text{Débit d'ultrafiltration} = [(P_c - P_i) - (\pi_c - \pi_i)]$$

Le débit d'ultrafiltration est proportionnel à la différence entre le gradient de pression hydrostatique et le gradient de pression oncotique.

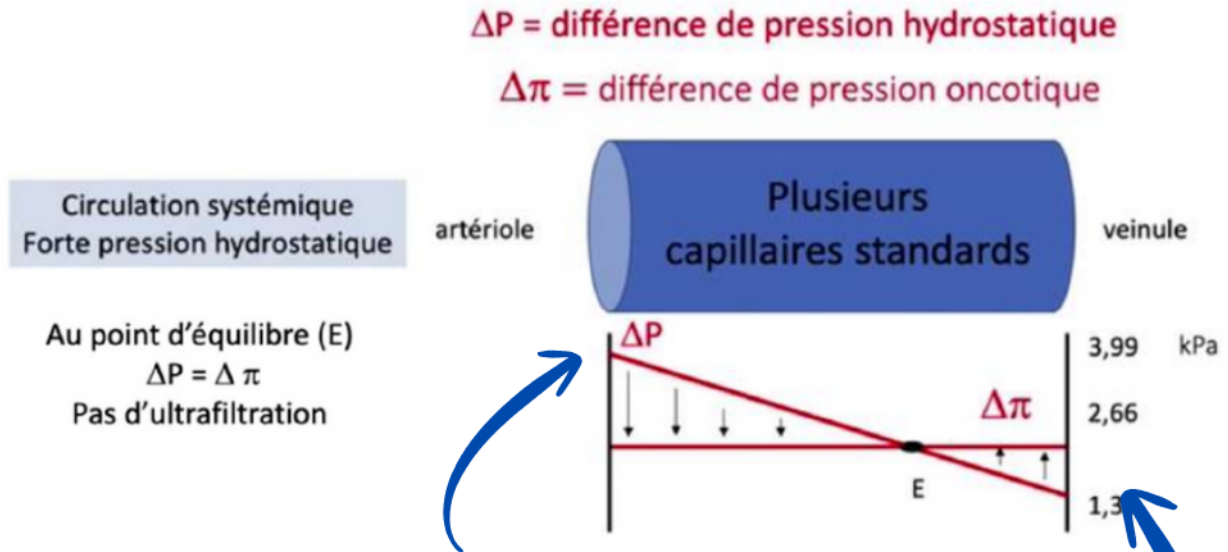
Petite précision (on se répète...) :

- **Pression oncotique** : favorise le transfert du liquide depuis le liquide interstitiel vers le capillaire

- **Pression hydrostatique** : pulse à l'intérieur des capillaires et favorise le transfert du liquide depuis le capillaire vers le liquide interstitiel.

Cette relation aide à savoir quelle pression prédomine et donc dans quel sens se dirigera le fluide. Comme les deux pressions ont des sens opposés, celle qui prédomine impose le sens des échanges.

Qu'est-ce que cela donne dans la circulation systémique, une circulation à forte pression hydrostatique ? (*encore une diapo qui se répète*)



- ➔ Le gradient de pression oncotique $\Delta \pi$ **NE VARIE PAS** de l'extrémité artérielle à l'extrémité veineuse des capillaires.
- ➔ Le gradient de pression hydrostatique ΔP est maximal au pôle artériel et **DIMINUE** petit à petit jusqu'au pôle veineux à cause des frottements qui correspondent à la perte de charge (les frottements exercés sur les parois des capillaires).

+++ Ainsi du côté artériolaire, l'équilibre des gradients est en faveur d'une sortie du liquide de la lumière des capillaires vers le liquide interstitiel.
 Au pôle veineux c'est l'inverse.

Au point d'équilibre E, les gradients de pression sont équivalents et à cet endroit, les flux sont de même intensité dans les 2 sens.

CARACTÉRISTIQUES DES CAPILLAIRES STANDARDS

Il s'agit des capillaires les plus fréquents notamment au niveau cutané et musculaire.

Ils possèdent les propriétés suivantes (*qui résument globalement ce qu'on a vu avant*) :

⇒ Ils sont **perméables à l'eau et aux osmoles mais imperméables aux protéines**
+++

⇒ Les pressions qui s'exercent à l'intérieur sont : une **pression hydrostatique** (exercée par le coeur et positive) et une **pression oncotique importante et stable**
+++ (70 g/L)

⇒ Une pression externe qui est la **pression hydrostatique des tissus qui est légèrement négative**. En effet, ces derniers ont une élasticité qui exerce une traction sur les structures qui les entourent.

Il y a également une faible pression oncotique externe exercée par les protéines (17 g/L)

EFFET DONNAN ET CAPILLAIRES STANDARDS

Tout d'abord information importante ! Attention aux pièges QCM !

L'effet Donnan se produit UNIQUEMENT dans les capillaires standards +++++

Il permet de répartir des charges négatives à l'intérieur de la lumière des capillaires

Membrane capillaire	
Plasma	- + Liquide interstitiel
	- +
Na ⁺ = 150 mmol/kg d'eau	- + Na ⁺ = 144 mmol/kg d'eau
	- +
Cl ⁻ = 109 mmol/kg d'eau	- + Cl ⁻ = 114 mmol/kg d'eau
	- +
Protéines = 70 g/l	- + Protéines = 17 g/l
	- +
Somme des anions = somme des cations	- + Somme des anions = somme des cations

Ces charges éloignent les protéines de la face interne des capillaires et évitent qu'ils ne s'encrassent comme des filtres.

Mais il se trouve que les protéines sont **majoritairement ELECTRONEGATIVES !!**

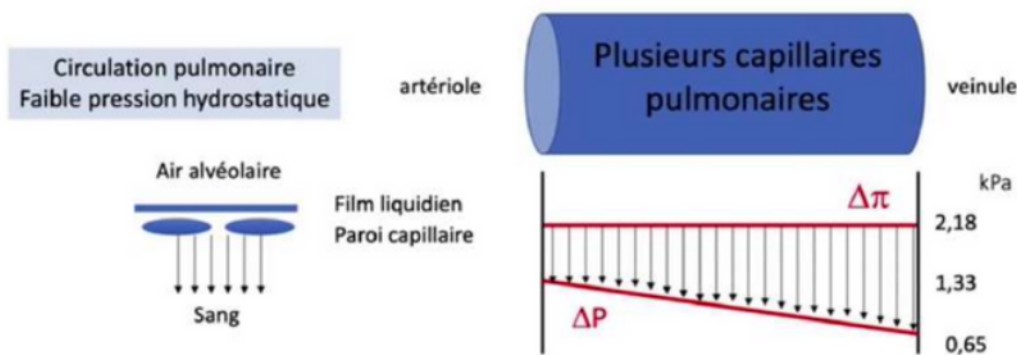
Ces dernières sont donc **REPOUSSEES** (*car les charges de même signe se repoussent*) de la membrane capillaire évitant que celles-ci s'encrassent sur la membrane. C'est ça l'effet Donnan. *Les protéines ne sont plus sur les parois et les fluides peuvent passer sans problème.*

LES DIFFÉRENTS TYPES DE MEMBRANES BIOLOGIQUES

CARACTÉRISTIQUES DES CAPILLAIRES PULMONAIRES

Dans la circulation pulmonaire, il y a une **faible pression hydrostatique**.

L'équilibre entre les gradients de pression est donc différent par rapport à ce que l'on vient de voir.



- ➔ Le gradient de pression oncotique $\Delta\pi$ ne varie pas entre le pôle artériel et le pôle veineux.
- ➔ Le gradient de pression hydrostatique ΔP diminue également du pôle artériel au pôle veineux en raison de la perte de charge. Mais cette fois-ci on remarque qu'il est **toujours inférieur** +++ (en valeur absolue) au gradient de pression oncotique.

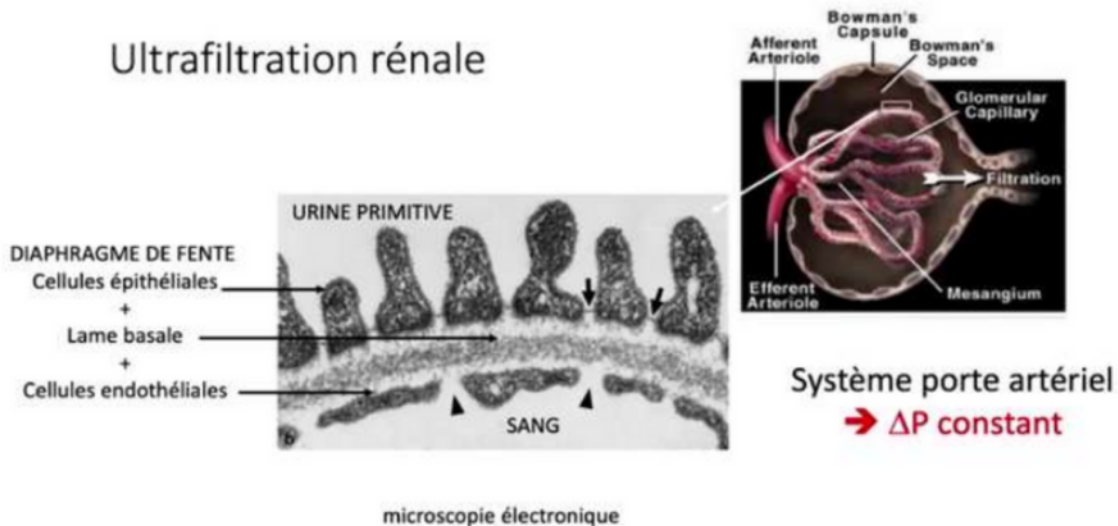
Cela signifie que les alvéoles pulmonaires sont en permanence drainées et que le liquide qui y règne n'est qu'un petit film liquidien à travers lequel se font les échanges gazeux.

⇒ Le liquide est donc **TOUJOURS** dirigé vers les capillaires pour que les alvéoles ne soient pas noyées.

ULTRAFILTRATION RÉNALE : DIAPHRAGME DE FENTE

A l'intérieur des reins, le régime de pression est encore différent.

Il y a un système porte artériel qui est à très forte pression par rapport à la circulation systémique.



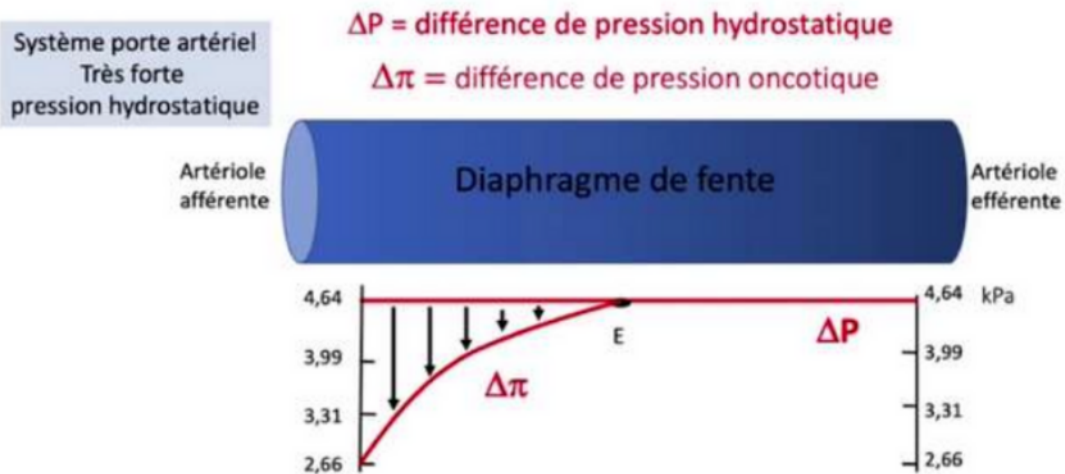
Les unités de filtration sont représentées par les glomérules (sur la photo de droite). Il y a 3 types de vaisseaux sanguins:

- Les artéριοles **afférentes** en haut (*A comme ARRIVEE*)
- Les capillaires glomérulaires
- Les artéριοles **efférentes** en bas (*E comme EXIT*)

Si on grossit au microscope un capillaire glomérulaire, on peut observer:

- Les cellules épithéliales (digitations) en haut
- La lame basale au milieu
- Des cellules endothéliales aplaties en bas

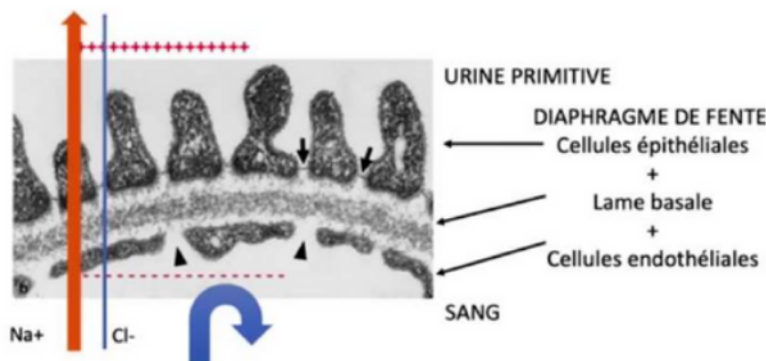
A l'intérieur du diaphragme de fente (de bas en haut pour le diaphragme), il y a une ultrafiltration. Le système est à forte pression hydrostatique (à cause du système porte).



- ➔ Le gradient de pression hydrostatique ΔP ne varie PAS de l'artériole afférente à l'artériole efférente.
- ➔ Le gradient de pression oncotique $\Delta \pi$ AUGMENTE jusqu'à se retrouver au même niveau que ΔP et à ce moment là le flux s'arrête. Le plasma filtre à travers le diaphragme de fente, les protéines se concentrent donc à l'intérieur du plasma car tout le liquide se dirige à l'extérieur du capillaire.

Ce rapport des gradients indique donc qu'il y a une **ultrafiltration** qui va **TOUJOURS** du capillaire vers l'urine primitive.

Il n'y a PAS de protéines dans l'urine primitive ! Si bien que ce $\Delta \pi$ arrive au niveau d'équilibre.



Protéines électronégatives
12,6 kg de protéines/jour

Différence de mobilité mécanique des ions Na⁺ et Cl⁻

➔ Les charges négatives sur l'endothélium éloignent les protéines



Pour éviter que le filtre glomérulaire ne s'encrasse, la mobilité différentielle du sodium et du chlorure à l'intérieur du diaphragme de fente crée une lumière capillaire électronégative qui repousse les protéines.

Rappel : la grande majorité des protéines sont électronégatives et deux charges de même signe se repoussent !

ÉPANCHEMENTS ET ŒDÈMES

Lorsque les gradients de pression ne sont plus répartis correctement, du liquide extracellulaire va s'accumuler.

Un œdème : lorsque du liquide s'accumule dans un **tissu sous cutané**.

⇒ Il se traduit par la présence du **signe du godet** qui est le fait de laisser la trace du doigt lorsqu'on appuie, comprime le tissu sous cutané (*le prof mentionne la crête tibiale antérieure dans le cours*).

⇒ L'œdème peut se trouver dans les alvéoles pulmonaires, cela provoquera une dyspnée (*ou essoufflement*), accompagné d'une expectoration mousseuse et rosée (*la couleur du plasma*).

Un épanchement : il s'agit d'une accumulation de liquide extracellulaire dans les **cavités virtuelles de l'organisme** (la plèvre, le péricarde et le péritoine).

Il existe différentes manières en cliniques de mettre en évidence les épanchements :

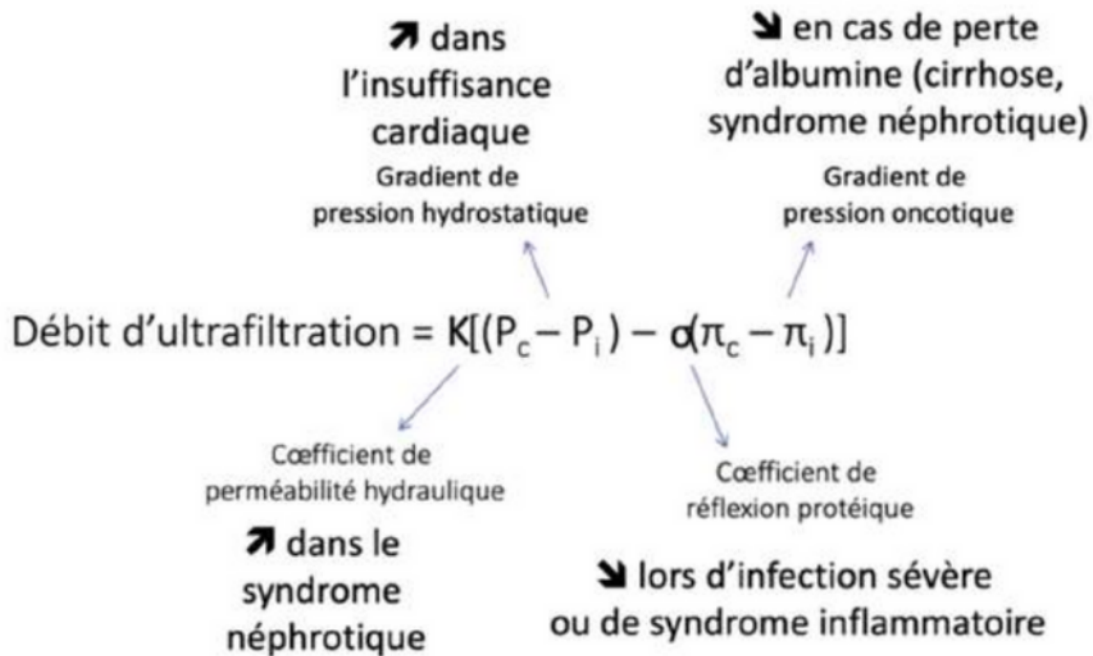
- La **pleurésie** : épanchement dans la plèvre
⇒ Donne une matité lors de la percussion du thorax alors que généralement il est assez sonore.

- La **péricardite** : épanchement du péricarde
⇒ Donne des bruits de frottement à l'auscultation.

- L'**ascite** : épanchement du péritoine
⇒ Entraîne une perception des vibrations déclenchées par un pichenette d'un côté de l'abdomen.

DÉSÉQUILIBRE DES FORCES

La relation de Starling nous indique comment en pathologie les oedèmes et les épanchements se forment.



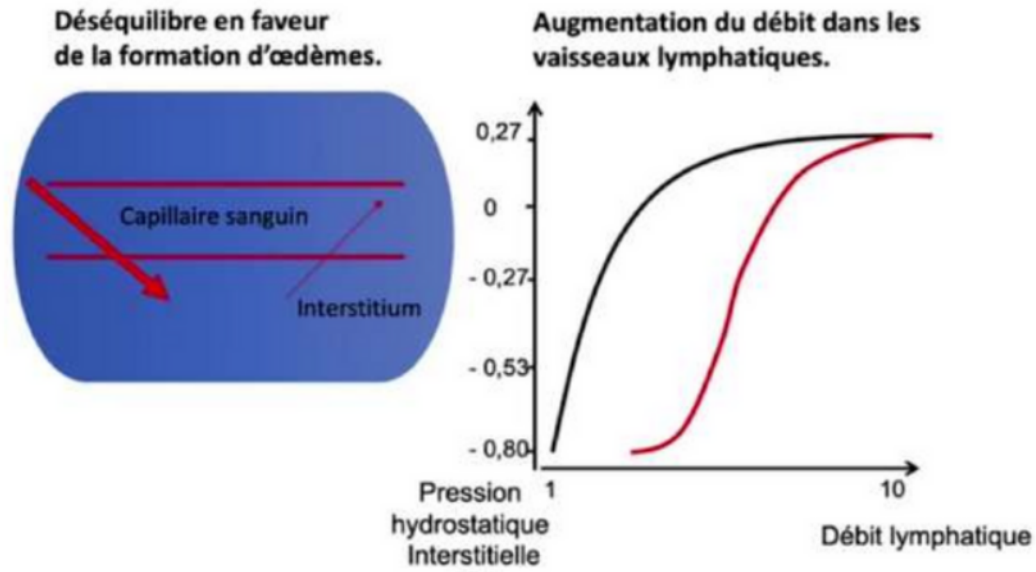
Dans l'insuffisance cardiaque, la cirrhose ou encore dans le syndrome néphrotique, les gradients de pressions ainsi que les coefficients de perméabilités ou de réflexion protéiques sont modifiés.

RÉSEAU DE SUPPLÉANCE : CAPILLAIRES LYMPHATIQUES

Il existe un réseau de suppléance dans l'organisme.

En effet, lorsque le flux de plasma s'extravase dans l'interstitium et qu'il rentre dans les capillaires par la suite dans une quantité moindre, il n'y a pas toujours la formation d'oedèmes ou d'épanchements.

Cela est possible car il existe un réseau lymphatique qui va être capable de conduire le liquide interstitiel vers la veine cave supérieure (*dans le coeur*).



Ce réseau possède un débit qui augmente de manière considérable lorsque la pression interstitielle devient positive (voir le graphique au-dessus). Cela se produit lorsqu'il y a une quantité de liquide anormale dans l'interstitium. Normalement la pression dans l'interstitium est négative. Elle devient positive lorsqu'il y a trop de liquide dedans. C'est à partir de là que le réseau de suppléance se met en marche et il commence à drainer le liquide pour éviter la formation d'œdèmes et d'épanchements.

Malheureusement, ce réseau de suppléance peut être saturé et la formation d'œdèmes et d'épanchements est possible.

Au cas où le liquide interstitiel serait surabondant, on a un décalage de cette courbe vers la droite, avec de forts débits lymphatiques pour des pressions normales dans l'interstitium.

CONCLUSION

- ➔ L'ultrafiltration à travers les membranes biologiques concerne l'eau, l'ensemble des osmoles mais PAS les protéines. Sauf dans les capillaires sinusoides du foie car il fabrique les protéines pour l'organisme.
- ➔ La relation de Starling désigne l'équilibre des forces responsables de l'ultrafiltration.
- ➔ Le déséquilibre de ces forces est extrêmement fréquent en médecine.

Tableau récap du cours (*merci à mes vieux pour celui-ci*) :

Capillaires standards	Capillaires pulmonaires	Capillaires rénaux
<ul style="list-style-type: none"> - Pôle artériel et veineux - $\Delta\pi$ STABLE - ΔP DIMINUE <p><u>SI $\Delta P > \Delta\pi$</u>: flux nutritif</p> <p><u>SI $\Delta\pi > \Delta P$</u>: flux dépuratif</p> <p>Présence de <u>l'effet Donnan</u> (<i>et uniquement ici !!!!</i>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pôle artériel et veineux - $\Delta\pi$ STABLE - ΔP DIMINUE <p><u>$\Delta\pi$ toujours > à ΔP</u></p> <p><u>Un seul flux:</u></p> <p>Alvéoles → Capillaires</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Artériole afférente et efférente - $\Delta\pi$ AUGMENTE - ΔP STABLE <p>Diaphragme de fente</p> <p>PAS de protéines dans l'urine !!!</p> <p><u>Un seul flux:</u></p> <p>Capillaires → Urine primitive</p>

Pensez à bien visualiser les diagrammes dans chaque situation pour bien retenir