

Potentiel chimique

I – Quelques concepts physiques

A- Diffusion (liquides et gaz) :

Définition : « La diffusion est la tendance d'une molécule dissoute dans l'air ou dans l'eau à se distribuer de manière homogène par agitation thermique. Cette molécule a un potentiel de diffusion (ou potentiel chimique = PC). »

En d'autres termes, le PC est une grandeur qui conditionne la diffusion de molécules dissoutes. Si le PC est grand, la diffusion est grande et inversement.

Une autre façon de voir le phénomène est de dire que les molécules dissoutes vont « se repousser », et cette répulsion va se traduire par un PC.

Il faut bien comprendre qu'il s'agit d'un phénomène **thermodynamique**. On veut retourner à un état + stable et moins énergétique en homogénéisant la solution. C'est tout comme des aimants qui se repoussent ! Si l'on prend plein de petits aimants tous + ou tous -, ils vont naturellement s'espacer pour diminuer les forces de répulsion et « homogénéiser » leur espacement. Il faut garder en tête que l'Univers a horreur de l'instabilité et de l'hétérogénéité, donc on va homogénéiser dès que l'on peut.

Le potentiel chimique d'une entité dépend de multiples facteurs dont :

- Sa **concentration en un point** (paramètre le + important)
- Son **coefficient de diffusion**
- La **température**
- Sa **mobilité mécanique dans le système/milieu**

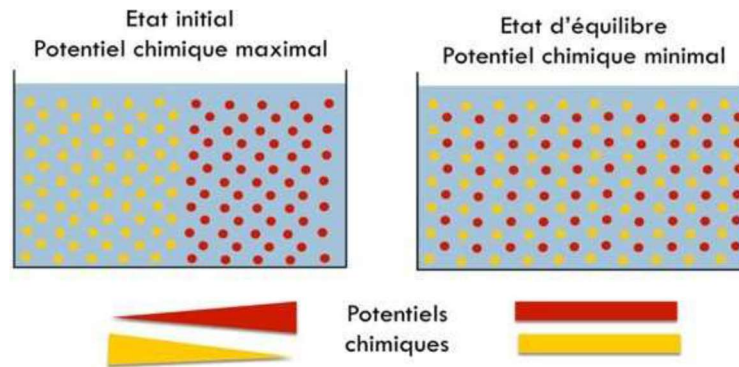
Et c'est logique ! En effet, + il y a de petits aimants qui se repoussent + le PC est grand. Pour le coefficient de diffusion et la mobilité, c'est une façon de caractériser les entités dissoutes **et** le milieu : si la molécule est grosse, très polarisée *etc* elle ne va pas diffuser pareil (encore une fois un gros aimant est + difficile à faire bouger).

Enfin pour la température, il s'agit du **moteur** de la diffusion donc il faut le prendre en compte. En réalité la température est une mesure macroscopique du mouvement microscopique des molécules. C'est-à-dire ? + il fait chaud, + elles bougent et donc elles + diffusent !

Chaque molécule possède un coefficient de **mobilité mécanique** qui détermine son coefficient de diffusion dans **son milieu**. Par exemple, dans le milieu extracellulaire, le sodium est moins mobile que le potassium ou le chlorure !

Remarque importante : La température de l'organisme est régulée et constante, et la mobilité mécanique des substances dissoutes importe peu en physiologie. Donc on regardera en priorité la concentration comme facteur du PC.

Illustrons cela avec le schéma du prof :



On voit 2 entités jaune et rouge. A gauche aucune des deux n'a de distribution homogène, d'où le *gradient** de concentration et le gradient de PC : le triangle dont la grande base montre un PC élevé (grande concentration). A droite les 2 entités sont parfaitement mélangées donc le PC est le même partout : un rectangle qui montre l'absence de gradient.

* Mesure de la variation **continue** d'une grandeur physiologique d'un être vivant le long d'un axe privilégié selon le Larousse.

B- Loi de Fick :

Pour finir sur la diffusion, on aboutit à cette loi de **Fick** qui dépend de D (facteur qui regroupe la mobilité et le coef de diffusion) et du gradient de concentration :

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

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

Potentiel chimique
de la molécule

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

Si l'on considère la loi de **Fick** (ci-dessus), on constate que le flux diffusif est **proportionnel** au coefficient de diffusion et au gradient de concentration entre deux points d'une molécule donnée. Enfin, une molécule diffuse de l'endroit où elle est le **plus** concentrée **vers** l'endroit où elle est le **moins** concentrée (gradient de concentration) grâce à l'agitation thermique.

C- Pression osmotique : (revue dans un autre cours tkt)

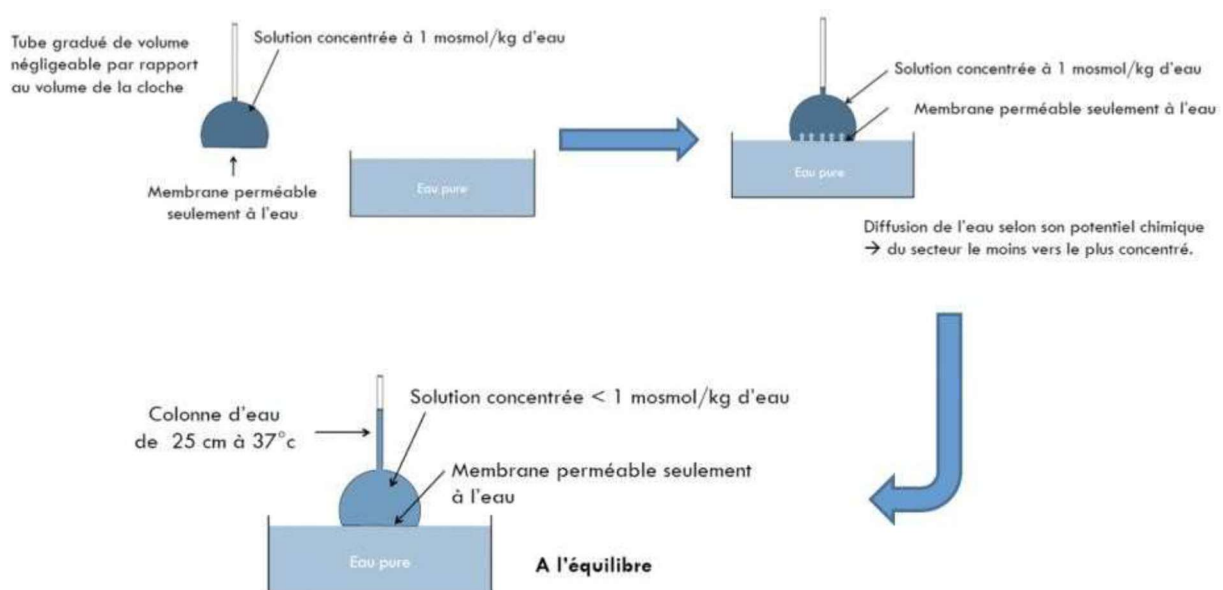
- **Pression osmotique** : Il s'agit de la pression engendrée par le choc des osmoles contre une membrane qui ne leur est pas perméable. En clair : pression due aux osmoles non diffusibles à travers la paroi. Ou encore « la pression d'une molécule en solution s'appelle la pression osmotique ».
- Une molécule en solution s'appelle une osmole.

Remarque : Toute molécule en solution (y compris les molécules d'eau) exerce une pression osmotique proportionnelle à sa concentration.

Elle est théoriquement mesurable par la mise en contact de solutions de concentration différente (eau pure comme « témoin ») par l'intermédiaire d'une membrane sélective (qui ne laisse passer que l'eau).

Cette pression osmotique est d'une force importante, mise en évidence grâce à un osmomètre dit de **Dutrochet**, ici représenté comme une cloche avec un tube gradué. Si l'on dispose cette cloche sur un bac d'eau pure et qu'on y introduit une solution faiblement concentrée, on observe un flux d'eau du secteur le moins vers le + concentré (voir cours osmose). La colonne d'eau générée par ce flux sera proportionnelle à la concentration de la solution sous la cloche. On cherche à homogénéiser la concentration, si on ne peut pas enlever des osmoles, on jouera sur le solvant ! On se rappelle du $C = n/V$, C diminue, n est constant donc V doit augmenter !

Pour avoir une idée (pas à apprendre en théorie) : 10 mosmol/kg d'eau donnent une pression osmotique équivalente au tiers de la pression atmosphérique au niveau de la mer !



D- Pression oncotique :

Les molécules en **suspension** exercent une pression de la même nature que les molécules en solution, bien qu'elles ne possèdent **pas** les mêmes propriétés physiques.

Cette pression est la pression **oncotique**.

Les grosses molécules (protéines, lipoprotéines...) sont des molécules en **suspension** dans les liquides biologiques.

En clair pression osmotique = solution et pression oncotique = suspension !

Molécules en solution :	Molécules en suspension :
Molécules incapables de sédimenter sous l'effet de la gravité (ou centrifugation)	Molécules capables de sédimenter après 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	Elles ne modifient pas la température de congélation de l'eau mais rendent l'eau plus trouble
Cette propriété permet de mesurer l'osmolalité	Elles augmentent la diffusion de la lumière et sont dosées par des propriétés optiques (néphélométrie)
Exemples : toutes les osmoles	Exemples : protéines, complexes protéiques (lipoprotéines)

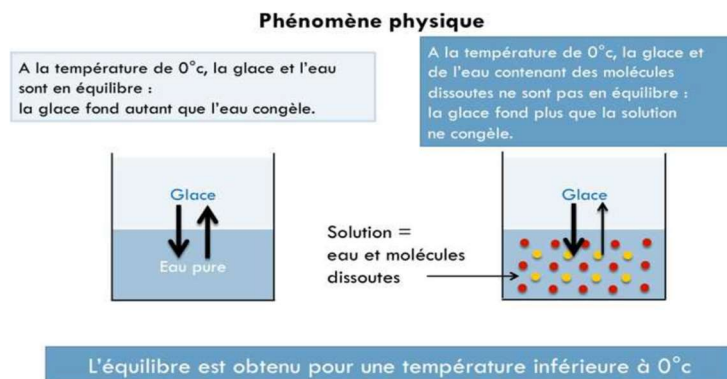
E- Abaissement cryoscopique (revu aussi) :

Définition : L'abaissement cryoscopique est la différence entre la température de congélation de l'eau **pure** et celle d'une solution.

La capacité de l'eau à congeler autant que la glace fond à 0°C, est modifiée par l'introduction d'osmoles dans l'eau (ex : eau de mer).

A 0°C, la glace et l'eau contenant des molécules dissoutes ne sont plus en équilibre : la glace fond + que la solution ne congèle. Il faut donc descendre en-dessous de 0°C pour arriver à congeler une eau contenant des osmoles dissoutes !

Cette propriété permet de définir l'**abaissement cryoscopique**.

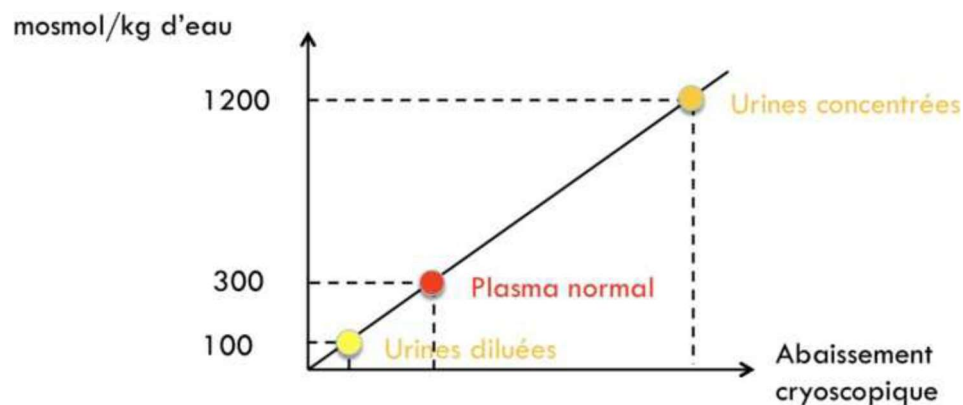


F- Mesure de l'osmolalité :

On a dit qu'il existait une relation **linéaire** entre l'abaissement cryoscopique et l'osmolalité de la solution.

Pour avoir une idée de ce que représente la concentration du plasma en pression osmotique, on peut imaginer utiliser l'osmomètre de Dutrochet avec sa membrane idéale. On mettrait une solution à 300 mosmol/kg (osmolalité du plasma) sous la cloche et on verrait la colonne d'eau monter jusqu'à 75 mètres ! Donc pas ouf à utiliser en routine hein ?

Voici ce que donne l'osmolalité des urines les plus diluées et les plus concentrées par rapport au plasma.



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**

En **pratique**, il n'y a qu'une seule façon de mesurer l'osmolalité : **mesurer l'abaissement cryoscopique** !

De plus, la mesure de la pression osmotique est aussi impraticable en raison de l'absence de membranes perméables seulement à l'eau qui ne sont qu'idéales et des « modèles ».

Récap' :

- On a défini le PC et le flux de diffusion à l'aide de la loi de Fick : $J_D(x) = -D \frac{dc}{dx}$.
- On a aussi rapidement vu la différence entre pression osmotique et oncotique.
- Nous avons pu voir plusieurs techniques pour mesurer l'osmolalité.
- Les substances dissoutes (osmoles) ou en suspension exercent des forces de pression considérables sur les membranes qui les séparent.
- Ces forces dépendent de la concentration des solutions et de la perméabilité des membranes.
- Des membranes idéales ont été considérées ici ce qui n'est pas le cas dans l'organisme.
- Dans l'organisme, les passages d'osmoles à travers les vraies membranes dépendent des pressions osmotiques et oncotiques.

II- Filtration, diffusion et convection

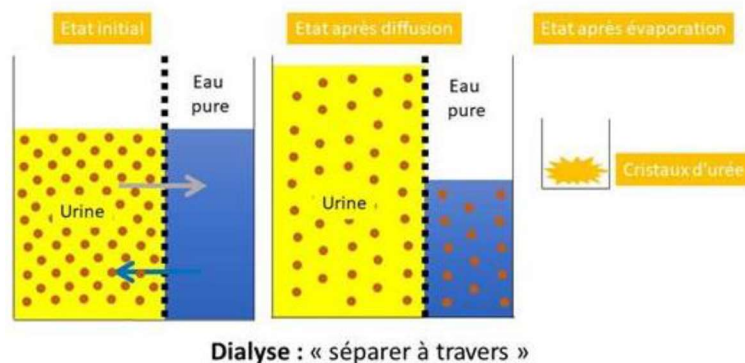
A) Filtration, ultrafiltration et dialyse :

Quelques définitions :

- **Filtration** : Passage d'eau et de molécules en solution **OU** en suspension à travers une membrane **non sélective**. En résumé : on fait simplement passer un liquide dans une membrane sans rien enlever (molécules en solution ou en suspension).
- **Ultrafiltration** : Passage d'eau et de molécules **en solution** à travers une membrane **sélective**. Les molécules en suspension ne passent **pas** ! C'est comme une filtration sauf qu'on retient les grosses molécules.
- **Membrane sélective** : membrane qui retient un certain nombre de composés d'un côté de la membrane.
- **Dialyse** : Franchissement d'une membrane synthétique avec des pores pour que les **petites** molécules la traversent alors que les **grosses** ne pourront pas. En pratique, c'est une membrane laissant passer les molécules en **solution** mais **pas** celles en **suspension**.

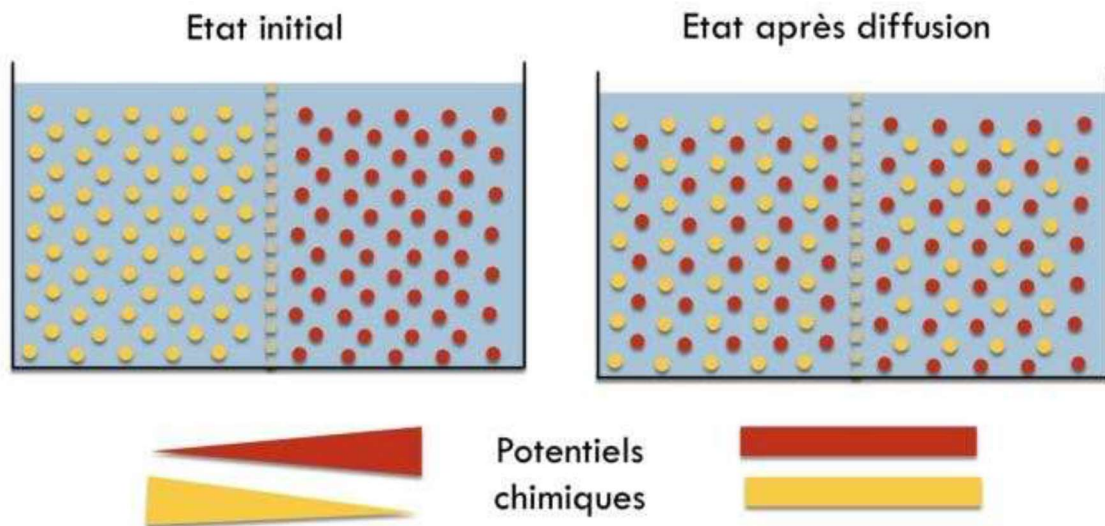
Remarque : Dans l'organisme c'est de l'**ultrafiltration** ! Mais dans le langage courant on confond souvent les 2. Faites gaffe !

- Historiquement, le terme dialyse a été utilisé lorsqu'on a mis en contact de l'urine d'un côté, de l'eau pure de l'autre, séparés par une feuille de parchemin (pointillés noirs).
- On observe le passage d'eau pure vers l'urine et passage d'osmoles d'urine vers l'eau pure. Au bout d'un certain temps on peut séparer des osmoles urinaires et les isoler dans l'eau pure
- En évaporant l'eau pure (=cristallisation) on obtient des cristaux d'urée (substance la plus abondante de l'urine).



B- Diffusion et convection à travers une membrane :

a) Diffusion dans un liquide seul :



Reprenons ce graphique pour la diffusion dans un milieu liquide : Lorsqu'on met en présence 2 solutions de composition différente par l'intermédiaire d'une membrane, les potentiels chimiques sont **initialement maximaux** et **nuls après diffusion** si la membrane n'est pas sélective.

b) Diffusion des gaz à l'interface air-eau :

Les molécules de gaz aériennes sont en **équilibre** avec les molécules de gaz dissoutes et le flux de gaz air-eau dépend :

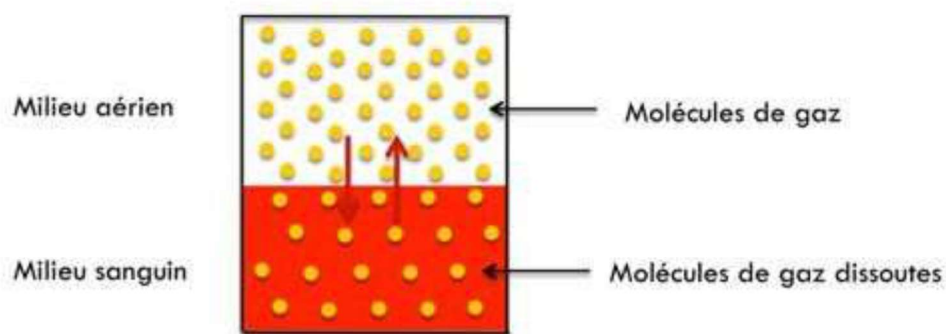
- Du coefficient de **diffusion**
- Du **gradient de pression partielle**.

Dans un milieu gazeux, on ne parle pas de concentration mais plutôt de **pression partielle** d'un gaz. Cela correspond à la pression dont est responsable un seul gaz = la pression qu'exercerait les molécules du composant s'il occupait **seul** le volume du mélange.

Elle se calcule avec $P_i = F_i * P_{tot} = \frac{n_i}{n_{tot}} * P_{tot}$.

Avec P_i = pression partielle, F_i = fraction molaire, P_{tot} = pression totale du mélange, n_i = nombre de moles du gaz étudié, n_{tot} = le nombre de moles en tout.

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



On voit bien que + les molécules de gaz « frappent » sur le liquide, + il a de chance qu'elles diffusent.

c) La convection :

Définition : La convection est la propriété d'un mélange de molécules liquides ou gazeuses de se déplacer selon la **pression hydrostatique** (= la force exercée par un liquide) qu'elles subissent.

C'est juste un nom savant pour dire « quand je force sur un fluide je le déplace » ☺.

Remarque : Oui désolé en médecine c'est QUE ça, pas les jolies formes dans la lampe à lave ou dans le manteau terrestre ☹. Welcome in P1.

Elle obéit aux **mêmes** lois, avec pour différence la force motrice de la convection : la **pression hydrostatique**. Le débit de fluide et d'osmoles va dépendre :

- Du gradient de **pression hydrostatique** ($\frac{dp}{dx}$)
- Du **coefficient de mobilité** mécanique du fluide dans la membrane (L_H).

Notez que chaque molécule possède un coefficient de mobilité mécanique qui caractérise sa facilité de déplacement dans la membrane.

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

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

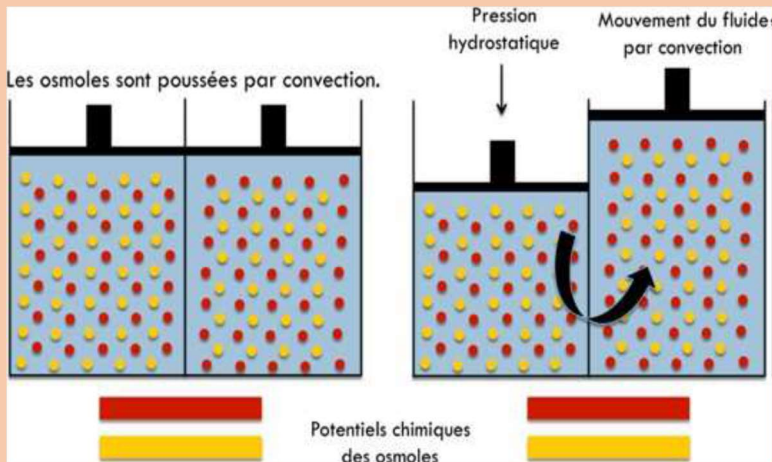
dx = distance entre 2 points très voisins A et B

dp/dx = gradient de pression entre A et B

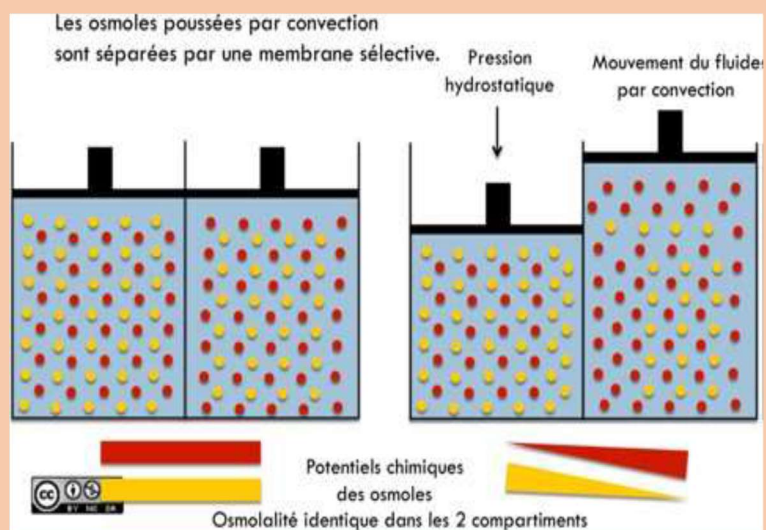
Signe négatif = le flux va en sens inverse de celui du gradient
(le sens du gradient est orienté par convention du – vers le +).

In fine, la convection et la diffusion sont étroitement liées et vont **collaborer** pour permettre des mouvements harmonieux de molécules dissoutes.

d) En pratique :

Convection à travers une membrane **non sélective** :

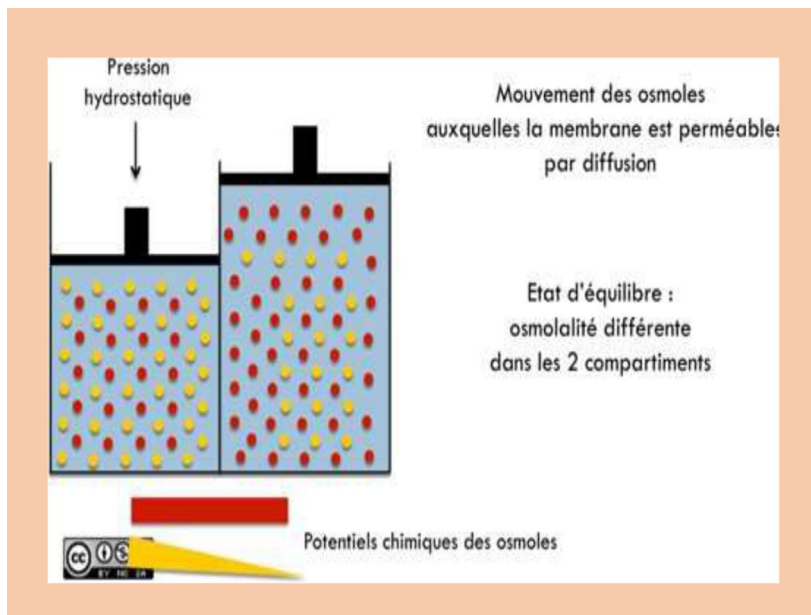
- Au départ, les 2 compartiments ont une composition osmolaire identique. On exerce une **pression hydrostatique** sur ces compartiments à l'aide de pistons.
- Si on exerce sur le compartiment de gauche une pression hydrostatique, on fait passer du liquide du compartiment de gauche vers le droit, et monter le piston du côté droit sans générer de potentiel chimique puisqu'eau **et** osmoles peuvent passer.

• Convection à travers une membrane idéale **sélective** :

- Au départ, **même** situation avec absence de PC (même osmolarité dans les compartiments droit et gauche).
- Mais la membrane est ici **imperméable aux molécules jaunes**. On exerce une pression du côté gauche et par **convection**, on fait monter le couvercle du compartiment de droite. Ainsi, on accumule des molécules jaunes à gauche, donc on a un PC fort à gauche et un PC plus faible à droite pour les molécules jaunes.

Remarque : Une membrane sélective **et** une pression hydrostatique permettent de créer un PC ! C'est comme si on avait compétition entre la pression hydrostatique et la pression oncotique (voir cours Starling ahah).

- Diffusion à travers une membrane idéale **sélective** :



- On part de la **situation précédente** et on observe ce qui se passe à l'équilibre, si on **laisse** la situation évoluer.
- Si la membrane est **légèrement** perméable aux molécules jaunes, et qu'on **attend** l'équilibre, on aboutira à un état **inerte** car les molécules jaunes auront au final diffusé.
- Si la membrane n'est **pas du tout** perméable aux molécules jaunes on maintient un potentiel élevé à gauche pour les molécules jaunes et donc une **osmolalité différente** dans les 2 compartiments.

Au final on voit bien que les types d'équilibres dépendent de la membrane et des forces qu'on va appliquer au système ! C'est ainsi qu'en faisant agir **conjointement** des forces de convection et de diffusion, à travers une **membrane idéale sélective**, on obtient un état d'équilibre où l'osmolalité est différente entre les 2 compartiments.

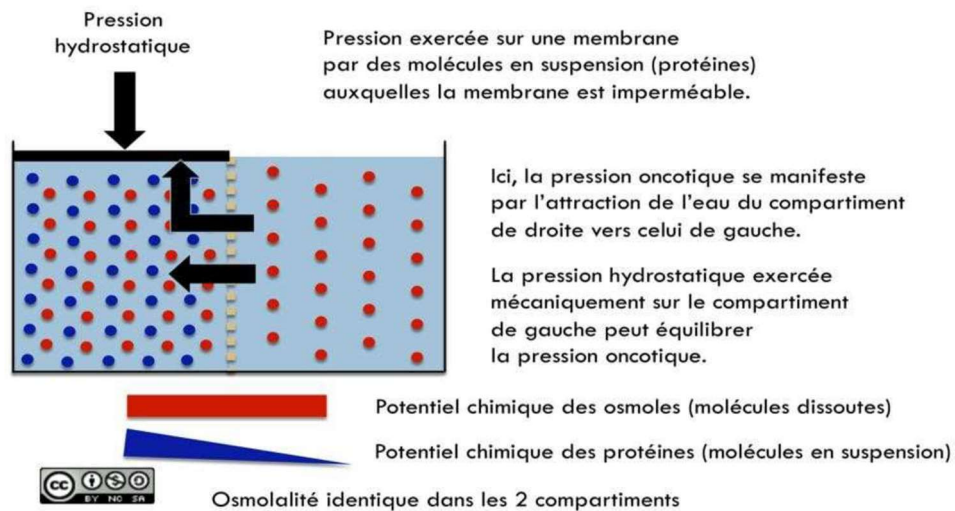
Remarque : J'ai mis les 3 exemples ici mais le prof n'en parle plus beaucoup donc à voir. Je pense que c'est important pour comprendre.

Et pour la pression **oncotique** ?

On considère ici des molécules en **suspension** (protéines) en bleu ici **seulement** à gauche, et des **osmoles réparties équitablement** en rouge. On a donc un PC des osmoles **équivalent** dans les 2 compartiments, et un PC des protéines (pression oncotique) **fort** dans le compartiment de gauche, générant un flux d'eau de **droite à gauche**.

Sauf que l'on exerce une pression hydrostatique à gauche à l'aide d'un piston qui va équilibrer la pression oncotique, on maintient le système en équilibre et l'eau ne passe **plus** car elle est autant repoussée par la pression hydrostatique. Prenez l'image du bras de fer encore une fois ! On équilibre la pression oncotique (pas osmotique puisque le PC est équivalent) avec la pression hydrostatique.

Remarque : Vous verrez qu'en physiologie les variations de potentiel chimique sont les moteurs des échanges osmolaires entre les compartiments extérieurs et le sang. #Starling encore et toujours !



Et en physio ? Le potentiel chimique sert à quoi en fait ?

Ces exemples étaient évidemment théoriques, avec des membranes idéales ! Mais nous verrons qu'en physiologie le potentiel chimique est le moteur des échanges !

Ainsi dans les compartiments intestinal, urinaire, pulmonaire les cellules vont **modifier** les concentrations des osmoles ou des gaz dissouts tout au long de leur trajet. Ce travail cellulaire va être le moteur des échanges entre **l'extérieur et le sang**. Donc on récupère les nutriments et on dégage les déchets grâce au potentiel chimique !

Le prof donne des détails sympa pour la conception physiologique globale du corps :

- Les cellules **intestinales** modifient la concentration des osmoles alimentaires tout au long de leur trajet dans le tube digestif. L'intestin grêle absorbe les nutriments qui ont été découpés à partir des aliments ingérés.
- Les cellules **rénales** modifient la concentration de l'urine primitive du filtre glomérulaire au tubule distal. On rappelle que l'essentiel de l'ultrafiltrat rénal est réabsorbé : on pisse pas 200 litres !
- La **ventilation pulmonaire** modifie périodiquement la concentration de l'air alvéolaire au contact du sang (en CO_2 et O_2). Lorsque l'on ventile, on apporte un air riche en oxygène et on expulse un air riche en gaz carbonique donc on fait varier la pression partielle pour ces 2 gaz à l'intérieur des alvéoles.

Remarque : La concentration du sang en nutriments, en gaz dissouts et en déchets du métabolisme varie selon les organes.

Récap' :

- Les compartiments de l'organisme contiennent des substances dissoutes ou en suspension séparées par des membranes biologiques.
- Les forces mises en jeu pour les échanges osmolaires entre les compartiments sont les pressions hydrostatique, oncotique et osmotique qui vont, selon les situations, aboutir à différentes situations d'équilibre !
- Les compartiments de l'organisme contiennent des substances dissoutes ou/et en suspension séparées par des membranes biologiques.
- Les forces mises en jeu pour les échanges osmolaires entre les compartiments sont les pressions hydrostatiques, oncotique et osmotique.

Dédicaces (je les ai attendues celles-là bon Dieu) :

Dédi à ma nouvelle team de co-tuts incroyable,

Dédi à Simon et Carl je vous dois bien ça,

Dédi à mon parrain et ma marraine <3, ma Loane aussi <3

Dédi à mon gros chat qui m'a accompagné dans cette galère de P1,

Dédi à mes vieux,

Dédi à Stella et Louis évidemment,

Dédi à Théo t'as vu je te snobe même pas,

Dédi à Godzillaume, ANiSM, et Elise aka Nova <3

Dédi à la miff qui supporte « un p'tit c*n de médecin casse-couilles avec sa P ouainnnn »

Dédi aux CT, zetes dingues, et Pauline, le plus court mandat de parrain jpp

Dédi à mes potes non-doc, Lily-Rose (chose promise...)

Dédi à notre créateur de memes de qualité : Dydou !

