

Les Propriétés Cinétiques Des Solutions (Diffusion) :

1 Généralités :

1.1 Mise En Évidence Expérimentale :

Lorsque l'on verse une goutte de colorant dans un verre rempli d'eau, le colorant se répartit uniformément dans tout le verre. La vitesse de répartition du colorant dans l'eau augmente en fonction de la température et aussi en fonction de l'agitation mécanique.

Le même phénomène va se produire si l'on met un morceau de sucre dans l'eau, il subit une dissolution graduelle et se répartit à travers tout le volume d'eau, cette dissolution augmente en fonction de la température et elle augmente aussi en fonction de l'agitation mécanique.

Le même phénomène est constaté lorsque l'on répand un parfum (soluté gazeux) dans une chambre, le parfum diffuse spontanément dans toute la chambre.

Ce phénomène est constaté aussi dans le cas des liquides, le sirop se mélange à l'eau, etc....

Ce phénomène de déplacement des particules de « soluté » dans le « solvant » dépend de trois paramètres principaux :

- De la différence de concentration.
- De la différence de pression hydrostatique.
- De la différence du potentiel électrique.

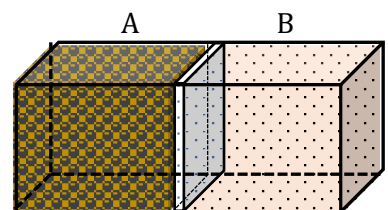
1.2 Définition :

On appelle diffusion, le phénomène de migration libre et spontanée de particules. Ce déplacement se fait toujours de la région la plus concentrée vers la région la moins concentrée en particules.

Ce phénomène de déplacement dépend uniquement de l'agitation thermique moléculaire, et s'accroît avec l'élévation de température et l'agitation mécanique.

2 Équation De Diffusion : Loi De FICK (Diffusion Simple ou Libre) :

Considérons deux compartiments (A) et (B) séparés par une membrane imperméable de surface transversale (S). La concentration (C_1) du compartiment (A) étant supérieure à (C_2) celle du second (B). Voir schéma ci-contre.



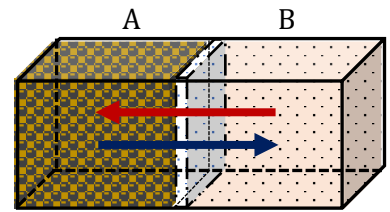
2.1 Sens De Déplacement :

Lorsqu'on enlève la membrane, un mouvement de particules naît entre les deux compartiments pour équilibrer la répartition des particules. La diffusion tend à homogénéiser les concentrations en particules dans les deux compartiments.

Le **soluté** étant plus concentré dans le compartiment (A) se déplace vers le compartiment (B). Ce déplacement est schématisé par la flèche bleue.

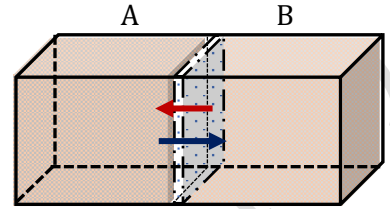
Alors que le solvant se déplace en sens inverse, car il est plus concentré dans le compartiment (B), ce deuxième déplacement est schématisé par la flèche rouge.

L'équilibre sera atteint lorsque la concentration est la même en tout point de la solution.



2.2 Vitesse De Déplacement :

Les **molécules** d'un liquide ou d'un gaz **se déplacent** continuellement, sans direction préférentielle et **à de très grandes vitesses sur de petites distances** (micromètre/s). Par exemple, à la température de notre corps, **Einstein** a montré qu'une molécule d'eau se déplace à (2500 Km/h) et une molécule de glucose, qui est dix fois plus lourde que celle de l'eau, à (850 Km/h).



Mais sur des distances plus longues (quelques micromètres) la diffusion est un processus extrêmement lent.

2.3 Équation De Diffusion :

2.3.1 Première Loi De Fick :

On admet que le débit massique de soluté qui passe d'un point où la concentration est (C_1) à un point voisin de concentration (C_2) **est proportionnel au gradient de concentration et à la surface de diffusion.**

2.3.1.1 Débit Massique :

La première loi de Fick permet de calculer la quantité de matière par unité de temps qui s'est déplacée d'un point (A) à un point (B) pendant un temps (t). Son expression est donnée par :

$$\frac{dm}{dt} = -D \times \frac{dC_M}{dx} \times S$$

La même équation peut être écrite sous forme :

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = -D \times \frac{\Delta C_M}{\Delta x} \times S$$

avec $\left\{ \begin{array}{l} \Delta m (dm) : \text{masse de soluté (solvant) déplacée en (Kg).} \\ \Delta t (dt) : \text{le temps en (s).} \\ \Delta C_M (dC_M) : \text{variation de la concentration Molaire en (mole/l).} \\ S : \text{surface de diffusion en (m}^2\text{).} \\ D : \text{coefficient de diffusion (coefficient de Fick) en (m}^2\text{/s).} \\ \Delta x (dx) : \text{est la distance parcourue par la particule.} \end{array} \right.$

Le rapport $\left(Q_m = \frac{\Delta m}{\Delta t} \right)$ est appelé le débit massique, il représente la masse de soluté (solvant) déplacée d'une distance (Δx) pendant le temps (Δt).

Le signe ($-$) montre que le déplacement se fait toujours du milieu le plus concentré vers le milieu le moins concentré.

2.3.1.2 Débit Molaire :

On définit le débit molaire, noté (Q_n) par le rapport du débit massique par la masse molaire du soluté (solvant). Il est donné par l'expression suivante :

$$Q_n = \frac{Q_m}{M} \text{ avec : } \begin{cases} Q_m : \text{le débit massique.} \\ M : \text{la masse molaire.} \\ Q_n : \text{le débit molaire.} \end{cases}$$

La première loi de Fick devient :

$$Q_n = \frac{\Delta m}{M \times \Delta t} = \frac{\Delta \left(\frac{m}{M} \right)}{\Delta t} \rightarrow \frac{\Delta n}{\Delta t} = -D \times \frac{\Delta \left(\frac{C_M}{M} \right)}{\Delta x} \times S$$
$$\rightarrow Q_n = \frac{\Delta n}{\Delta t} = -D \times \frac{\Delta(C_P)}{\Delta x} \times S$$

avec : $\{\Delta C_P : \text{variation de la concentration pondérale}\}$

2.3.1.3 Flux Net De Diffusion :

On appelle, le flux net massique de diffusion noté (J_D) la quantité de matière transportée par unité de surface, son expression est donnée par :

$$J_D = \frac{Q_m}{S} = -D \times \frac{\Delta C_M}{\Delta x}$$

2.3.1.4 Coefficient De Diffusion (D):

Einstein a montré que le coefficient de diffusion (D) est proportionnel à la température (T), à la constante de Boltzmann (K), et inversement proportionnel au coefficient de frottement (f). Son expression est :

$$D = K \times \frac{T}{f}$$

$$\text{avec : } \begin{cases} T : \text{la température en Kelvin.} \\ K = \frac{R}{N_A} : \begin{cases} K : \text{constante de Boltzmann} = 1,38 \cdot 10^{-23} (\text{joule/K}) \\ R : \text{constante des gaz parfait} = 8,314 (\text{Joule} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mole}^{-1}) \\ N_A : \text{nombre d'avogadro} = 6,022 \cdot 10^{23} (\text{atomes}) \end{cases} \\ f : \text{coefficient de frottement.} \end{cases}$$

Dans le cas particulier d'une particule sphérique, l'expression du coefficient de frottement (f) est donnée par :

$$f = 6 \times \pi \times \eta \times r \text{ avec : } \begin{cases} \eta : \text{est la viscosité dynamique de la solution.} \\ r : \text{le rayon de la particule.} \end{cases}$$

2.3.1.5 Perméabilité Membranaire :

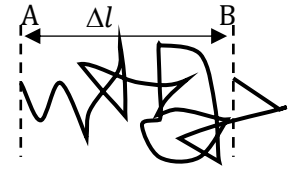
La perméabilité de la membrane notée (P) est définie par le rapport du coefficient de diffusion par la distance parcourue par la particule (épaisseur de la membrane). Son expression est ;

$$P = \frac{D}{\Delta x} \text{ (m/s)}$$

La perméabilité est équivalente à une vitesse.

2.3.1.6 Distance Parcourue Par Une Particule :

La trajectoire d'une particule en mouvement n'est pas linéaire, les différentes collisions que subit cette particule lors de son déplacement avec les autres molécules avoisinantes lui donnent un mouvement aléatoire. Mais le mouvement d'ensemble des particules est orienté vers la région la moins concentrée de la solution.



Plusieurs auteurs, dont **Einstein**, ont étudié le mouvement brownien des particules, les résultats ne permettent pas de déterminer la distance totale parcourue par la particule (ligne brisée), mais ils donnent l'expression de la distance moyenne (Δl) parcourue par la particule :

$$\Delta l = \sqrt{2 \times D \times \Delta t} \rightarrow \Delta l = \sqrt{\Delta t} \times \sqrt{2 \times \frac{K \times T}{f}}$$

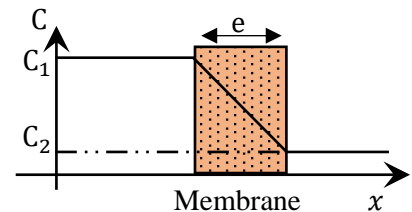
On peut ainsi calculer le temps mis par une protéine pour diffuser d'une extrémité à une autre d'une cellule, si l'on considère que le coefficient de diffusion ($D = 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$) et que l'épaisseur de la cellule est de ($l = 10 \text{ }\mu\text{m}$), on obtient un temps de parcours de ($\Delta t = 50 \text{ ms}$).

2.3.2 Deuxième Loi De Fick :

La deuxième loi de Fick permet de calculer la concentration en tout point de la solution et à un temps donné, elle est plus générale que la précédente, son expression est :

$$D \times \frac{d^2(C_M)}{dx^2} = \frac{d(C_M)}{dt}$$

Considérons les deux compartiments (A) et (B) précédents séparés par une membrane perméable au soluté, de surface transversale (S) et d'épaisseur ($dx = e$).



À l'intérieur de la membrane, le gradient de concentration est supposé être linéaire (la concentration décroît linéairement de (C_1) à (C_2), ce qui donne :

$$\frac{dC_M}{dx} = \frac{\Delta C_M}{\Delta x} = \frac{C_2 - C_1}{e} = cte$$

La deuxième loi de Fick simplifiée peut s'écrire en fonction de la perméabilité (P) :

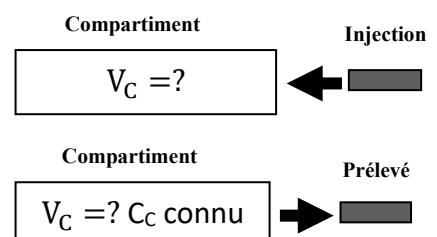
$$J_D = \frac{Q_m}{S} = -D \times \frac{\Delta C_M}{\Delta x} = \frac{D}{e} \times (C_1 - C_2) \rightarrow J_D = \frac{Q_m}{S} = P \times (C_1 - C_2)$$

2.4 Application De La Diffusion :

2.4.1 Mesure Des Volumes Corporels :

On ne peut pas mesurer directement le volume des compartiments liquidiens, mais il est possible de les estimer indirectement.

La détermination du volume d'un compartiment (V_C) donné repose sur la mesure de la concentration obtenue après dilution dans le volume à déterminer d'une substance dont la quantité injectée (V_i) et sa concentration (C_i) sont parfaitement connues.



Après obtention d'un mélange homogène, on prélève un volume et on mesure sa concentration (C_p) qui est la même dans tout le compartiment.

Le principe a été abordé dans le chapitre des solutions.

$$C_i \times V_i = C_p \times V_C \rightarrow V_C = \frac{C_i \times V_i}{C_p} \text{ avec : } \begin{cases} C_i : \text{concentration du traceur injecté.} \\ V_i : \text{volume du traceur injecté.} \\ C_p : \text{concentration du volume prélevé.} \\ V_C : \text{volume du compartiment inconnu.} \end{cases}$$

Cette technique permet de mesurer l'eau corporelle, le volume du liquide extracellulaire ainsi que celui du liquide plasmatique. Pour utiliser cette technique, le soluté injecté doit satisfaire trois conditions :

- ✚ Il se répartit de façon homogène, et ne diffuse pas en dehors du compartiment.
- ✚ Il n'est pas métabolisé durant la période de mesure.
- ✚ La substance injectée n'est pas toxique.
- ✚ Dosage rapide, facile et reproductible.

Mesure des volumes corporels

	Compartiments	Marqueurs non isotopiques	Marqueurs isotopiques
Mesurés	Eau corporelle totale ECT	Ethanol Urée	Eau tritiée ^3HO
	Liquide extracellulaire LEC	Inuline Mannitol	Sodium 24 Chlore 36
	Liquide plasmatique	Bleu Evans	Albumine marquée ^{125}I ou ^{131}I
Calculés	<p>Liquide intracellulaire = ECT – LEC</p> <p>Liquide interstitiel = LEC – liquide plasmatique</p>		

2.4.2 Diffusion À Travers Une Membrane :

2.4.2.1 Types De Membranes :

Les membranes biologiques peuvent être classifiées en :

- a. **Membrane Hémiperméable** : la membrane est dite hémiperméable où semi-perméables si elle se laisse traverser uniquement par le solvant (l'eau), celle-ci arrête le soluté.
- b. **Membrane De Dialyse** : elle est dite de dialyse si elle se laisse traverser par le solvant, par les petites particules, mais elle arrête les grosses molécules.
- c. **Membrane Sélective** : elle se laisse traverser uniquement par certains ions, mais arrête le reste.

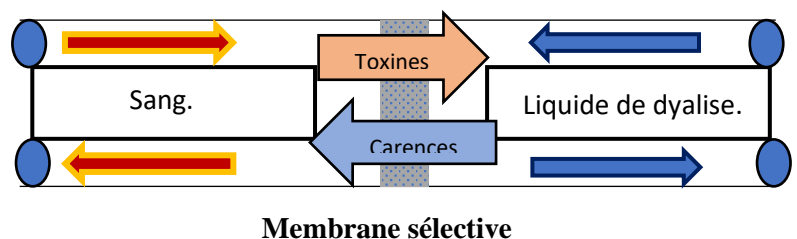
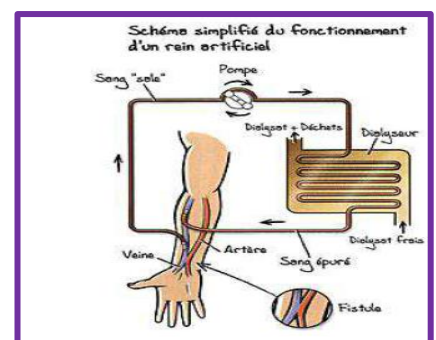
2.4.2.2 Hémodialyse (Rein Artificiel) :

L'hémodialyse est une méthode de séparation utilisée pour séparer au sein d'un mélange les petites molécules des plus grosses. Elle est basée sur la diffusion à travers une membrane dialysante sélective formant un sac à dialyse.

Le rein artificiel fonctionne sur le principe de la dialyse, qui est le suivant :

Deux compartiments sont séparés par une membrane dialysante sélective, dans l'un on fait circuler le sang qui contient de l'eau, des ions, des micromolécules (urée, glucose...), des macromolécules (protéines) et cellules (Globule Rouge, Globule Blanc, plaquettes) ; dans l'autre, circule le liquide de dialyse.

Le rôle de la membrane est de laisser les toxines, les déchets métaboliques qui s'accumulent dans le sang (l'urée, l'acide urique ...) la traverser et passer dans le liquide de dialyse, et bloquer les grosses molécules (cellules, plaquettes ...).



Et dans le cas d'une carence, les éléments manquants peuvent être injectés dans le liquide de dialyse, ceux-ci traversent la membrane dans le sens opposé et passent dans le sang.

2.4.3 L'osmose :

Le phénomène d'osmose est le déplacement du solvant à travers une membrane hémiperméable dans le but d'équilibrer les deux compartiments. Ce phénomène se produit lorsque l'on place une cellule dans un milieu plus ou moins concentré que le milieu intracellulaire.

Trois situations différentes peuvent se présenter :

- Si le milieu intracellulaire est plus concentré que le milieu extra, le solvant (eau) a tendance à rentrer dans la cellule pour équilibrer le système (turgescence).
- Si au contraire le milieu extérieur est plus concentré que le milieu intracellulaire, le solvant (eau) sort de la cellule (plasmolyse).
- Si les deux milieux ont la même concentration, le système est en équilibre.



2.4.4 La Pression Osmotique :

La pression osmotique est la pression générée par le déplacement d'une entité active à travers une membrane. Ce cas sera détaillé dans le chapitre des propriétés colligatives des solutions.