

Chapitre 3 : L'osmose

Cellule télé enseignement

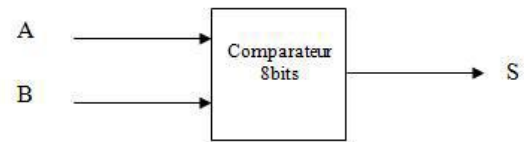


Table des matières



Objectifs	3
Introduction	4
I - Mise en évidence du phénomène d'osmose	5
II - Loi expérimentale suivie par la pression osmotique	6
III - Les types de membrane	7
1. La membrane strictement hémi-perméable :	7
2. La membrane dialysante	7
IV - Pression oncotique et équilibre de Starling	8
V - Énergie et osmose	10
1. Ultrafiltration rénale	10
2. Modélisation du travail osmotique - cas réversible	10
3. L'osmose inverse	11
4. Application au travail de la concentration de l'urine dans le rein	11
Références	13
Bibliographie	14
Webographie	15

Objectifs

L'issue de ce chapitre est de :

- *Mis en évidence du phénomène d'osmose
- *Suivre la Loi expérimentale par la pression osmotique.
- *Étudier la Pression oncotique et équilibre de Sterling, ainsi que Énergie .

Pré-requis :

L'étudiant est capable de calculer :

- *La pression osmotique.
- *La pression oncotique.

Introduction



Voyant le cas des membranes matérielles qui ne sont jamais parfaitement hémiperméable. Elles présentent seulement une perméabilité beaucoup plus grande pour le solvant (l'eau en général) que pour le soluté. Pour le raisonnement on les supposera cependant semi-perméables : vessie de porc, toutes les membranes biologiques (surfaces d'échange entre les cellules végétales et animales).

Mise en évidence du phénomène d'osmose

En construisant un dispositif tel celui de la figure 1 où une membrane perméable à l'eau sépare deux compartiments, l'un contenant de l'eau pure et l'autre une solution de glucose, on observe une montée de l'eau dans le compartiment contenant le glucose jusqu'à un niveau donné (endosmose). Après une stabilisation de ce niveau, l'eau commence à redescendre jusqu'à égalité des niveaux des deux compartiments (exosmose). L'interprétation du phénomène est qu'il se développe une pression qui pousse le solvant dans le compartiment contenant le soluté. Lorsque cette pression osmotique est équilibrée par la pression hydrostatique développée par la hauteur de la colonne d'eau dans le tube (hpg), la montée s'arrête. Ensuite, l'eau redescend car la membrane n'est pas totalement imperméable au glucose et la concentration en glucose tend à s'égaliser dans les deux compartiments, supprimant la poussée.

La pression osmotique $p_{.14} \rightleftharpoons p_{.14}$ est, par définition, la pression qu'il faudrait exercer sur une solution pour l'amener à un état d'équilibre (= absence de flux net) avec le solvant dont elle est séparée par une membrane à perméabilité sélective, soit : $\pi = h.p.g$

Deux solutions dont les pressions osmotiques sont égales sont dites "isotoniques". En cas d'inégalité, elles sont "hypertonique" et "hypotonique" l'une par rapport à l'autre : une solution étant choisie comme référence et la membrane étant précisées. Dans l'organisme, les secteurs cellulaire, interstitiel, intravasculaire, sont autant de compartiments séparés par des membranes à perméabilité sélective, généralement différente d'un type de séparation à l'autre. Chaque cellule, chaque compartiment cellulaire (noyau, vacuole, lysosome, ...) sont des compartiments microscopiques où vont intervenir les phénomènes osmotiques. $p_{.13} \rightarrow p_{.13} \rightarrow p_{.15} \rightleftharpoons p_{.13} \rightarrow$

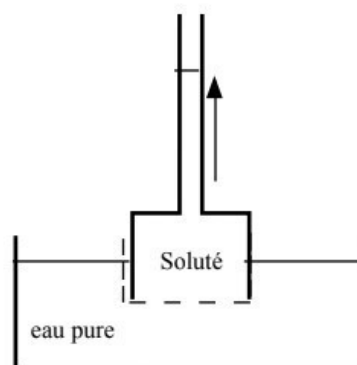
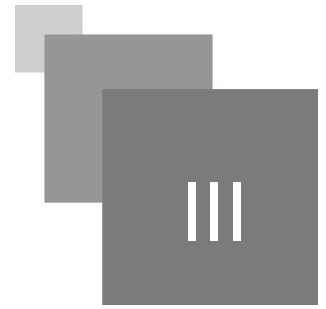


Figure 1 : phénomène d'osmose

Les types de membrane



La membrane strictement hémi-perméable :

7

La membrane dialysante

7

1. La membrane strictement hémi-perméable :

seule l'eau peut la traverser. Toute particule du soluté intervient dans le calcul de la pression osmotique. On parle aussi de membrane idéale.

2. La membrane dialysante

Elle laisse passer l'eau et les micromolécules. Seules les macromolécules ne peuvent la traverser, elles contribuent donc de façon unique à la création de la pression osmotique : on parle de pression oncotique :

$$\pi = n \cdot P \cdot R \cdot T$$

En première approximation, la paroi d'un capillaire est considérée comme une paroi dialysante et de même pour les membranes de cellophane utilisées dans les reins artificiels.

Remarque

Toutes les membranes réelles ont un comportement intermédiaire. Elles laissent passer l'eau et d'autres substances, s'approchant plus ou moins d'un des deux types décrits. Ainsi, on verra l'existence de membranes semi-perméable biologique, laissant passer l'eau et l'urée

Pression oncotique et équilibre de Starling

IV

Le secteur interstitiel contient peu de protéines et ne développe donc pas de pression oncotique. Il y a donc une tendance à voir passer le plasma du secteur interstitiel vers le secteur vasculaire. Or, dans les capillaires du côté artériel, la pression hydrostatique est supérieure à la pression oncotique. Celle-ci compense donc le flux d'origine oncotique et il entraîne même un flux net d'eau et de microélectrolyses du capillaire dans le milieu interstitiel. C'est le phénomène d'osmose inverse, ou d'ultrafiltration. Pour se convaincre de son existence, on peut imaginer l'osmomètre dans lequel on verse de l'eau par le compartiment contenant la solution : l'eau monte dans le tube et la pression hydrostatique fait renverser le flux d'osmose pour rester à l'équilibre. Dans les capillaires veineux, la pression hydrostatique est inférieure à la pression oncotique et le flux résultant s'inverse par rapport au versant artériel. Sur un plan global, ces deux flux s'équilibrent dans le temps : le volume interstitiel reste constant mais avec un renouvellement permanent. Ce phénomène physico-chimique, portant sur l'eau, contribue aux échanges des petites molécules entre les secteurs corporels par convection à travers les membranes.

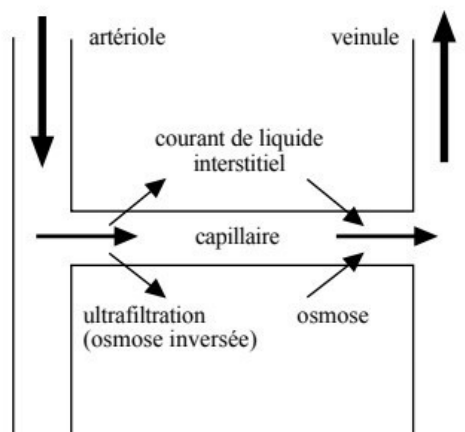


Figure 2 : phénomène d'osmose inverse

Normalement, les chiffres de pression sont de cet ordre :

$$P_a = 32 \text{ mmHg} \ \& \ \Pi_a = 25 \text{ mmHg}$$

$$P_v = 18 \text{ mmHg} \ \& \ \Pi_v = 25 \text{ mmHg}$$

On constate que les gradients de pression qui déterminent les flux sont identiques, c'est à dire que la

pression de filtration, $P_f = P_a - \Pi$, est égale à la pression de résorption, $P_r = \Pi - P_v$. Cet état s'appelle équilibre de Starling.

Il peut être perturbé lorsque la concentration de protéines diminue, on a alors une baisse de la pression oncotique. Si, par exemple, Π passe de 25 à 21 mmHg, P_f augmente (9 mmHg) et P_r diminue (3 mmHg), l'équilibre $P_f = P_r$ est rompu et $P_f > P_r$, entraînant une accumulation d'eau dans le secteur interstitiel (œdème). La baisse anormale de la pression oncotique Π peut être causée par :

- carence d'apport (famine),
- excès d'élimination (urinaire dans le syndrome néphrotique),
- défaut de synthèse (insuffisance hépatique, cirrhose).

L'équilibre peut être rompu par une augmentation de la pression veineuse. Si, par exemple, P_v passe de 18 à 22 mmHg, P_f reste inchangée tandis que P_r diminue (3 mmHg), on se retrouve dans la situation précédente où $P_f > P_r$.

On observe cette situation en cas d'obstacle à la circulation veineuse :

- compression veineuse par une tumeur,
- obstruction de la veine par un caillot de phlébite,
- insuffisance cardiaque (cœur droit, œdème hépatique ; cœur gauche, œdème pulmonaire).

En théorie, il serait nécessaire de considérer les variations de P_a . Le cas de l'abaissement est rencontré dans l'insuffisance cardiaque ; on observe alors un blocage de la pompe cardiaque qui entraîne en amont une augmentation de la pression veineuse et c'est ce paramètre qui prime (œdèmes). A l'inverse, la pression artérielle peut augmenter (HTA) mais ce phénomène se déroule essentiellement au niveau des grosses et moyennes artères et ne parvient au niveau capillaire qu'à un stade très avancé de la pathologie.

Énergie et osmose

V

Ultrafiltration rénale	10
Modélisation du travail osmotique - cas réversible	10
L'osmose inverse	11
Application au travail de la concentration de l'urine dans le rein	11

1. Ultrafiltration rénale

Dans le rein, il existe une structure, le glomérule, au sein de laquelle se forme l'urine primitive.

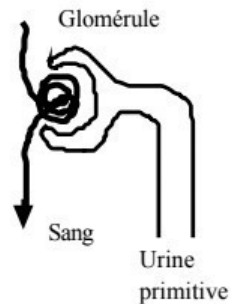


Figure 3 : ultrafiltration rénale

On assimile l'ensemble des membranes séparant le sang et l'urine primitive à une seule membrane dialysante. A l'état normal, il n'y a pas de protéines dans les urines, donc le sang exerce une pression oncotique qui a tendance à faire un appel d'eau vers le plasma. Si la pression hydrostatique est suffisante, l'eau est chassée du plasma vers le glomérule (ultrafiltration). Si la pression chute, on peut aller vers l'anurie (phénomène connu en réanimation). La pression hydrostatique est maintenue par le travail de la pompe cardiaque. Nous verrons en hydrodynamique comment on peut évaluer la consommation énergétique myocardique. Ce travail ne suffit pas à former l'urine qui sera excitée. En effet, l'urine primitive formée est, aux protéines près, de même composition que le plasma. Une succession d'absorptions et d'excrétions intra tubulaires vont aboutir à un volume restreint d'urine finale, contenant les substances à évacuer sous une haute concentration. Ces modifications de concentration impliquent une consommation d'énergie que nous allons modéliser.

2. Modélisation du travail osmotique - cas réversible

Imaginons un système ne fonctionnant que sur le mode osmotique. De nouveau, nous aurons deux compartiments séparés par une membrane (semi-perméable), l'un contenant une solution (N moles de

particules dans un volume V) et l'autre de l'eau pure. Il existe donc une pression osmotique qui sera équilibrée par une pression physique, P , exercée par l'intermédiaire d'un piston.

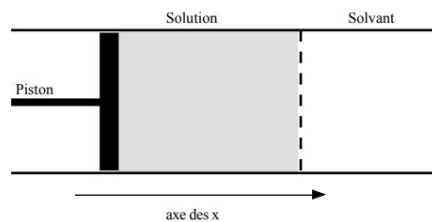


Figure 4 : Pression osmotique

Si la force exercée sur le piston équilibre la pression osmotique, le flux net d'eau à travers la membrane est nul. Si la force est insuffisante, on observe un flux osmotique ; si elle est trop importante, on observe une ultrafiltration. Dans ces deux cas, le piston se déplace et la mise en jeu d'énergie dans le phénomène d'osmose est alors facile à calculer puisqu'elle est équivalente au travail de la force appliquée sur le piston. Si on suppose le phénomène comme réversible, cette énergie (ce travail) vaut : $dW = F \cdot dl$, or $F = P \cdot S$ avec P la pression exercée et S la surface du piston. En raisonnant sur un phénomène réversible et en partant de l'équilibre, on a égalité entre pression osmotique et pression hydrostatique, donc :

$$F = \pi S = N \cdot V \cdot S$$

C'est l'expression du travail osmotique nécessaire pour concentrer (ou diluer) une solution d'une valeur d'osmolarité à une autre. On constate que si $n_2 > n_1$, le travail est positif, donc fourni au système.

3. L'osmose inverse

Les applications de l'osmose inverse concernent surtout le traitement des eaux et la concentration des solutions :

- * Dessalement des eaux saumâtres pour produire de l'eau potable
- * Préparation d'eau ultra pure pour l'électronique et la pharmacie
- * Concentrations de jus de fruits, antibiotiques, acides aminés

4. Application au travail de la concentration de l'urine dans le rein

Le modèle que nous venons de voir s'applique tout particulièrement au problème du dessalement de l'eau de mer. Si la solution passe d'une concentration de 27 g/l à 35 g/l de NaCl, à partir de 100 litres d'eau de mer, on produira 23 litres d'eau douce en consommant une énergie de $5,94 \cdot 10^4$ J. Sur cet exemple, on peut montrer qu'il faut 12% plus d'énergie pour produire le deuxième volume de 2,3 l que pour le premier volume.

En réalité, au lieu d'un piston, la pression est générée par une pompe et le flux d'ultrafiltration est compensé en permanence par un renouvellement de l'eau salée, ce qui permet d'éviter le phénomène

d'enrichissement osmolaire qui provoque un besoin énergétique croissant pour une production volumique identique.

Dans la préparation de l'urine, on peut modéliser la part osmotique du travail rénal selon le schéma suivant :

- on isole de façon fictive le volume de plasma contenant les N osmoles qui seront excitées dans l'urine,
- les reins concentrent ce volume jusqu'à atteindre l'osmolarité finale de l'urine par un processus réversible. Dans ce cas, le travail est indépendant du "chemin" utilisé et est donc identique à celui utilisé avec le modèle du piston.

En prenant l'exemple d'une osmole passant de l'osmolarité $n_s = 301 \text{ mosm/l}$ dans le plasma à $n_u = 1,914 \text{ osm/l}$ dans l'urine, on peut estimer le travail osmotique avec l'hypothèse évidente que tout se passe à 37°C , donc 310 K . On a alors :

$$W = 1,8,32 \cdot 310 \ln\left(\frac{1914}{301}\right) = 4800 \text{ J}$$

Exemple

Un sujet émet $0,6 \text{ l/j}$ d'urines d'abaissement cryoscopique $-1,96^\circ\text{C}$. Déterminer la puissance fournie par chaque rein.

On donne : l'abaissement cryoscopique du sang = $-0,56^\circ\text{C}$ et l'osmolarité du sang du sujet 300 mosmol/l . $T = 37^\circ\text{C}$

* *

*

En conclusion, le fonctionnement des organismes repose sur des échanges intra- et intercellulaires de matière ou d'énergie. En prenant en compte le phénomène de diffusion, lié essentiellement à l'agitation thermique, nous venons de décrire l'aspect passif des transports transmembranaires. Ces phénomènes ne demandent pas d'autre énergie que celle liée au maintien de la température du milieu ou celle imposée par le travail osmotique. Même s'ils rendent compte d'aspects physiologiques, ils ne sont pas obligatoirement prépondérants et les transports actifs, qui consomment un surcroît d'énergie, sont ceux qui régulent l'essentiel des fonctions. Comme la température, plus généralement les échanges de chaleur, jouent un grand rôle, nous allons voir comment se déroulent les échanges de chaleur et comment est régulée la température dans l'organisme.

Références



1

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Osmose>



Bibliographie



S. Glasstone, Textbook of physical chemistry 2e éd. (1948), Macmillan Student Edition

Atkins « chimie physique »+concours E3a PSI 2007

Atkins « chimie physique », Mc Quarrie/Rock « chimie générale »

Webographie

