

Potentiel chimique, convection et diffusion

INTRO

→ Pression hydrostatique :

- Elle est la résultante de la **pression atmosphérique** et de la **pression de certains muscles** (cœur et muscles de la paroi thoracique notamment)
- Pression exercée sur les **liquides** et les **gaz** de l'organisme.
- Elle mobilise le **sang** et l'**air** pulmonaire.
- Ex : Le cœur exerce une pression hydrostatique sur le sang pour pouvoir l'envoyer dans l'ensemble des vaisseaux sanguins de l'organisme.
- L'écoulement des fluides est considéré comme **laminaire** :

$$\text{Débit de fluide} = \frac{\text{Différence de pression}}{\text{Résistance}}$$

→ Milieu liquide et pression osmotique :

- Les mouvements moléculaires à l'intérieur d'un milieu **liquide** proviennent de différences de **pression osmotique**.
- Elle est **proportionnelle à la concentration** des molécules en solution.

→ Variations de concentration dans les compartiments liquidiens de l'organisme :

- Les **cellules intestinales** modifient la concentration du **liquide digestif** tout au long de son trajet.
- La **circulation sanguine** mobilise le **plasma** dont la concentration en nutriments, en gaz dissouts et déchets du métabolisme varie selon les secteurs.
- Les **cellules rénales** modifient la concentration de l'**urine primitive** tout au long de son trajet (de la filtration glomérulaire à l'élimination).

→ Milieu aérien et pression partielle

- Les mouvements moléculaires à l'intérieur des **gaz** proviennent des différences de **pression partielle**.

1/ POTENTIEL CHIMIQUE DES MOLÉCULES DISSOUTES

A- DIFFUSION

NOTION VALABLE POUR LES LIQUIDES OU LES GAZ

- Une molécule en solution a tendance à se distribuer de manière **homogène** par **diffusion** (agitation thermique).
- + Un **rassemblement** de molécules en solution possède un **potentiel de diffusion** ou **potentiel chimique** (PC) +

LOI DE FICK

$$J_D(x) = -D \frac{dc}{dx}$$

x = distance entre 2 points

J_D = flux par diffusion (sur la distance x)

D = coefficient de diffusion

dc = différence de concentration entre A et B

dx = distance entre 2 points très voisins A et B

dc/dx = gradient de concentration entre A et B

Signe négatif = le flux va en sens inverse de celui du gradient
(le sens du gradient est orienté par convention du – vers le +).

Potentiel chimique
de la molécule

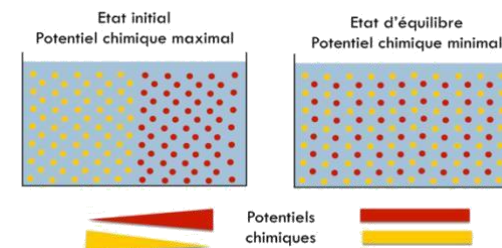
- + Le **PC** d'une molécule est proportionnel à sa **concentration** et à son **coefficient de diffusion** (loi de Fick) +

→ **Coefficient de diffusion** dépend de :

- **Température** : l'agitation thermique est le « **moteur** » de la diffusion. La température du corps est **constante et régulée**.
- **Coefficient de mobilité mécanique** : chaque molécule possède un coefficient de mobilité mécanique qui **détermine son coefficient de diffusion** dans son milieu. *Par exemple, le sodium est moins mobile que le potassium ou le chlore.*

→ **NB** : Le **flux** va en **sens inverse** de celui du gradient (le sens du gradient est orienté par convention du – vers le +)

POTENTIEL CHIMIQUE EN SOLUTION



→ **État initial** : Chaque espèce (**rouge** et **jaune**) est concentrée dans une partie du récipient. A cet endroit, leur **PC est maximal**.

→ **État d'équilibre**

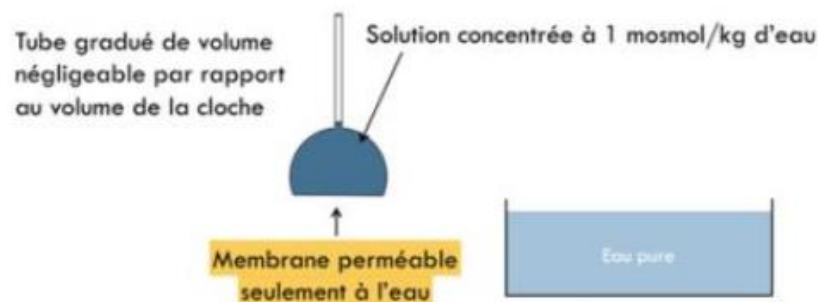
- Les espèces **rouges** et **jaunes** **diffusent** chacune vers l'endroit où leur concentration est **minimale**.

- La concentration des espèces étant la même à chaque endroit du compartiment, le **PC est minimal** et il n'existe **pas de gradient de PC**.

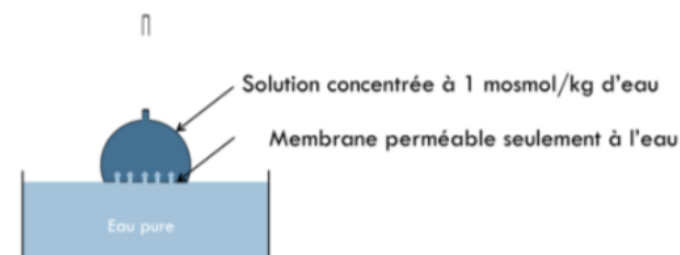
B- PRESSION OSMOTIQUE

- Molécule en **solution** = **osmole**.
- **Toute molécule en solution** (y compris les molécules d'eau) exerce une pression proportionnelle à sa concentration : **la pression osmotique**.
- Elle est mesurable par la mise en contact de solutions de concentration différente par l'intermédiaire d'une **membrane sélective** grâce à :

→ L'osmomètre de Dutrochet :



- bac rempli d'**eau pure**
- cloche remplie d'une **solution concentrée en osmoles**
- posé sur la cloche, avec une **membrane perméable uniquement à l'eau**



→ **Apposition de la cloche** sur le bac d'eau pure, on observe une **diffusion de l'eau** selon son potentiel chimique :

- L'eau diffuse du secteur le moins vers le plus concentré en osmoles.
- L'eau diffuse du secteur le plus vers le moins concentré en eau.

→ **Fun fact** (trop bien) : *10 mosmol dans 1 kilo (litre) d'eau exercent une pression égale au 1/3 de la pression atmosphérique au niveau de la mer !*

C- PRESSION ONCOTIQUE

→ **Pression oncotique** :

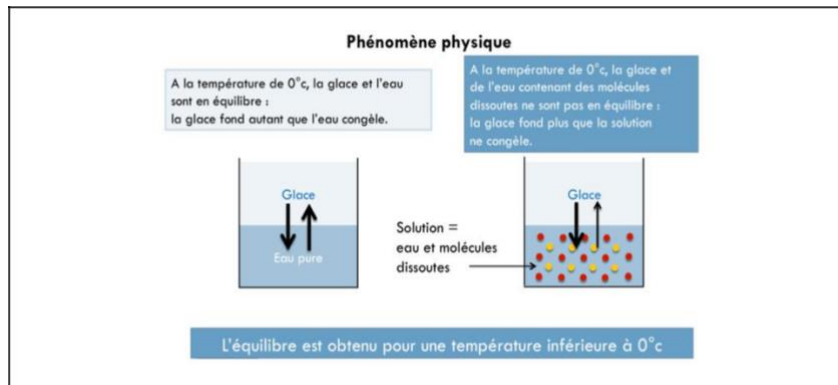
- Exercée par les molécules en **suspension** (ex : protéines...).
- Une molécule en suspension exerce une pression **proportionnelle à sa concentration**.
- Elle est mesurable par la mise en contact de solutions de concentration différente par l'intermédiaire d'une **membrane sélective**.

→ **ATTENTION** : Molécule en solution \neq molécule en suspension

+ PETIT TABLEAU RECAP +

| Molécule en SOLUTION | Molécule en SUSPENSION |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Molécule incapable de sédimer sous l'effet de la gravité (centrifugation). - Elles modifient la température de congélation de l'eau (abaissement cryoscopique) : l'eau de mer congèle à une température inférieure à celle de l'eau douce. Cette propriété permet de mesurer l'osmolalité. - Exemples : toutes les osmoles. | <ul style="list-style-type: none"> - Molécule capable de sédimer. - Elles ne modifient pas la température de congélation de l'eau. - Elles augmentent la diffusion de la lumière et sont dosées par des propriétés optiques. - Exemples : protéines, complexes protéiques (lipoprotéines). |

D- ABAISSMENT CRYOSCOPIQUE



→ Phénomène physique

→ Correspond à la **différence entre la température de congélation de l'eau pure et celle d'une solution (ΔT)**.

→ Est proportionnel à l'**osmolalité** de la solution (**relation linéaire**).

→ Une solution (eau + osmoles) congèle à une température inférieure à celle de l'eau pure.

E- MESURE DE L'OSMOLALITÉ

→ Il y a **théoriquement 2** méthodes pour mesurer la concentration de molécules dissoutes :

- Mesurer la **pression osmotique** (avec l'osmomètre de Dutrochet).
- Mesurer l'**abaissement cryoscopique** → C'est la technique utilisée

→ En pratique :

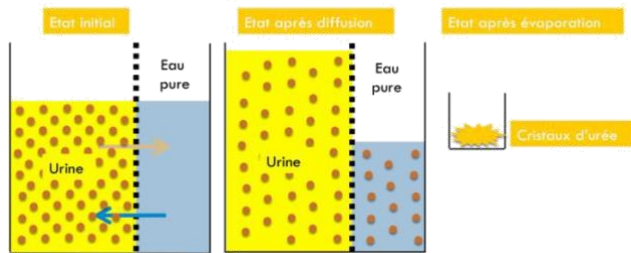
+ **une seule** façon de mesurer l'osmolalité: mesurer l'**abaissement cryoscopique** +

→ La mesure de la pression osmotique est **impraticable** en raison de l'**absence de membranes perméables seulement à l'eau** et de l'**osmolarité élevée** des fluides biologiques.

2/ SÉPARATION DE MOLÉCULES GRÂCE À UNE MEMBRANE

A- DIFFUSION

→ Ce principe de séparation est appelé **dialyse** (= séparer à travers)



→ **État initial** : 2 compartiments séparés par une membrane **NON sélective** : l'un est rempli d'urine, l'autre d'eau pure.

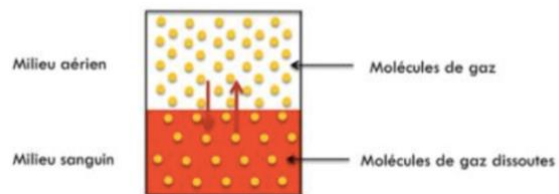
→ **État après diffusion**

- Les **molécules dissoutes** dans l'urine **diffusent** vers le compartiment d'eau pure (car la membrane leur est perméable).
- L'**eau diffuse** vers l'urine pour aller la diluer.

→ NB : une membrane **semi-perméable / non-sélective**, n'est **pas un obstacle** à la diffusion simple, cela donne le même résultat que s'il n'y avait pas de membrane

DIFFUSION À L'INTERFACE AIR-SANG

Flux de gaz (air → liquide) = coefficient de diffusion × gradient de pression partielle



- L'**O2** et le **CO2** diffusent librement.
- Le **flux de gaz (air-liquide)** est proportionnel au **coefficient de diffusion** et au **gradient de pression partielle**

B- CONVECTION : MOUVEMENT DE FLUIDES ET MOLÉCULES DISSOUTES

ANALOGIE AVEC LA LOI DE FICK

$$\text{Débit} (x) = -L_H \frac{dp}{dx}$$

x = distance entre 2 points

Débit = flux par convection (sur la distance x)

L_H = coefficient de mobilité mécanique dans le milieu

dp = différence de pression hydrostatique entre A et B

dx = distance entre 2 points très voisins A et B

dp/dx = gradient de pression entre A et B

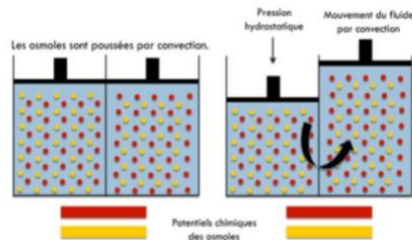
Signe négatif = le flux va en sens inverse de celui du gradient (le sens du gradient est orienté par convention du - vers le +).

+ CONVECTION = propriété d'un mélange de molécules **liquides ou gazeuses** de se déplacer selon la **pression hydrostatique** qu'elles subissent **+**

- Chaque molécule possède un **coefficient de mobilité mécanique** qui caractérise sa **facilité de déplacement** dans la membrane.
- La **convection** et la **diffusion** se passent **simultanément** et sont **complémentaires**.

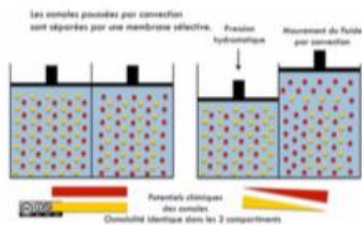
DIFFÉRENTES SITUATIONS

Convection à travers une membrane NON sélective



- Au départ : 2 compartiments de **composition identique** soumis à la même pression hydrostatatique séparés par une membrane non sélective (perméables aux osmoles).
- Application d'une pression hydrostatatique + importante sur C1 : Diffusion d'**eau ET d'osmoles** de C1 vers C2.
- Les PC ne sont pas modifiés car les osmoles peuvent traverser la membrane. Les **gradients de PC sont donc nuls**.

Convection à travers une membrane **SELECTIVE**

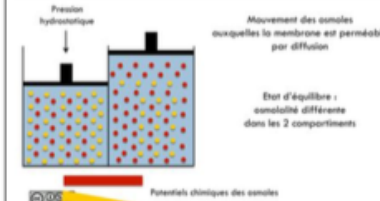


- La membrane est imperméable aux osmoles **jaunes** mais perméable aux osmoles **rouges**.
- Après application d'une pression hydrostatatique :
 - ✓ l'eau et les **osmoles rouges** traversent la membrane
 - ✓ les **osmoles jaunes** restent dans le compartiment C1.
 - ✓ Différence de concentration entre les 2 compartiments.

DONC : +++

membrane sélective + pression hydrostatatique
= Création d'un PC !

Diffusion à travers un membrane **SELECTIVE** (on part de la situation précédente)



- Comme la membrane est perméable aux **osmoles rouges**, elles **rediffusent** vers C1 selon le PC afin d'équilibrer les C°. Leur C° est identique des 2 côtés → **Pas de PC**.
- Les **molécules jaunes** ne peuvent **pas diffuser** car la membrane leur est imperméable → **PC pour les jaunes**.
- A l'état d'équilibre, l'osmolalité est **différente** dans les 2 compartiments

+ A bieeeeeen retenir +

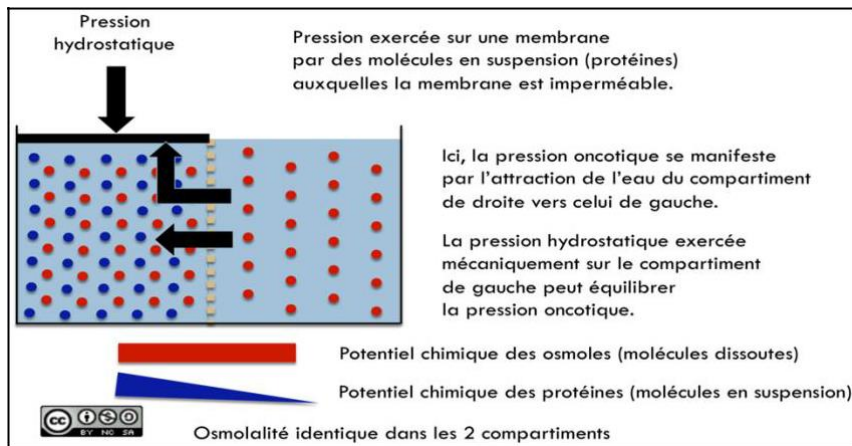
DIFFUSION → pression osmotique

=/=

CONVECTION → pression oncotique

C- PRESSON ONCOTIQUE

→ **Reminder** : C'est la pression exercée sur une membrane par des molécules en **suspension** (protéines) auxquelles la membrane est **imperméable**.



→ **Membrane semblable à une membrane capillaire :**

- **Perméable aux osmoles** → Pas de PC

- **Imperméable aux molécules en suspension / protéines** → PC

→ La pression oncotique se manifeste donc par **l'attraction de l'eau de C1 vers C2**. C1 est plus concentré en protéines, il va donc y avoir un flux d'eau de C2 vers C1 afin de « **diluer** » C1.

→ Il est possible d'exercer **mécaniquement une pression hydrostatique** sur C1. Si elle est de la même force que la pression oncotique, le **système est à l'équilibre** et il n'y a plus de passage d'eau.

→ Les **osmoles** (non chargées) peuvent traverser la membrane et réaliser leur **équilibre chimique** → L'osmolalité est identique dans les 2 compartiments.

D- FILTRATION ET ULTRAFILTRATION

FILTRATION : Passage d'eau et de molécules en solution ou suspension à travers une membrane non sélective (pas fréquent)

ULTRAFILTRATION : Passage d'eau et de molécules en solution à travers une membrane sélective (ex : capillaires séparent ions/protéines)

3/ MEMBRANE DES CAPILLAIRES SANGUINS

→ La membrane des capillaires sanguins est **imperméable aux protéines** et **perméable aux osmoles** (sauf exception)

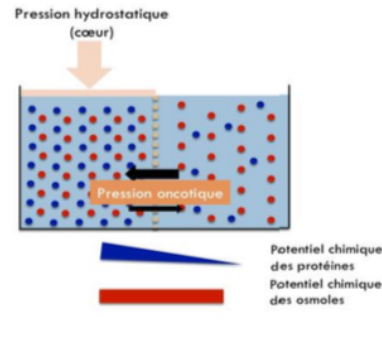
+ À bien retenir +

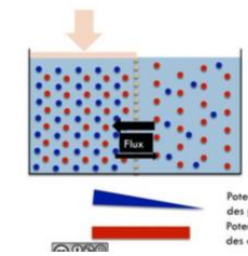
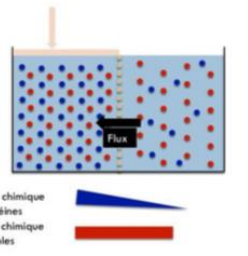
MEMBRANE CAPILLAIRE : Sépare le compartiment **plasmatique** du **liquide interstitiel (LI)**

=/=

MEMBRANE CELLULAIRE : Sépare le **MIC** (milieu intracellulaire) du **MEC** (milieu extracellulaire)

| | Pression dans les capillaires | Pression dans l'interstitium |
|----------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Hydrostatique | Forte/ Positive (cœur) | Faible/ Négative (tissus) |
| Oncotique | Forte ([protéines]=70g/L) | Faible ([protéines]=17g/L) |

| | |
|--|---|
|  <p>Presson hydrostatique (cœur)</p> <p>Presson oncotique</p> <p>Potentiel chimique des protéines Potentiel chimique des osmoles</p> <p>Concentration en protéines + importante dans le sang que dans le LI</p> | <p><u>Pression hydrostatique</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Exercée par le cœur + élasticité vx. - Favorise le passage d'eau et d'osmoles du compartiment sanguin vers le milieu interstitiel <p><u>Pression oncotique</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Exercée par les protéines - Favorise le passage d'eau et d'osmoles du milieu interstitiel vers le compartiment sanguin (car la concentration en protéines est plus importante dans les vaisseaux) <p><u>Pression osmotique</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Il ne s'exerce PAS de pression osmotique sur la membrane capillaire car elle est perméable aux osmoles ! |
|--|---|

| | |
|--|---|
|  <p>Flux</p> <p>Potentiel chimique des protéines Potentiel chimique des osmoles</p> |  <p>Flux</p> <p>Potentiel chimique des protéines Potentiel chimique des osmoles</p> |
| <p><u>À gauche</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Pression hydrostatique + importante - Si <u>$P_{\text{oncotique}} = P_{\text{hydrostatique}}$</u> absence d'échange - Si la <u>$P_{\text{hydrostatique}}$</u> exercée <u>augmente</u> suffisamment, elle peut contrecarrer la $P_{\text{oncotique}}$ | <p><u>À droite</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Faible pression hydrostatique - $P_{\text{oncotique}} > P_{\text{hydrostatique}}$ - Flux d'eau et d'osmoles vers le compartiment sanguin pour aller « diluer » les protéines |

A- RELATION DE STARLING

→ Modélisation de l'ultrafiltration dans les capillaires sanguins

c = capillaire
 i = interstitiel
 P = pression hydrostatique
 π = pression oncotique

Gradient de pression hydrostatique
 Gradient de pression oncotique

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

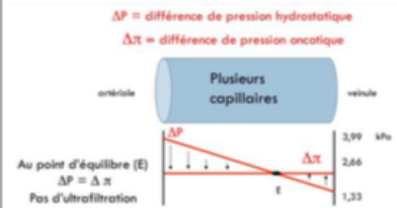
→ Le **débit d'ultrafiltration** est proportionnel à la **différence** entre le gradient de pression **hydrostatique** et le gradient de pression **oncotique**.

→ **Ultrafiltration** : Passage d'eau et d'osmoles (mais PAS des protéines) du sang vers milieu interstitiel à travers la membrane capillaire (sélective).

+ La **pression osmotique n'intervient PAS** car la membrane capillaire est perméable aux osmoles +

MODÉLISATION DANS DIFFÉRENTS CAPILLAIRES

Capillaire sanguin « STANDARD »



- Le gradient de pression hydrostatique ΔP diminue tout le long du capillaire (la différence de pression entre le plasma et le LI tend à diminuer), en raison des frottements et de la résistance vasculaire.
- Le gradient de pression oncotique $\Delta \pi$ reste constant (pas de variation de concentration entre plasma et LI).

2 pôles

➤ ARTÉRIEL/NUTRITIF :

- $\Delta P > \Delta \pi$: eau et osmoles vont du plasma vers le LI
- Apport de nutriments et d'oxygène aux tissus

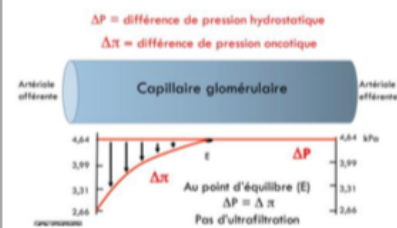
➤ POINT E :

- $\Delta P = \Delta \pi$: pas d'ultrafiltration, équilibre

➤ VEINEUX/DEPURATIF :

- $\Delta P < \Delta \pi$: eau et osmoles vont du LI vers le plasma
- Retour des « déchets » dans la circulation veineuse

Capillaire GLOMERULAIRE RENAL



- Unité fonctionnelle de filtration rénale = **glomérule** « petite boule » (1 million/rein)

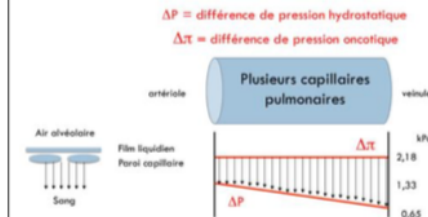
➤ ΔP :

- ΔP reste inchangé car nous sommes dans un système porte artériel (réseau capillaire entouré de 2 réseaux artériels)

➤ $\Delta \pi$:

- $\Delta \pi$ augmente jusqu'à atteindre l'équilibre E (augmentation de la concentration en protéines par sortie de plasma du vx et non pas par augmentation du nb de protons) !
- Il y a **ULTRAFILTRATION** du plasma vers l'urine primitive.
- **PAS de réabsorption** après E.

Capillaires ALVEOLAIRES PULMONAIRES



- En condition physiologique, on considère des **échanges de gaz** (pas de liquides), les alvéoles restent **sèches** !
- La circulation pulmonaire est une circulation **BASSE pression** (ΔP faible)

➤ $\Delta \pi$:

- $\Delta \pi$ reste inchangé

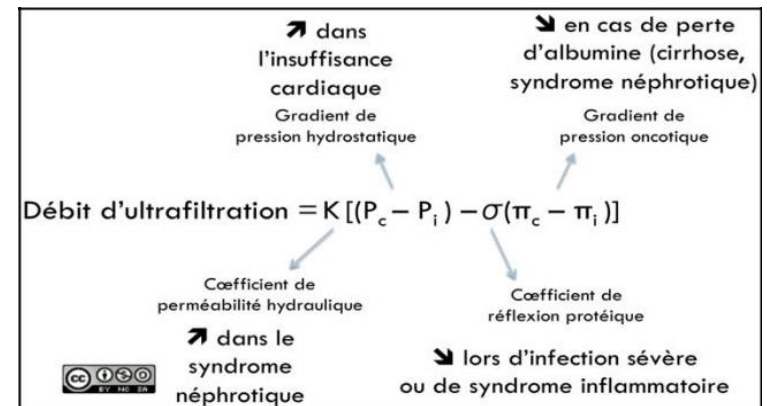
➤ ΔP :

- ΔP diminue entre le pôle artériel et veineux (perte de charge)

➤ PAS DE POINT E :

- Toujours $\Delta P < \Delta \pi$
- Uniquement de l'**ABSORPTION** (alvéoles → sang)
- **PAS d'ultrafiltration** : permet de ne pas inonder les alvéoles +++

B- APPLICATION DE LA RELATION DE STARLING EN MÉDECINE



→ Insuffisance cardiaque :

- **Baisse du débit cardiaque** car le cœur ne bat pas suffisamment fort.
- **Augmentation de ΔP** par augmentation de la pression veineuse périphérique.

→ Perte d'albumine (cirrhose, syndrome néphrotique)

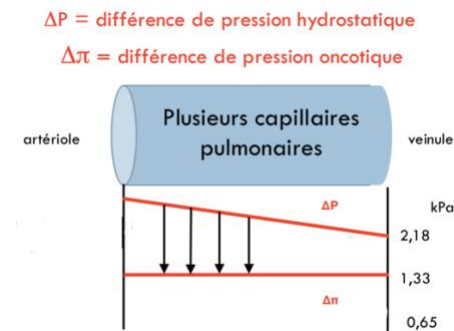
- **Diminution de $\Delta\pi$** par diminution de la quantité de protéines dans les capillaires (la **concentration intra-capillaire se rapproche de la concentration dans le LI**).

→ **ΔP augmente**, le **débit d'ultrafiltration augmente**. Il se produit donc une fuite de liquide extracellulaire du compartiment sanguin pour former des **œdèmes** et **épanchements**.

ŒDÈMES : Accumulation de LEC dans le tissu sous-cutané (signe du godet) + Accumulation de LEC dans les alvéoles pulmonaires (dyspnée avec expectoration mousseuse et rosée)

ÉPANCHEMENTS : Accumulation de LEC dans les cavités virtuelles de l'organisme (plèvre / pleurésie + péricarde / péricardite + péritoine / ascite)

EFFETS DE L'INSUFFISANCE CARDIAQUE SUR LES CAPILLAIRES PULMONAIRES



→ Insuffisance cardiaque (IC) :

- Diminution de la force contractile du cœur
- Augmentation de la pression veineuse
- Diminution de la pression artérielle

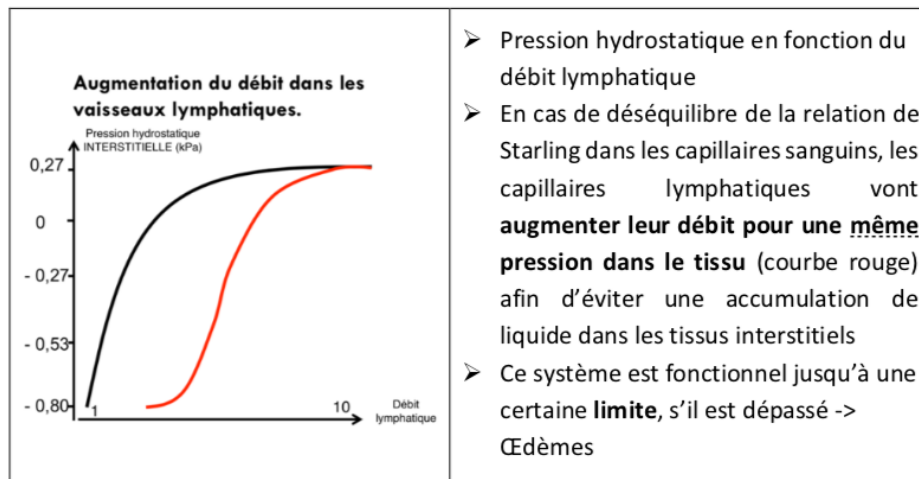
→ ΔP devient supérieur à $\Delta\pi$:

- **Ultrafiltration / Extravasation** de plasma vers les alvéoles
 - **Inondation des alvéoles** (dyspnée + expectorations)
- **Œdème pulmonaire**

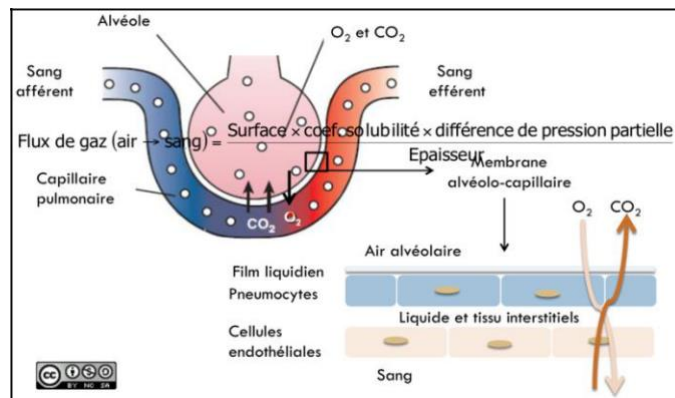
- **Capillaire standard** : ultrafiltration ($\Delta P > \Delta\pi$), équilibre ($\Delta P = \Delta\pi$), réabsorption ($\Delta P < \Delta\pi$)
- **Capillaire glomérulaire** : ultrafiltration ($\Delta P > \Delta\pi$), équilibre ($\Delta P = \Delta\pi$), pas de réabsorption
- **Capillaire pulmonaire** : réabsorption ($\Delta P < \Delta\pi$) tout le long car P faible, pas d'ultrafiltration (sauf patho : IC)

RÔLE DU RÉSEAU CAPILLAIRE LYMPHATIQUE

→ système de **suppléance** en cas d'excès de liquide interstitiel



C- DIFFUSION DES GAZ SANG-AIR ALVÉOLAIRES



→ Le sang **désoxygéné** riche en CO₂ est **afférent** (artériel) et le sang **oxygéné** est **efférent** (veineux).

→ Les **échanges de gaz** (O₂, CO₂) se font à travers la **membrane alvéolo-capillaire** (cellules endothéliales, pneumocytes, film liquidien).

APPLICATIONS EN MÉDECINE

$$\text{Flux de gaz (air} \rightarrow \text{sang)} = \frac{\text{Surface} \times \text{coef. solubilité} \times \text{différence de pression partielle}}{\text{Epaisseur}}$$

→ **Augmentation de l'épaisseur de la membrane** (œdème pulmonaire) :

- Modification de l'épaisseur de la membrane alvéolo-capillaire
- Diminution de la diffusion des gaz → **Dyspnée** (difficultés à respirer)

→ **Diminution de la pression partielle en altitude** (en extérieur) :

- Diminution de la différence de pression partielle entre air ext et intra-alvéolaire
- Possibilité de **difficultés respiratoire pour les insuffisants respiratoires**

RÔLE DES GAZ DISSOUS ET DE L'HÉMOGLOBINE (Hb)

| | 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 |

Débit cardiaque = 5 L/min

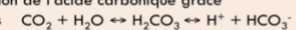
Consommation d'oxygène au repos = 250 ml/min

→ $5 \times 2,7 = 13,5 \text{ mL/min}$ soit 5%

Production de gaz carbonique au repos = 200 ml/min

→ $5 \times 27,6 = 138 \text{ mL/min}$ soit 69%

95% du transport d'O₂ est assuré par sa fixation à l'hémoglobine des globules rouges. L'élimination du CO₂ est assurée par l'hydratation de l'acide carbonique grâce à l'anhydrase carbonique des globules rouges



Réaction d'hydratation accélérée par l'anhydrase carbonique

→ Le gaz carbonique est **plus soluble** que l'oxygène.

→ Seulement **5% de l'O₂ est dissout** dans le sang (pb) mais bonne capacité d'élimination du **CO₂ (69% dissout)**.

→ Il existe donc un système :

- de **transport de l'O₂** grâce à l'**hémoglobine (95%)**
- d'**élimination du CO₂** par un système ubiquitaire et enzymatique : l'**anhydrase carbonique**

D- EFFET DONNAN (Vous allez en bouffer mdrrrr, enjoy)

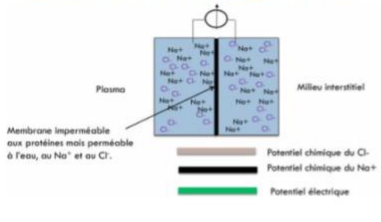
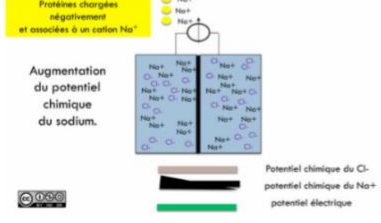
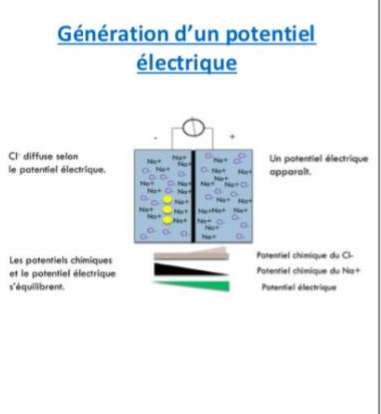
ASYMÉTRIE DE RÉPARTITION DES PROTÉINES ET DIFFÉRENCES DE COMPOSITION IONIQUE

| mmol/kg d'eau | | Plasma | Liquide interstitiel |
|---------------|-----------------|------------|----------------------|
| Cations | Na ⁺ | 150 | 144 |
| Anions | Cl ⁻ | 109 | 114 |
| | Protéines | 1 (70 g/l) | 0,25 (17 g/l) |

→ On observe une **absence d'égalité de concentration en Na⁺ et Cl⁻** de part et d'autre de la **membrane capillaire** (**plasma** : + de Na / **LI** : + de Cl) ainsi qu'une **asymétrie de répartition des protéines** (+ dans le plasma)

Mais pourquoi doooonc cette asymétrie de répartition ionique alors que la membrane capillaire leur est perméable ???

MISE EN ÉVIDENCE DE L'EFFET DONNAN

| | |
|---|---|
| <p>En l'absence de protéines = composition ionique identique</p>  <p>Plasma Milieu interstitiel</p> <p>Membrane imperméable à l'eau, au Na⁺ et au Cl⁻.</p> <p>Potentiel chimique du Cl⁻ Potentiel chimique du Na⁺ Potentiel électrique</p> | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Membrane imperméable aux protéines MAIS perméable au Na⁺ et Cl⁻ ➤ Le Na⁺ et le Cl⁻ peuvent donc réaliser leur équilibre chimique et il n'existe donc pas de gradient de concentration pour ces 2 composés entre les 2 secteurs ! |
| <p>Effets du protéinate de sodium</p>  <p>Protéines chargées négativement et associées à un cation Na⁺</p> <p>Augmentation du potentiel chimique du sodium.</p> <p>Potentiel chimique du Cl⁻ Potentiel chimique du Na⁺ Potentiel électrique</p> | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Introduction de protéines négativement chargées associées à des ions Na⁺ dans le plasma ➤ Le protéinate de sodium est une substance neutre qui ensuite se dissocie en protéines et Na⁺ ➤ Création d'un potentiel chimique pour le Na⁺ |
| <p>Génération d'un potentiel électrique</p>  <p>Cl⁻ diffuse selon le potentiel électrique.</p> <p>Un potentiel électrique apparaît.</p> <p>Les potentiels chimiques et le potentiel électrique s'équilibrent.</p> <p>Potentiel chimique du Cl⁻ Potentiel chimique du Na⁺ Potentiel électrique</p> | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Création d'un PC pour le Na⁺ plus important dans le plasma. Le Na⁺ va vouloir diffuser vers le LI pour équilibrer les C° ➤ MAIS lors de la dissociation du protéinate de Na, des charges négatives (protéines) sont libérées dans le plasma ce qui va créer un potentiel électrique (PE) → Plus de charges négatives dans le plasma ➤ Diffusion du Cl⁻ selon son PE : le Cl⁻ présent dans le plasma va fuir les charges négatives et va diffuser vers le LI |

→ Cependant les solutions restent **toujours ELECTRONEUTRES** bien qu'elles soient **asymétriques en charges**

→ La **répartition asymétrique des charges** ne s'observe que au niveau de la **SURFACE** de la membrane

→ Il faut **très peu** de substances électriquement chargées réparties asymétriquement pour avoir de **très fortes** variations de PE (1 ion sur 10^5 pour avoir une différence de 100 mV, mais à voir au prochain cours)

EFFET DONNAN : PRINCIPE ET CONSÉQUENCES

→ Principe :

- L'effet Donnan est basé sur la présence de **molécules chargées non diffusibles (les protéines)** à travers une **membrane sélective**.
- Les **concentrations des ions diffusibles** se stabilisent lorsque les potentiels **chimiques** et **électriques** s'équilibrent.

→ Conséquence électrique :

- Le **potentiel électrique** à l'équilibre est conditionné par la répartition des ions **diffusibles**.

→ Conséquence sur la composition des liquides :

- ✓ La **concentration des ions diffusibles** à l'équilibre est conditionnée par le **potentiel électrique**.

MIGRATION DES MOLÉCULES ÉLECTRIQUEMENT CHARGÉES : ANALOGIE AVEC LA LOI DE FICK

$$J_E(x) = -u_m \frac{dV}{dx}$$

x = distance entre 2 points
 J_E = flux par migration électrique (sur la distance x)
 u_m = coefficient de mobilité électrique dans le milieu
 dV = différence de charges électriques entre A et B
 dx = distance entre 2 points très voisins A et B
 dV/dx = gradient de charges entre A et B
 Signe négatif = le flux va en sens inverse de celui du gradient (le sens du gradient est orienté par convention du - vers le +).

Potentiel électrique de la molécule

→ Ces molécules chargées peuvent traverser une membrane

→ Définition de la migration électrique :

La migration électrique est la propriété des molécules électriquement chargées de se déplacer **selon la différence de potentiel électrique** du milieu en allant vers les charges de **signe opposé**.

→ Coefficient de mobilité électrique :

Chaque molécule électriquement chargées possède un coefficient de mobilité électrique qui **caractérise sa facilité de déplacement dans la membrane**.

EFFET DONNAN ET MEMBRANE CAPILLAIRE

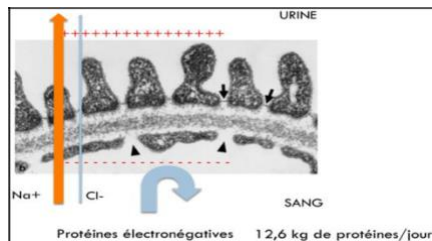
| Membrane capillaire | | |
|---|-----|---|
| Plasma | - + | Liquide interstitiel |
| $\text{Na}^+ = 150 \text{ mmol/kg d'eau}$ | - + | $\text{Na}^+ = 144 \text{ mmol/kg d'eau}$ |
| $\text{Cl}^- = 109 \text{ mmol/kg d'eau}$ | - + | $\text{Cl}^- = 114 \text{ mmol/kg d'eau}$ |
| Protéines = 70 g/l | - + | Protéines = 17 g/l |
| Somme des anions = somme des cations - | - + | Somme des anions = somme des cations + |

- **70 g** de protéines dans le plasma contre **17g** dans le LI.
- De chaque côté, la **somme des anions = somme des cations** mais il existe une **différence de répartition entre Na^+ et Cl^-** .
- En revanche, au niveau de la **surface** de la membrane, il n'y a **pas la même répartition** de charges (Plasma - / LI +), ce qui a un effet très fin sur le **transfert des molécules chargées**

+ COMPOSITION DU MEC +

Cette différence de composition en Na^+ et Cl^- entre le plasma et le liquide interstitiel est expliquée par l'**asymétrie de répartition des protéines** (anions) et par l'**imperméabilité de la membrane capillaire aux protéines**.

CONSÉQUENCES DE LA MOBILITÉ MÉCANIQUE DES IONS DANS LES CAPILLAIRES GLOMÉRULAIRES



→ **Membrane de filtration des capillaires glomérulaires rénaux** : déséquilibre de charge à la surface de la membrane (**sang - / Urine +**).

→ **180L** d'ultrafiltrat est filtré par jour par le glomérule.

→ Possibilité d'encrassement car il y a **70g/L** de protéines dans le sang (**12,6kg** de protéines qui peuvent s'accumuler sur ces parois capillaires) !

→ Il existe donc un **système anti-encrassement** qui permet de l'éviter. C'est un système de **perméabilité différentielle de la membrane rénale pour les ions Na et Cl** . Le Na sort plus vite que le Cl , ce qui entraîne un déséquilibre de charge avec plus de charges négatives à la surface de l'intérieur des capillaires (sang). L'électronégativité qui réside à la surface de la membrane capillaire va donc **repousser les protéines** qui sont elles-mêmes électronegatives

→ RECAP :

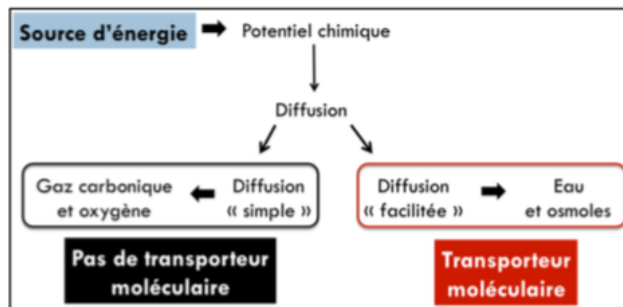
- L'**équilibre de Donnan** et le **système anti encrassement** sont **deux conséquences physiologiques** permises par cette capacité de **répartition différente** des substances **électriquement chargées**.
- La répartition asymétrique des charges ne se situe **qu'au niveau de la surface membranaire**.

4/ MEMBRANE PLASMIQUE

→ La membrane PLASMIQUE (≠ mb capillaire !!) :

- Est une bicouche lipidique (têtes hydrophiles à l'extérieur, queues hydrophobes à l'intérieur).
- Est un cristal liquide (Cristal = cohérence des éléments structurels / Liquide = mobilité extrême des éléments structurels).
- Sépare le milieu cellulaire du milieu extracellulaire (MEC).

→ Traversée de la membrane plasmique :



- Le **potentiel chimique est la source d'énergie** qui permet la diffusion.
- **Gaz carbonique et oxygène** → Diffusion **SIMPLE** (sans transporteur).
- **Eau et osmoles** → Diffusion **FACILITÉE** (avec transporteur).

A- EQUILIBRE OSMOTIQUE DE L'EAU

→ Diffusion facilitée de l'eau :

- L'eau traverse les membranes cellulaires à travers les **aquaporines**.
- Toutes les membranes cellulaires ont des aquaporines = **ubiquitaires**.

→ Équilibre osmotique de l'eau :

- L'eau est une substance **osmotiquement active**, qui diffuse au même titre que les molécules en solutions.

- Le milieu **cellulaire** est en **équilibre osmotique** avec le milieu **extracellulaire**.

- Une **variation d'osmolalité « efficace »** d'un des 2 compartiments entraîne une **diffusion de l'eau du secteur le moins vers le plus concentré (en osmoles)**.

- La **notion d'efficacité** dépend des **propriétés intrinsèques** de la membrane.

- Cette diffusion de l'eau s'appelle l'osmose.

+ ATTTTTEEEENNNTTTIIIOOONNN +

- L'**osmose** est le passage d'eau d'un côté à l'autre d'une membrane.
- La **diffusion** est le passage de soluté.
- La **convection** est le passage de liquide et de substances dissoutes.

LA MEMBRANE PLASMIQUE SÉPARE DES MILIEUX DE COMPO DIFFÉRENTES

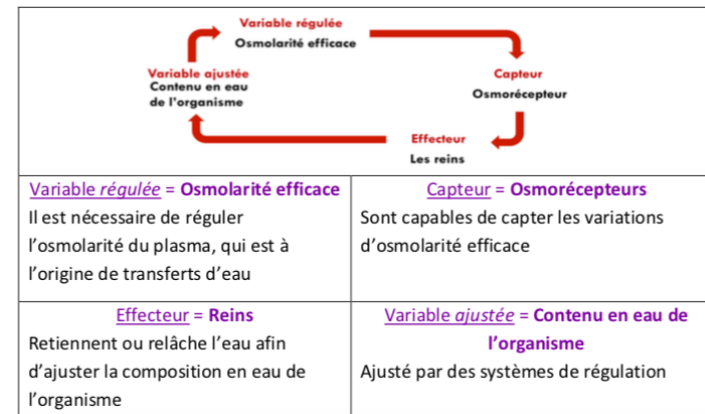
| mmol/l | | Liquide cellulaire | Liquide interstitiel |
|------------|-------------------------------|--------------------|----------------------|
| Osmolalité | mosmol/kg d'eau | 298 | 298 |
| Cations | Na ⁺ | 10 | 144 |
| | K ⁺ | 160 | 4 |
| | Ca ⁺⁺ ionisé | 2 | 1,5 |
| | Mg ⁺⁺ ionisé | 19 | 1 |
| Anions | Cl ⁻ | 6 | 114 |
| | HCO ₃ ⁻ | 8 | 29 |
| | Phosphates | 87,5 | 1,25 |
| | Protéines | 3,5 (245 g/l) | 0,25 (17 g/l) |

→ Grande différence de concentration des ions Na⁺ et K⁺ de part et d'autres de la **membrane plasmique** :

- Le **Na** est le principal cation **extracellulaire**
- Le **K** est le principal cation **intracellulaire**
- Concentration plus importante de **protéines** dans le MIC

→ En cas de variation de l'osmolalité extracellulaire, un système de régulation est nécessaire pour rétablir **l'équilibre osmotique**.

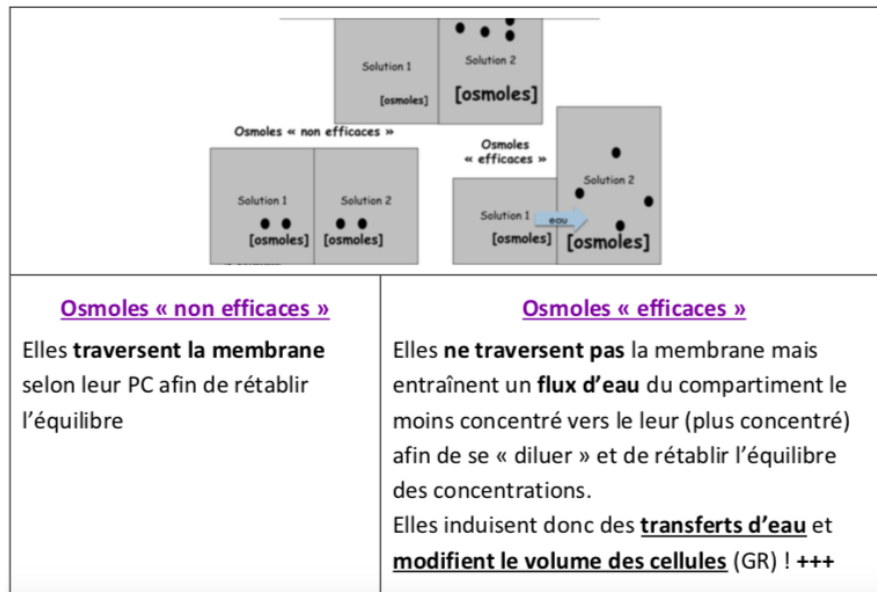
BOUCLE DE RÉGULATION



B- OSMOLE EFFICACE ?

+ IMPORTANT +

- **L'osmolarité efficace / tonicité** est la force qui **attire l'eau** d'un côté ou de l'autre des membranes cellulaires
- Une osmole efficace **induit des transferts d'eau**



QUALITÉS D'UNE OSMOLE EFFICACE

1- Il s'agit d'une **osmole incapable de traverser la membrane ou qui se comporte comme si elle ne pouvait pas la traverser** parce que sa répartition est contrôlée de manière active : c'est le cas pour le Na⁺ et le K⁺.

2- Il s'agit d'une **osmole circulante** (les variations de concentration doivent être détectées par des osmorécepteurs) : c'est le cas pour le Na⁺ et le K⁺.

3- Il s'agit d'une osmole dont la **variation de [C] plasmatique est sans conséquences sur les principales fonctions cellulaires** : ceci est le cas pour le Na⁺ seulement. En effet, le K⁺ stabilise le potentiel de membrane.

+ DOOOONC +

Le **sodium** Na⁺ est la **SEULE osmole efficace** : **SEULE** qui est **responsable de transferts d'eau** à travers la membrane plasmique

OSMOLALITÉ ET TONICITÉ

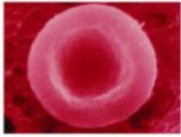

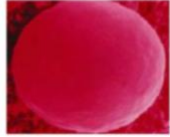
$$\text{Osmolalité (mosmol/kg)} = \frac{[\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{Cl}^-] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{glucose}] + [\text{urée}] + \dots}{\text{masse d'eau}}$$

→ Il est important de différencier :

- **L'osmolalité** = la somme de la concentration de **toutes les osmoles** divisée par la masse d'eau.
- **La tonicité / osmolalité efficace** = qui dépend **uniquement du sodium** (seule osmole efficace) et il faut donc faire abstraction de toutes les autres osmoles (non efficaces).

C- PERFUSION DE SOLUTÉS

- L'**isotonicité** est définie par rapport à la natrémie normale.
- La **natrémie normale** (concentration de Na dans le plasma) = **140 +/- 5 mmol/L**.

| | Natrémie = 140 mmol/L Milieu ISOTONIQUE | Natrémie > 145 mmol/L Milieu HYPERTONIQUE | Natrémie < 135 mmol/L Milieu HYPOTONIQUE |
|-----------------------------------|---|---|--|
| GR / Hématies / Érythrocytes |  |  |  |
| | Entrée = sortie d'eau | Sortie > entrée d'eau | Entrée > sortie d'eau |
| <u>Milieu isotonique</u> | <u>Milieu hypertonique</u> | <u>Milieu hypotonique</u> | |
| - L'eau entre autant qu'elle sort | - La sortie d'eau est supérieure à son entrée | - L'entrée d'eau est supérieure à sa sortie | |
| - GR en forme de disque | - GR déshydraté spiculé | - GR obèse qui risque d'éclater → Hémolyse | |
| | → Risque de plasmolyse | | |

→ **HYPERNATRÉMIE** : Diminution du volume cellulaire (déshydratation cellulaire)

- Variation de volume des osmorécepteurs
- Les reins **retiennent l'eau** à partir de l'urine primitive

→ **HYPONATRÉMIE** : Augmentation du volume cellulaire (hyperhydratation cellulaire)

- Variation de volume des osmorécepteurs
- Les reins **laissent partir l'eau** dans l'urine primitive

OSMORECEPTEURS

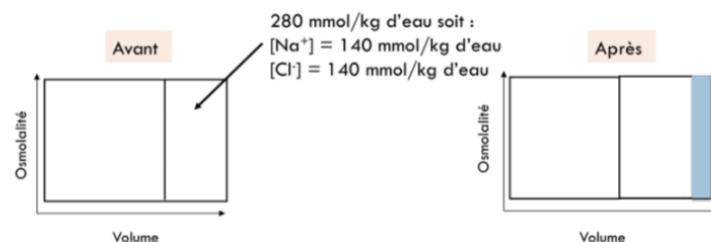
- C'est un groupe de cellules situées dans l'**hypothalamus**.
- Ce sont des **neurones** sujets aux mêmes variations de volumes que toute autre cellule entourée de milieu interstitiel.
- Les neurones sont capables de **signaler leurs variations de volume** qui dépendent des **variations de tonicité du plasma**.
- Le volume des osmorécepteurs varie **selon la natrémie**.

→ Variation de la natrémie => Modification du volume cellulaire

→ **DIAGRAMMES DE PITTS** (Superrrr importants) :

Perfusion d'une solution ISOTONIQUE

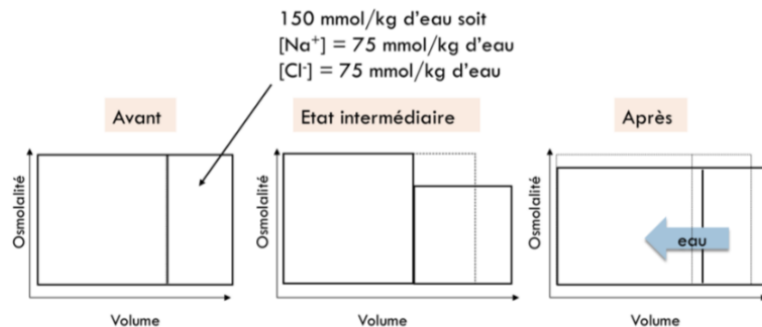
Perfusion d'un litre d'une solution avec 8,2 g de NaCl/kg d'eau



- Augmentation du **VEC**
- Pas de variation d'osmolalité

Perfusion d'une solution HYPOTONIQUE

Perfusion d'1 litre d'une solution avec 4,5 g de NaCl/kg d'eau



- Augmentation du **VEC**
- Diminution globale de l'osmolalité
- Augmentation du **VIC** (par diffusion)

Perfusion d'une solution HYPERTONIQUE

Perfusion d'1 litre d'une solution avec 10 g de NaCl/kg d'eau

334 mmol/kg d'eau soit :
 $[Na^+] = 167 \text{ mmol/kg d'eau}$
 $[Cl^-] = 167 \text{ mmol/kg d'eau}$



- Augmentation du **VEC**
- Diminution du **VIC** (par diffusion)
- Augmentation globale de l'osmolalité

Perfusion d'une solution ISO-OSMOTIQUE (urée)

Perfusion d'un litre d'une solution avec 16,8 g d'urée/kg d'eau (280 mmol/kg d'eau)

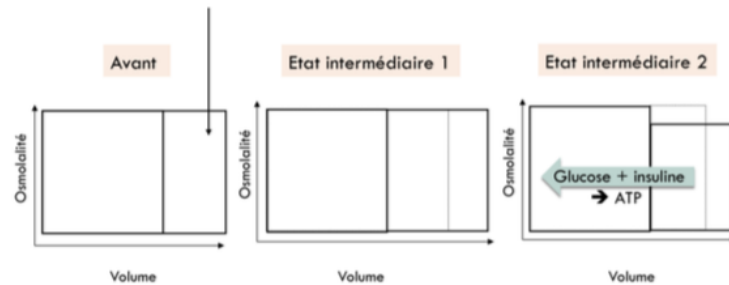


Diffusion libre de l'urée et de l'eau vers le VIC.
 Attention on ne parle pas de tonicité car l'urée est une osmole non efficace.

- Augmentation du **VEC**
- Augmentation du **VIC**
- Pas de variation d'osmolalité

Perfusion d'une solution ISO-OSMOTIQUE

Perfusion d'un litre d'une solution avec 50 g de glucose/kg d'eau (292 mmol/kg d'eau)

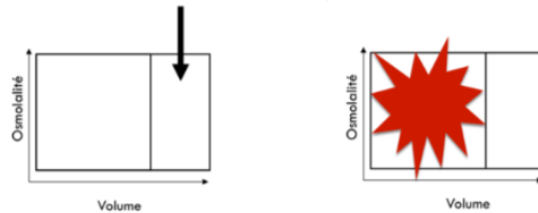


Le glucose est osmotiquement actif seulement en l'absence d'insuline

Suite à la sécrétion d'insuline, le glucose rentre et est bloqué dans la cellule. Diminution dans un premier temps de l'osmolalité EC. In fine, diffusion d'eau du MEC vers le MIC afin d'équilibrer les concentrations.

Perfusion d'EAU PURE

Perfusion d'un litre d'eau pure



Choc osmotique ou hémolyse (dans le cas des GR)

→ JAMAIS de perfusion d'eau pure ! +++

→ Les gros forceurs de vieux (+++++ Micha ++++++) ont forcé pour avoir une dédi donc c'est cadeau → belles photos de l'UE3b



→ Spéciale dédi à Romain (Trident pour la team doublants (les meilleurs)) qui fut le pire parrain, et qui est mtn le pire vieux, de tous les temps (tout à droite sur la photo de droite).

→ Ornella et Lucas je vous aime presque autant que Favre (et Fabre/Slaash qui voulait désespérément une dédi aussi)

→ Charlot merci d'être toi et de m'afficher sans pression sur insta au (quasi) quotidien

