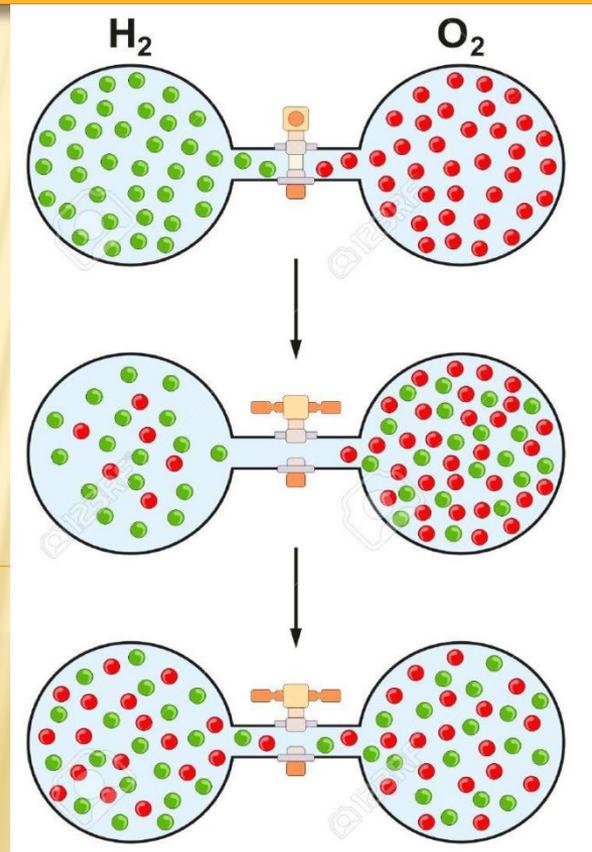


Chapitre 4 :

Phénomène de diffusion

-Diffusion phenomenon-

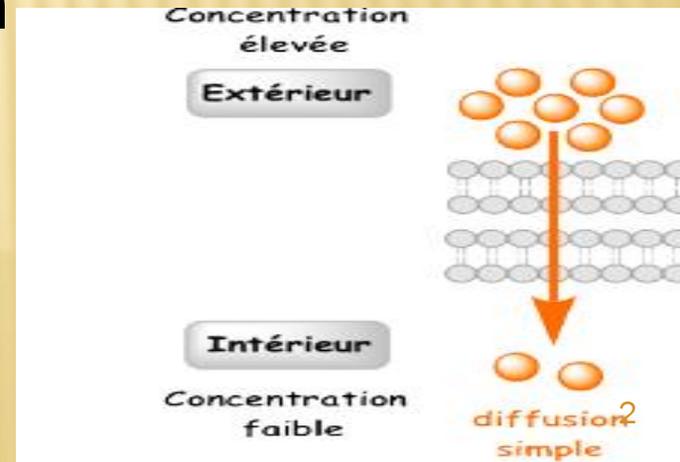


II.1.Introduction

La diffusion est connue comme un moyen d'échange des molécules de soluté d'un compartiment à l'autre à travers une membrane.

Diffusion is a means of exchanging solute molecules from one compartment to another across a membrane.

Elle tend à uniformiser la distribution des particules (des ions ou des molécules non dissociables), donc s'effectuant dans le sens des concentrations décroissantes et alors les particules se déplacent d'une région de forte concentration vers une région de faible concentration



II.2. Les grands types de déplacements :

The main types of travel

2.1. La migration (The migration): c'est un déplacement caractérisé par :

- L'existence d'une force appliquée sur la molécule, de direction et de sens parfaitement définis,
 - *The existence of a force applied to the molecule, with perfectly defined direction and meaning,*
- Le fait que la molécule puise de son énergie interne, l'énergie nécessaire pour se déplacer.

Exemple : la migration électrique : DDP \longrightarrow le cation se déplace vers le potentiel négatif, l'anion vers le potentiel positif.

La force appliquée sur la molécule est la force électrostatique de Coulomb.

2.2.La convection: Convection

La **convection** désigne l'ensemble des mouvements internes (verticaux ou horizontaux) qui animent un fluide et qui impliquent alors le transport des propriétés des parcelles de ce fluide au cours de son déplacement.

Convection designates all internal movements (vertical or horizontal) which animate a fluid and which then involve the transport of the properties of the particles of this fluid during its movement

Ce transfert implique l'échange de chaleur entre une surface et un fluide mobile à son contact.

Exemple : Déplacement lié à une différence de pression : il en est ainsi la circulation du sang dans les vaisseaux ou l'énergie est apportée par la pompe cardiaque à l'origine d'un gradient de pression hydrostatique artério-veineux.

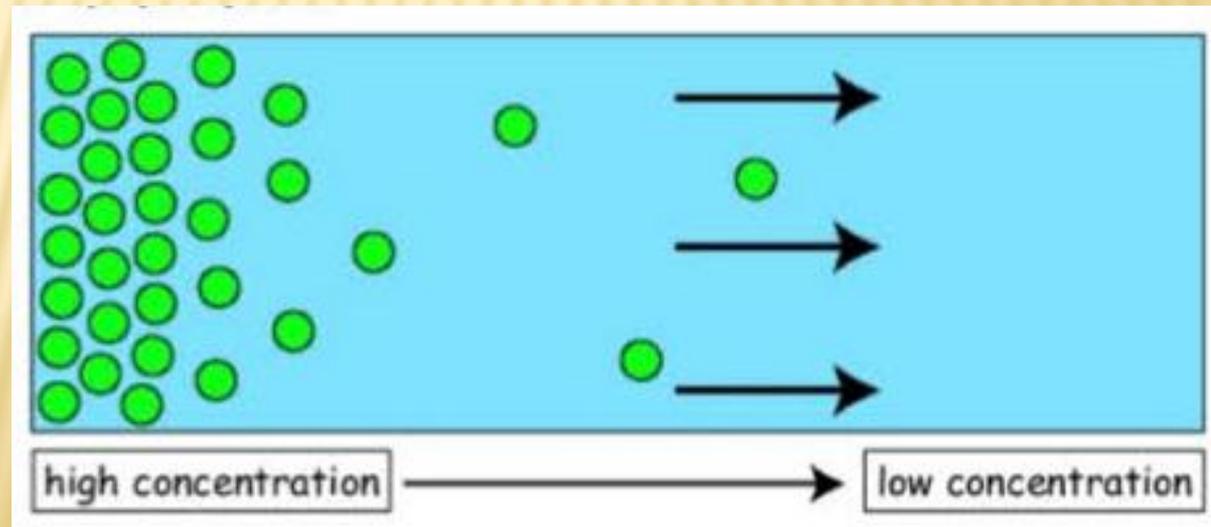
2.3.La diffusion: Diffusion

c'est un déplacement caractérisé par :

- Absence de force s'exerçant sur la molécule considérée dans une direction et un sens précis .

Absence of force acting on the molecule considered in a specific direction and direction.

- Le fait que ce déplacement est en rapport avec l'agitation thermique et avec l'existence d'une différence de concentration entre deux points de l'espace (gradient de concentration).



II.3. Définition de la diffusion :

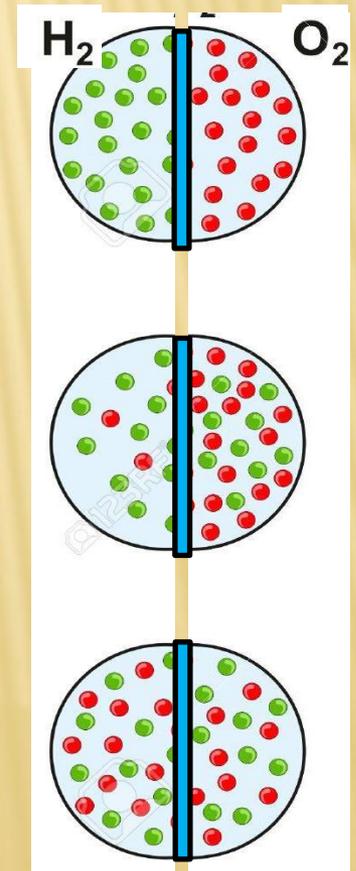
La diffusion est le phénomène de migration libre de molécules parmi d'autres; ces molécules se répandent de façon homogène dans tout l'espace qui leur est offert.

La diffusion est connue comme un moyen d'échange des molécules de soluté d'un compartiment à l'autre à travers une membrane.

Diffusion is a means of exchanging solute molecules from one compartment to another across a membrane.

Elle tend à uniformiser la distribution des particules (des ions ou des molécules non dissociables), donc s'effectuant dans le sens des concentrations décroissantes et alors les particules se déplacent d'une région de forte concentration vers une région de faible concentration.

It tends to standardize the distribution of particles, the particles move from a region of high concentration to a region of low concentration.



4. Diffusion du soluté à travers les membranes:

Diffusion of solute across membranes

Afin d'étudier le mouvement des molécules de soluté à travers les pores membranaires, nous citons les deux lois fondamentales de *Fick* suivantes :

4.1. Première loi de Fick : *Fick's first law*

On appelle le débit molaire diffusif du soluté J_D le transfert molaire du soluté considéré qui correspond au nombre de moles n traversant une membrane de surface S dans un temps dt

$$J_D = \frac{dn}{dt}$$

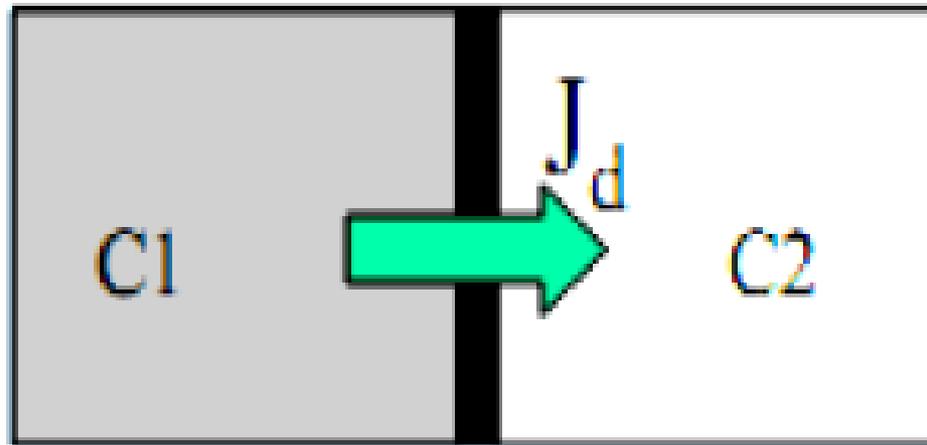
Il est donné par la première loi de Fick comme suit :

$$\text{A une dimension : } J_D = \frac{dn}{dt} = -DS_p \frac{dC}{dx} \quad (\text{mol.s}^{-1})$$

$$\text{Et à trois dimensions : } \vec{J}_D = -DS_p \vec{\text{grad}}(C) = -DS_p \vec{\nabla} C$$

Où $\vec{\nabla} C = \frac{\partial C}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial C}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial C}{\partial z} \vec{k}$ est le gradient de concentration dans un repère cartésien.

Gradient de concentration (soluté)



$$C1 > C2$$

Et le signe (-) exprime que le transfert diffusif se fait vers les concentrations les plus faibles.

Avec D [m²/S] est le coefficient de diffusion des molécules du soluté dans la solution.

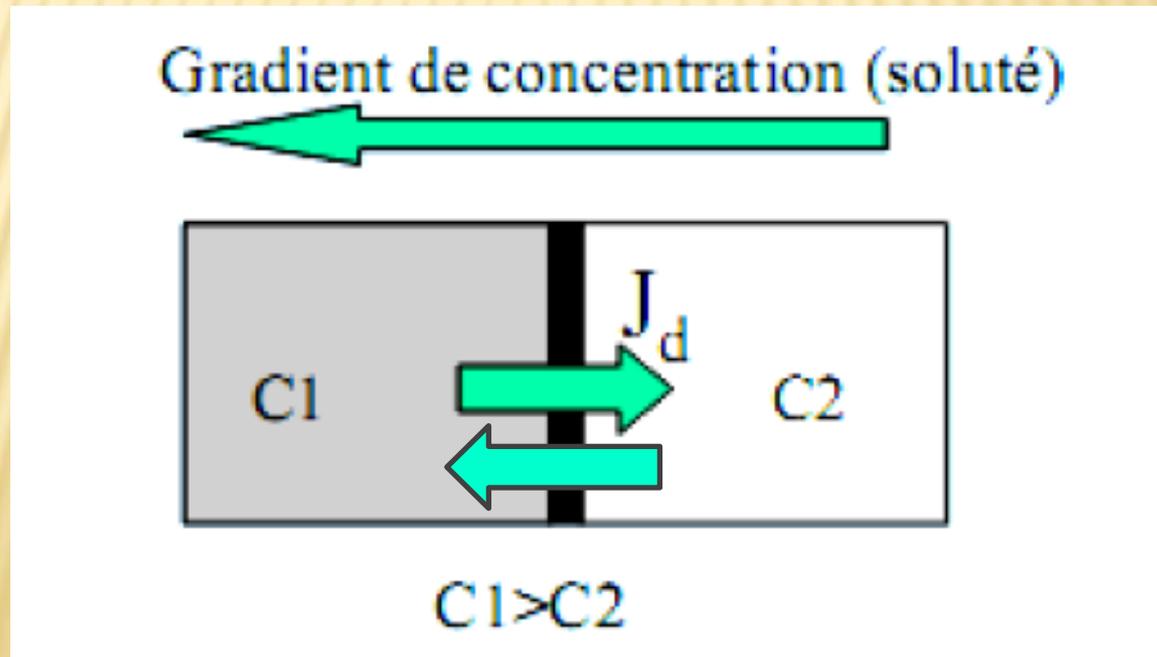
Et S_p représente la surface totale des pores perméables au soluté, qui peut être donnée par l'expression suivante:

$$S_p = N\pi a^2 = pS\pi a^2$$

Où N est le nombre total de pores, a : le rayon des pores, p : le nombre de pores par unité de surface et S : la surface totale de la membrane.

La loi de *Fick* peut facilement s'interpréter par le fait que le nombre de particules (ions ou molécules) se déplaçant dans une direction donnée, suite au mouvement désordonné, est **proportionnel au nombre totale de ses particules et donc à la concentration**. Donc le nombre de particules qui traversent la membrane en un temps déterminé est proportionnel à la concentration dans le volume de départ.

Ainsi si nous comptabilisons les passages dans les deux sens, nous aurons un bilan global venant du volume le plus concentré, car on aura plus de particules qui arrivent de ce volume où la concentration est la plus grande **comparé** au nombre de particules qui traversent la membrane et venant du volume où la concentration est faible.



Ce bilan sera proportionnel à la différence de concentration et la constante de proportionnalité traduira les caractéristiques physiques de la solution et ses constituants et aussi celles de la membrane. La géométrie de la membrane (son épaisseur et sa capillarité) joue aussi un rôle dans ce phénomène vu qu'elle est le facteur qui entrave la libre circulation des particules entre les différentes zones de la solution.

Comme le coefficient de diffusion D joue un rôle primordial dans le phénomène de diffusion, il est commode d'étudier explicitement l'expression de ce coefficient qui est donné par : $D=R.T.b$

Où $R=8,314[\text{J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}]$, $T[\text{K}]$ et $b[\text{S.Kg}^{-1}]$

représentent respectivement le coefficient des gaz parfaits, la température et la mobilité mécanique molaire.

Lorsqu'on considère une particule sphérique de rayon r [m] dans un milieu de viscosité η [Pa.s], l'équation de la mobilité mécanique devient comme: $b^{-1} = N_A 6\pi\eta r$ avec $N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$ est le nombre d'Avogadro, qui peut nous mener à une nouvelle expression du coefficient de diffusion comme :

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta r}$$

Car

$$k_B = R / N_A = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ [J} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$$

représente la constante de Boltzmann.

Dans un modèle de molécule sphérique, la masse est proportionnelle au volume et donc $m \propto r^3$, le coefficient de diffusion D prend la

forme suivante :

$$D = \frac{C \cdot T}{\eta} \sqrt{\rho / M}$$

Où C est une constante, ρ la masse volumique et M la masse molaire.

D'une façon plus générale pour une particule de forme géométrique quelconque:

$$D = \frac{A \cdot T}{\sqrt{M}} \quad \text{avec } A \text{ est une constante.}$$

Remarques :

1. l'expression de flux molaire (*molar flow*) à une dimension est donnée par :

$$J = \frac{J_D}{S_p} = -D \frac{dC}{dx} \quad (\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1})$$

2. Chaque soluté donné diffuse indépendamment des autres solutés présents dans la solution et toujours vers le compartiment le moins concentré (où sa concentration est moindre).

Exemples de coefficients de diffusion en milieu aqueux:

	M.M.	D x 10 ⁻⁵ [cm ² .s ⁻¹]
H ₂	2	5.2
O ₂	32	2.0
NaCl	58.5	1.4
Lactose	342	0.5
Myoglobine	17500	0.1
Hémoglobine	68000	0.06

Exemple: PROTEINE $D=10^{-6} \text{ cm}^2.\text{s}^{-1} \rightarrow 0.2 \text{ } \mu\text{m}/\text{ms} \Rightarrow$ traverse 1 cellule (10 μm) en 50 ms

4.2. Deuxième loi de Fick: Fick's second law

Au cours de la migration moléculaire à travers les pores de la membrane, la concentration unidimensionnelle $C(x,t)$ en un point quelconque du système dépend de la position x et aussi du temps t et elle est une solution de l'équation du second ordre par rapport à la position, qui est donnée par la deuxième loi **de Fick**

$$\frac{\partial C}{\partial t} = - \frac{\partial J}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Dans le régime stationnaire (*the steady state*), la concentration est indépendante du temps (cas de variation de la concentration à l'intérieur du pore)

$$\frac{\partial C}{\partial t} = 0 \Rightarrow C = f(x)$$

Ce qui implique que la concentration devient une fonction linéaire du premier ordre en x .

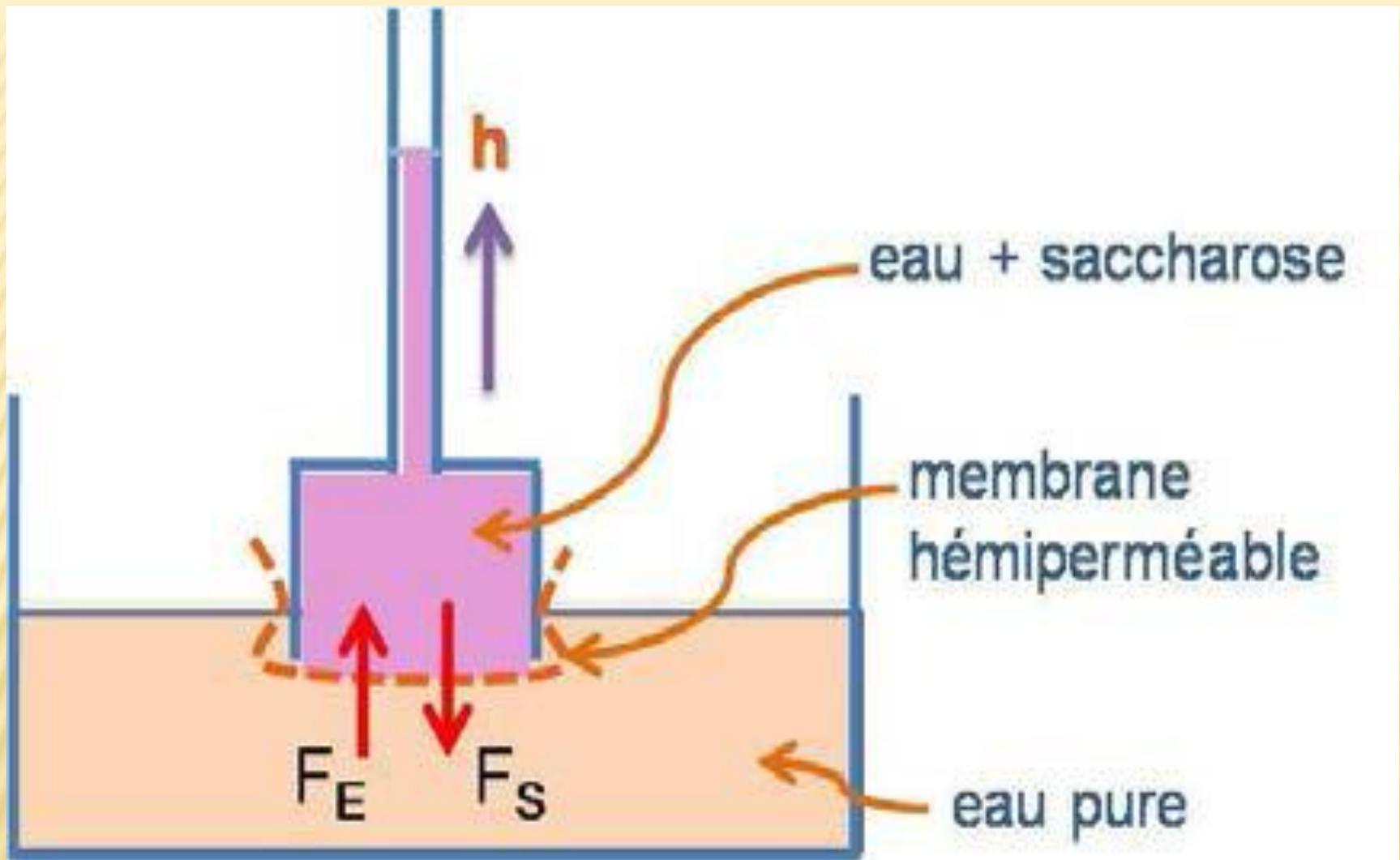
5. Diffusion du solvant à travers les membranes: Phénomène d'Osmose

Diffusion of the solvent through the membranes: Osmosis phenomenon

C'est un cas particulier des transports membranaires, plus précisément c'est un phénomène de transfert de molécules de solvant d'un compartiment à l'autre à travers une membrane imperméable au soluté considéré dans la solution, c'est-à-dire à travers la membrane qui supprime le flux de diffusion du soluté.

Physiquement, il faut bien comprendre la notion de la pression *osmotique* (*osmotic pressure*) qui a été induite par **Dutrochet (1826)** en proposant un appareil (osmomètre) constitué d'un réservoir de verre rempli d'une solution (eau +soluté) colorée (sorte de cylindre vertical dont la base est obturée par une membrane hémiperméable, donc imperméable au soluté : seul le solvant peut diffuser dans les deux sens, et dont la partie supérieure est reliée à un long tube vertical de petit calibre) et plongé dans un cristalliseur contenant de l'eau.





Osmomètre de Dutrochet

Au départ, le flux de solvant entrant F_e est très supérieur au flux sortant F_s , puis on atteint l'équilibre. A ce moment la pression hydrostatique $P = \rho.g.h$ est égale à la pression osmotique. Donc la pression osmotique d'une solution est la pression hydrostatique qu'il faudrait exercer sur la solution pour empêcher le solvant pur de traverser la membrane. Elle est établie empiriquement à partir de nombreuses études expérimentales .

et finalement exprimée sous forme théorique par Vant'Hoff.

$$\pi = iC_m RT \quad \text{en } [Pa] \text{ ou } [N/m^2]$$

Avec : i est le coefficient d'ionisation qui peut être donné par :

- $i=1+\alpha(\beta-1)$ pour un électrolyte faible
- $i=\beta$ pour un électrolyte fort

C_m : concentration molaire, R : constante des gaz parfaits et T : la température.

Dans cette expression, on peut également raisonner en osmolarité: $\pi=\omega RT$.

MERCI DE VOTRE ATTENTION