# Module de Biophysique
## SERIE 2

# Biophysique des solutions (2)
## Dialyse

Pr. Bouteïna Boutabia-Chéraitia

Faculté de Médecine d'Annaba

1 SERIE 2 -avec corrigé- Pr B. Boutabia-Chéraitia

**Exercice 1**:

Evaluer la force nécessaire pour faire éclater un globule rouge sachant que l'isotonicité correspond à $9g/l$ de $N_aCl$, et l'hémolyse totale correspond à $3g/l$ de $N_aCl$. L'hématie sera assimilée à un cylindre de diamètre $d = 7\mu m$ et d'épaisseur $e = 1\mu m$. Sa membrane étant supposée semi-perméable.

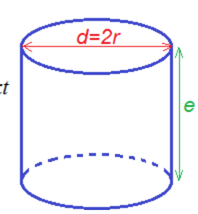
*Réponses*

Isotonicité

$(\pi_{int} = \pi_{ext})$ + membrane semi-perméable $\Rightarrow \omega_{int} = \omega_{ext}$

$$\omega_{ext} = \omega_{NaCl} = 2C_{NaCl} = 2\frac{C_{p_{NaCl}}}{M} = 2\frac{9}{58.5} = 0.307 osmol/l$$

$$\Rightarrow \omega_{int} = 0.307 osmol/l = 307 osmol/m^3$$



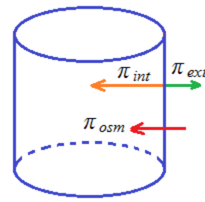

$C_{p_{NaCl}} = 9g/l$

2 **SERIE 2 -avec corrigé-** **Pr B. Boutabia-Chéraitia**

*Hémolyse*

$\Rightarrow H_2O : ext \rightarrow int \Rightarrow \pi_{osm} : ext \rightarrow int \quad \Rightarrow \pi_{int} > \pi_{ext}$

$\Rightarrow \omega_{int} > \omega_{ext}$




$C_{p_{NaCl}} = 3g/l$

$\pi_{osm} = \pi_{int} - \pi_{ext}$

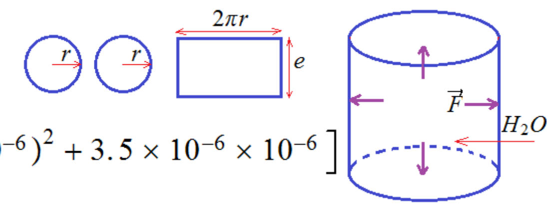
En effet:

$\omega_{int} = 307 osmol/m^3$

$\omega_{ext} = \omega_{NaCl} = 2\frac{C_{p_{NaCl}}}{M} = 2\frac{3}{58.5} = 0.102 osmol/l = 102 osmol/m^3$

$\pi_{osm} = (\omega_{int} - \omega_{ext})RT = (307 - 102)8.31 \times (37 + 273) = 5.28 \times 10^5 Pa.$

$\pi_{osm} = \frac{F}{S} \Rightarrow F = \pi_{osm} \times S$




$S = 2 \times \pi r^2 + 2\pi r \times e$

$F = 5.28 \times 10^5 \times 2\pi\left[(3.5 \times 10^{-6})^2 + 3.5 \times 10^{-6} \times 10^{-6}\right]$

$F = 5.22 \times 10^{-5} N$

3 **SERIE 2 -avec corrigé-** **Pr B. Boutabia-Chéraitia**

**Exercice 2**:

Un rein artificiel utilisé en hémodialyse chronique comporte une membrane de diffusion (Cuprophan) de surface $S = 1m^2$. A travers cette membrane sont mis en équilibre d'une part, le sang du malade, et d'autre part un liquide constamment renouvelé (dialysat), isotonique au plasma et dépourvu d'ureé. On ne s'intéressera ici qu'au problème de l'élimination de l'urée. On rappelle que l'eau et l'urée diffusent assez rapidement dans les membranes cellulaires.

1) Expliquer pourquoi:

$a$) le liquide renouvelé doit être isotonique au plasma.

$b$) non seulement le sang mais aussi toute l'eau de l'organisme, de volume $V = 40l$, est ainsi nettoyée de l'urée.

2) vers quelle valeur devrait tendre l'urémie $c(t)$ au bout d'un temps très long d'hémodialyse? Pour quelle raison physiologique n'en est -il pas ainsi?

4 **SERIE 2 -avec corrigé-** **Pr B. Boutabia-Chéraitia**

3) On suppose que le gradient de concentration uréique est uniforme sur l'épaisseur de la membrane, de perméabilité $P = 1.5 \times 10^{-6} m/s$ pour l'urée. Si l'urémie en début de séance vaut $C_0 = 2g/l$, calculer le débit massique initial d'urée.

4) Si la production quotidienne d'urée est de $25g/jour$, quelle sera la valeur de l'urémie du malade au bout d'un temps très long?

*Réponses*

1) $a)$ Isotonicité $\Rightarrow$ pas de flux d'eau $\Rightarrow$ pas d'hémolyse.

$b)$ L'urée traverse toutes les membranes de l'organisme $\Rightarrow$ sa concentration sera uniforme dans tous les compartiments liquidiens $\Rightarrow$ si le sang $(5l)$ est épuré de l'urée, c'est tout le volume aqueux $(40l)$ qui l'est aussi.

2) Normalement: $\lim\limits_{t \to \infty} C(t) = 0$

Ceci est impossible physiologiquement car le sang produit constamment l'ureé.

5 **SERIE 2 -avec corrigé-** **Pr B. Boutabia-Chéraitia**

3) $Q_i = \left(\frac{dm}{dt}\right)_i = PS|\Delta C_i|$ : Débit massique initial.

$C_i$ : concentration pondérale initiale.

$|\Delta C_i| = C_0 - 0 = C_0$

| Sang | Dialysat |
|---|---|
| $V_0$ | $V_e$ |
| $C_{1i} = C_0$ | $C_{2i} = 0$ |
| $m_0 = C_0 V_0$ | $m_{urée} = 0$ |
| 1 | 2 |

$C_0 = 2g/l = 2 \times 10^3 g/m^3$

$\Rightarrow Q_i = PSC_0 = 1.5 \times 10^{-6} \times 1 \times 2 \times 10^3 = 3 \times 10^{-3} g/s = 3mg/s$

4) Le dialysat est renouvelé à chaque cycle.

$1er$ cycle:

| Sang | Dialysat |
|---|---|
| $C_0$ | $0$ |

$\Rightarrow Q_0 = PSC_0$

$2ème$ cycle:

| Sang | Dialysat |
|---|---|
| $C_1$ | $0$ |

$\Rightarrow Q_1 = PSC_1$

6 **SERIE 2 -avec corrigé-** **Pr B. Boutabia-Chéraitia**

Dernier cycle ($t = \infty$) :

| Sang | Dialysat |
|---|---|
| $C_\infty$ | $0$ |

$\Rightarrow Q_\infty = PSC_\infty$

Si le malade produit $25g$ d'urée par jour$\Rightarrow$ il faut qu'au bout de $t = \infty$, la masse d'urée soustraite par unité de temps $\left(\left(\frac{dm}{dt}\right)_\infty\right)$ soit au moins égale à $25g/j$, afin que l'urémie n'augmente pas.

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_\infty = Q_\infty = 25g/j = 0.3mg/s$$

$$Q_\infty = PSC_\infty \Rightarrow C_\infty = \frac{1}{PS}Q_\infty = \frac{0.3\times10^{-3}}{1.5\times10^{-6}\times1} = 200g/m^3 = 0.2g/l$$

**Exercice 3**:

Un malade arrive aux urgences dans un état de choc infectieux ayant entrainé une anurie. Pour pallier la défaillance rénale, on décide de le soumettre à une séance de dialyse péritonéale. Cette opération consiste à injecter dans la cavité péritonéale un volume $V_e$ d'une solution isotonique au plasma mais dépourvue d'urée.

7 **SERIE 2 -avec corrigé-** **Pr B. Boutabia-Chéraitia**

A travers l'ensemble formé par la paroi des vaisseaux capillaires et par la membrane péritonéale, s'établit un équilibre de diffusion, sur une surface $S$, entre le sang circulant dans les vaisseaux péritonéaux et le liquide injecté.

1) Expliquer pourquoi il n'y aura pas variation du volume des deux compartiments intérieurs et extérieurs, pendant la dialyse.

2) Si $C_0$ désigne l'urémie initiale du malade, quelle sera l'urémie $C_\infty$ lorsque l'équilibre sera atteint? L'organisme du malade contient un volume $V_i = 40l$, et on lui injecte $V_e = 2l$

3) Après un temps suffisamment long pour pouvoir considérer que l'équilibre a été atteint, on aspire le liquide injecté, puis on recommence un deuxième cycle, et ainsi de suite.

Combien faudra-t-il de cycles pour ramener l'urémie du malade de la valeur initiale, $C_0 = 1.2g/l$, à la valeur presque normale $C_n = 0.4g/l$?

8 **SERIE 2 -avec corrigé-** **Pr B. Boutabia-Chéraitia**

4) On fixe la durée de chaque cycle à $\tau = 20\,\text{min}$. En considérant que l'équilibre de diffusion est atteint au bout de cette durée, calculer:
$a$) la durée totale de la dialyse pour que l'urémie du malade passe à $0.4 g/l$
$b$) la clairance de l'urée, c'est-à-dire le volume virtuel de sang totalement épuré de son urée par unité de temps, en $ml/min$.

*Réponses*

1) Isotonicité $\Rightarrow$ pas de flux d'eau $\Rightarrow$ pas de variation des volumes $(V_i)$ et $(V_e)$.

2) L'urée diffuse de $(i) \rightarrow (e)$ jusqu'à l'équilibre.

*A l'équilibre*

$C_{1f} = C_{2f} = C_\infty$

$C_\infty = \frac{C_0 V_i + 0 \times V_e}{V_i + V_e} = C_0 \frac{V_i}{V_i + V_e} = C_0 \frac{40}{40+2}$

$C_\infty = C_0 \frac{20}{21}$

| Intérieur (i) | Extérieur (e) |
|---|---|
| $V_i$ | $V_e$ |
| $C_0$ | $0$ |
| $m_0 = C_0 V_i$ | $m_{urée} = 0$ |
| 1 | 2 |

*Initialement*

9 **SERIE 2 -avec corrigé-** **Pr B. Boutabia-Chéraitia**

3) $1er$ cycle:

*Initialement*

| $(i)$ | $(e)$ |
|---|---|
| $C_0$ | $0$ |

$\Rightarrow C_1 = C_0 \frac{20}{21}$

*A l'équilibre*

| $(i)$ | $(e)$ |
|---|---|
| $C_1$ | $C_1$ |

$2ème$ cycle

Le dialysat du premier cycle est jeté pour être remplacé par un nouveau dialysat dépourvu d'urée.

*Initialement*

| $(i)$ | $(e)$ |
|---|---|
| $C_1$ | $0$ |

$\Rightarrow C_2 = \frac{C_1 V_i + 0 \times V_e}{V_i + V_e} = C_1 \frac{20}{21} = C_0 \left(\frac{20}{21}\right)^2$

*A l'équilibre*

| $(i)$ | $(e)$ |
|---|---|
| $C_2$ | $C_2$ |

$n_{ième}$ cycle:

Par récurrence: $C_n = C_0 \left(\frac{20}{21}\right)^n$

Si $C_n = 4 g/l$ $\Rightarrow n = 22.5$ On prend $n = 23$

4) $a$) $\tau = 20\,\text{min}$ : durée d'un cycle.

10 **SERIE 2 -avec corrigé-** **Pr B. Boutabia-Chéraitia**

$\Rightarrow$ La durée totale de la dialyse: $t = \tau \times 23 = 7h40\,\text{min}$

$b)\ Cl = \dfrac{\text{Volume virtuel de sang totalement épuré}}{\text{temps de l'épuration}}$

Au $1er$ cycle

On est passé de $C_0$ à $C_0\frac{20}{21} \Rightarrow$ l'urémie du malade a diminué de:

$$\Delta C = C_0 - C_0\frac{20}{21} = C_0\frac{1}{21}$$

*Masse d'urée épurée au bout du $1er$ cycle:*

On est passé de $m_0 = C_0 V_i$ à $m = C_0\frac{20}{21}V_i \Rightarrow$ la masse d'urée chez le malade a dimiué de:

$$\Delta m = C_0 V_i - C_0\frac{20}{21}V_i = C_0\frac{V_i}{21} \equiv C_0 V'$$

$V' = \frac{V_i}{21}$ : volume virtuel épuré et $\Delta m$ : masse d'urée extraite de $V'$.

Epurer le volume réel $(V_i = 40l)$ revient donc à épurer un volume virtuel $\left(V' = \frac{V_i}{21}\right)$.

$$Cl = \frac{V'}{\tau} = \frac{V_i}{21\tau} = \frac{40}{21\times 20} = 0.095l/\min = 95ml/\min$$