

Biophysique des solutions

N.CHERIET

Université de Batna, Faculté de Médecine, Département de Médecine

21 janvier 2019

Chapitre 3

Diffusion en phase liquide

Plan

- 1 Description du phénomène
 - Diffusion au sein d'un même compartiment
 - Mesure des volumes des compartiments liquidiens
 - Diffusion a travers une membrane (dialyse)
- 2 Lois de FICK
 - Première loi de Fick
- 3 Applications
 - Hémodialyse
 - Dialyse péritonéale

Description du phénomène

La diffusion est un transport moléculaire du soluté de la région où il est le plus concentré vers la région où il est le moins concentré, jusqu'à ce que les molécules du soluté soient distribués uniformément dans toute la solution.

- 1 C'est un moyen d'échange des molécules :
 - Au sein d'un même compartiment.
 - D'un compartiment à l'autre à travers une membrane (dialyse).
- 2 C'est un mode de transport passif, lié à l'agitation thermique des molécules.
- 3 Ce transport dépend de la nature de la membrane : dialysante, semi-perméable ou sélective.
- 4 La nature de la particule diffusée : neutre ou chargée, micro ou macromolécule.

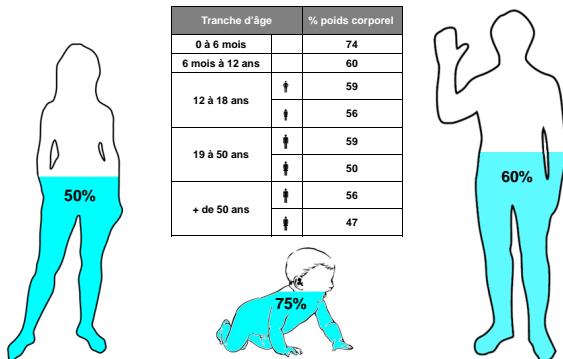
Diffusion du soluté au sein d'un même compartiment.



Composition des liquides corporels.

Composition des liquides corporels

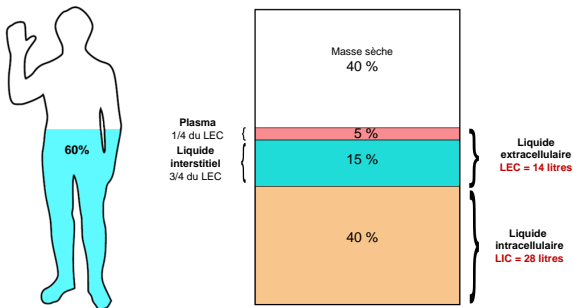
Contenu corporel en eau



Composition des liquides corporels.

Composition des liquides corporels

Compartiments liquidiens



Eau corporelle totale (60%) = 42 litres

Mesure des volumes corporels.

Mesure des volumes corporels


- Mesure indirecte par la dilution d'une quantité connue d'un marqueur

$$\text{Volume du compartiment} = \frac{\text{Quantité du marqueur}}{\text{Concentration du marqueur}}$$

- Propriétés du marqueur :
 - Distribution homogène dans le compartiment d'intérêt
 - Pas de diffusion dans les autres compartiments
 - Pas de métabolisme ou de synthèse
 - Pas de toxicité
 - Dosage rapide, facile et reproductible

Mesure des volumes corporels.

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 style="text-align: center;">Liquide intracellulaire = ECT - LEC</p> <p style="text-align: center;">Liquide interstitiel = LEC - liquide plasmatique</p>		

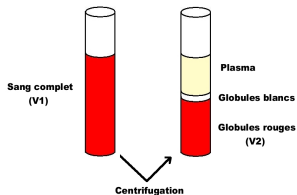
Mesure du volume sanguin total.

Mesure du volume sanguin total

- A partir du volume plasmatique et de l'hématocrite (Ht)

$$Ht = \frac{V2}{V1} \times 100$$

- Valeurs moyennes :
 - Volume plasmatique ~ 3L
 - Ht :40%
 - Volume sanguin total ~ 5L



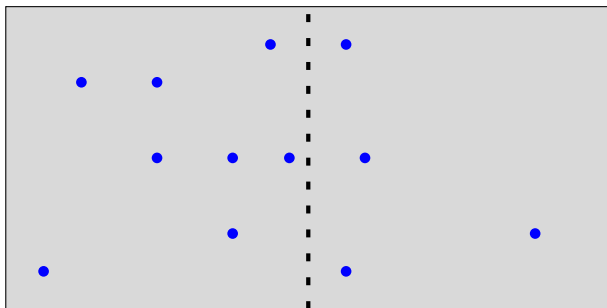
$$\text{Volume sanguin total} = \frac{\text{Volume plasmatique}}{1 - Ht}$$

Diffusion a travers une membrane.

État initial

compartiment₁

compartiment₂

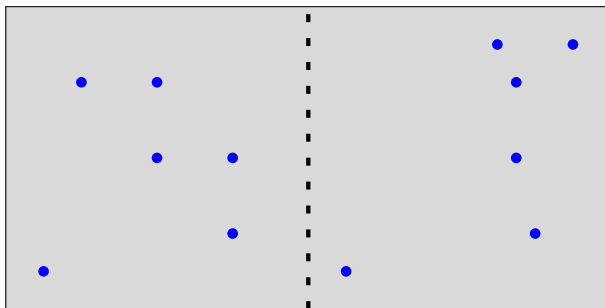


Diffusion a travers une membrane.

État final

compartiment₁

compartiment₂



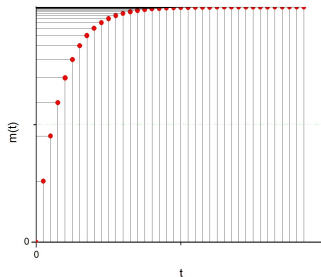
$$\Phi = 0$$

Diffusion à travers une membrane.

	<i>compartiment</i> ₁	<i>compartiment</i> ₂
L'état initial	$C_1 = \frac{m_1}{v_1}$	$C_2 = \frac{m_2}{v_2}$
L'état final	$C_1^f = \frac{m_1 - m}{v_1}$	$C_2^f = \frac{m_2 + m}{v_2}$

d'où à l'état final la masse m du soluté qui a diffusé du *compartiment*₁ vers le *compartiment*₂

$$C_1^f = C_2^f \Rightarrow m = \frac{C_1 - C_2}{\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}}$$



Diffusion a travers une membrane.

A l'équilibre le soluté diffuse du milieu le plus concentré vers le milieu le moins concentré, jusqu'à l'égalité des concentrations de part et d'autre de la membrane.

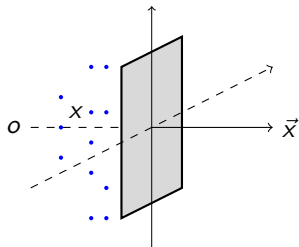
A l'équilibre la concentration vaut :

$$C_e = \frac{C_1 V_1 + C_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

Lois de FICK

Flux de diffusion

On considère la diffusion qui s'effectue suivant la direction ($o\vec{x}$) normale à un plan se trouvant à la distance x de l'origine.



Le flux de diffusion

Le flux de diffusion d'un soluté à travers ce plan au temps t noté $\Phi(x, t)$, est défini comme le nombre de particules du soluté traversant ce plan par unité de temps et par unité de surface.

$$\Phi(x, t) = \frac{1}{S} \frac{dn}{dt}$$

Unité : $mol \cdot m^{-2} s^{-1}$

Lois de FICK

Première loi

D'autre part, en théorie cinétique, on démontre que le débit molaire du soluté diffusé est proportionnel au gradient de sa concentration et à la surface totale des pores de la membrane

$$\frac{dn}{dt} = -DS_p \frac{\partial c}{\partial x}$$

- c représente la concentration du soluté (mol/m^3 ou en $mmol/\ell$),
- $\frac{\partial c}{\partial x}$ le gradient de concentration.
- D est appelé le coefficient de diffusion du soluté (m^2/s).
- S_p : la surface des pores de la membrane (m^2).

Lois de FICK

Première loi

Le coefficient de diffusion D est donnée par la relation d'Einstein :

$$D = \frac{KT}{f}$$

K la constante de Boltzmann

T la température du milieu de diffusion

f le coefficient de friction du solvant sur les particules diffusantes qui relie la force de frottement à la vitesse des particules $F = -fv$

Par ailleurs Stokes a relié le coefficient de friction f avec le coefficient de viscosité du milieu η et le rayon r de la particule supposée sphérique.

$$f = 6\pi\eta r$$

Lois de FICK

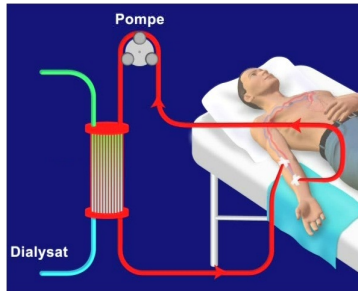
Première loi

la formule d'Einstein devient :

$$D = \frac{KT}{6\pi\eta r}$$

Hémodialyse

Hémodialyse est technique d'épuration extra-rénale du sang, cette technique consiste à faire circuler le sang dans des capillaires qui baignent dans un liquide appelé dialysat de composition proche du plasma sanguin mais dépourvu d'urée.

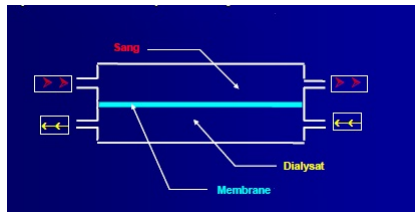


Hémodialyse

Cela permet deux choses vitales pour le patient atteint d'insuffisance rénale.

- Élimination des produits toxiques du sang.
- correction sélective de concentration anormale d'autres éléments.

Hémodialyse



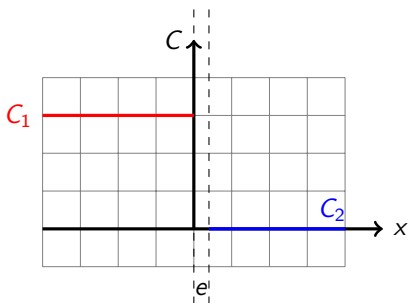
paramètres de l'hémodialyse

- Fréquence 3 séances/semaine
- Durée 3-8 heures

Loi de variation de la concentration uréique

Considérons maintenant le cas de l'épuration extra-rénale. le soluté étudié est l'urée. De part et d'autre de la membrane dialysante :

- d'un coté, le sang a une concentration uréique $c_1 = c_u$.
- de l'autre coté de la membrane le dialysat (renouvelé en permanence) de concentration uréique $c_2 = 0$.



Épuration extra-rénale

Le gradient de concentration uréique sur l'épaisseur e de la membrane :

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{c_2 - c_1}{e} = -\frac{c_u}{e}$$

En remplaçant le gradient de concentration dans la première loi de Fick on obtient :

$$\frac{dn}{dt} = DS_p \frac{c_u}{e}$$

pendant dt , il passe dn molécule d'urée vers le dialysat.

il en résulte une diminution de la concentration de dc_u .

Sachant que : $n = c_u v_e$ est le nombre de moles d'urée présentes dans le volume v_e d'eau totale du patient.

$$\frac{dc_u}{dt} = -\frac{1}{v_e} \frac{dn}{dt}$$

Épuration extra-rénale

$$\frac{dc_u}{dt} = -\frac{DS_p}{ev_e} c_u$$

On définit la constante d'épuration τ par

$$\frac{1}{\tau} = \frac{DS_p}{ev_e}$$

d'où

$$\frac{dc_u}{dt} = -\frac{c_u}{\tau}$$

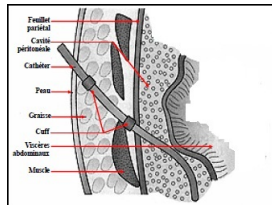
par intégration :

$$c_u(t) = c_u(0) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

donc la concentration uréique du sang par épuration extra-rénale suit une loi exponentielle décroissante.

Dialyse péritonéale

C'est une dialyse qui utilise comme surface d'échange la membrane péritonéale. Celle-ci très vascularisée permet le passage des déchets du sang dans le dialysat infusé dans cavité péritonéale



C'est une membrane vivante située dans le cavité abdominale composée de deux feuillets.

- Un feuillet pariétal
- feuillet viscéral

Entre les deux feuillets existe un espace appelé cavité péritonéale.

Dialyse péritonéale

Les trois temps de la D.P.

- 1 l'infusion : C'est le temps où l'on va remplir par gravité la cavité péritonéale du liquide de dialyse. Cette phase dure environ 10 minutes



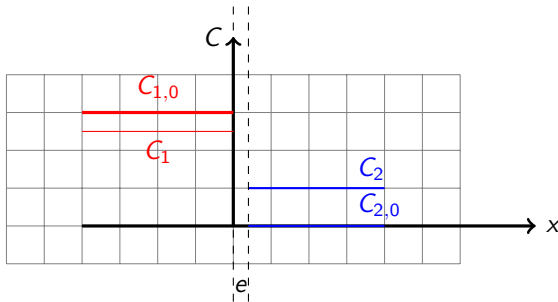
- 2 la stase : C'est le temps où les échanges vont se réaliser entre le sang et le dialysat. Cette phase dure environ quatre heures.
- 3 le drainage : C'est le temps où l'on va vider par gravité la cavité péritonéale du liquide de dialyse. Cette phase dure environ 20 minutes



Loi de variation de la concentration uréique

Considérons maintenant le cas du dialyse péritonéale. le soluté étudié est l'urée. De part et d'autre de la membrane du péritoine :

- d'un coté, le sang a une concentration uréique C_1 .
- de l'autre coté le dialysat de concentration uréique C_2 .



Loi de variation de la concentration uréique

Le gradient de concentration uréique sur l'épaisseur e de la membrane :

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{c_2 - c_1}{e}$$

d'où le débit de diffusion à travers la surface S_p de la membrane du péritoine

$$\frac{dn}{dt} = \frac{DS_p}{e}(c_1 - c_2)$$

pendant dt , il passe dn molécule d'urée vers le dialysat, il en résulte une diminution de c_1 et devient

$$\frac{dc_1}{dt} = -\frac{1}{v_e} \frac{dn}{dt}$$

Loi de variation de la concentration uréique

et une augmentation de c_2

$$\frac{dc_2}{dt} = + \frac{1}{v_d} \frac{dn}{dt}$$

v_d représente le volume du dialysat.

$$\frac{dc_1}{dt} = - \frac{DS_p}{ev_e} (c_1 - c_2)$$

$$\frac{dc_2}{dt} = + \frac{DS_p}{ev_d} (c_1 - c_2)$$

Loi de variation de la concentration uréique

on pose : $\frac{1}{v_0} = \frac{1}{v_e} + \frac{1}{v_d}$

On définit la constante d'épuration τ par :

$$\frac{1}{\tau} = \frac{DS_p}{ev_0}$$

d'où

$$\frac{d(c_1 - c_2)}{dt} = -\frac{c_1 - c_2}{\tau}$$

et par intégration

$$c_1(t) - c_2(t) = (c_{1,0} - c_{2,0}) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$