

# Chapitre 2

## Osmométrie

1. Mise en évidence du phénomène d'osmose
2. Expression de la pression osmotique
3. Pression oncotique-tonicité –résistance globulaire
4. Travail osmotique
5. Application à l'ultrafiltration des solutions et au travail rénal

## Module Biophysique Pharmaceutique Deuxième Année Pharmacie

### I. Introduction

L'introduction d'un soluté dans un solvant limite la liberté de déplacement des molécules de ce dernier et le comportement physicochimique change par rapport au solvant pur, cette modification ne dépend que de la concentration du soluté.

En comparant le solvant pur avec la solution présente :

- ✚ Un abaissement de la pression de vapeur
- ✚ Une élévation du point d'ébullition
- ✚ Un abaissement du point de congélation
- ✚ Dans certains cas, apparition **d'une pression osmotique.**

Les propriétés colligatives sont étudiées surtout en solutions diluées, qui peuvent souvent être traitées comme solutions idéales qui suivent la loi de Raoult Les propriétés colligatives peuvent être employées pour la détermination des masses moléculaires des solutés. Aux électrolytes par contre, les mesures des propriétés colligatives peuvent permettre à estimer le degré d'ionisation du soluté.

#### I.1 Mise en évidence expérimentale du phénomène de l'osmose

L'**osmose** est un phénomène physique de diffusion. La diffusion liquide correspond à une harmonisation des concentrations de soluté (substance dissoute) dans un solvant.

L'**osmose** est un cas particulier de diffusion liquide, lorsque deux solutions de concentrations différentes sont mises de part et d'autre d'une membrane "**semi-perméable**", c'est-à-dire laissant passer le solvant (en général de l'eau) et non le soluté.

La différence de concentration provoque une différence de « **Pression Osmotique** » qui engendre un déplacement du solvant à travers la membrane et une dilution de la solution la plus concentrée. Il est important de comprendre que le solvant (l'eau) diffuse dans les deux sens (de la même manière, une diffusion a lieu dans tous les sens) : mais le flux le plus important (donc le flux net) a lieu vers la solution plus concentrée, ce qui la dilue.

Le solvant, pénétrant dans le vase, fait monter la solution dans le tube jusqu'à égaliser la pression osmotique et la pression hydrostatique (résultant notamment du poids de la colonne d'eau) : cet équilibre une fois atteint, la pression hydrostatique fait repasser autant de molécules d'eau à travers la membrane (vers le récipient) que le flux osmotique net en fait passer vers le vase intérieur.( figure 1).

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 ( $h_{pg}$ ), la montée s'arrête.

Un cas d'application bien connu d'osmose est la montée de l'eau dans les arbres : les cellules des racines « pompent » par pression osmotique l'eau du sol. La sève (solution aqueuse nutritive) monte alors des racines vers les branches, par pression osmotique aussi.

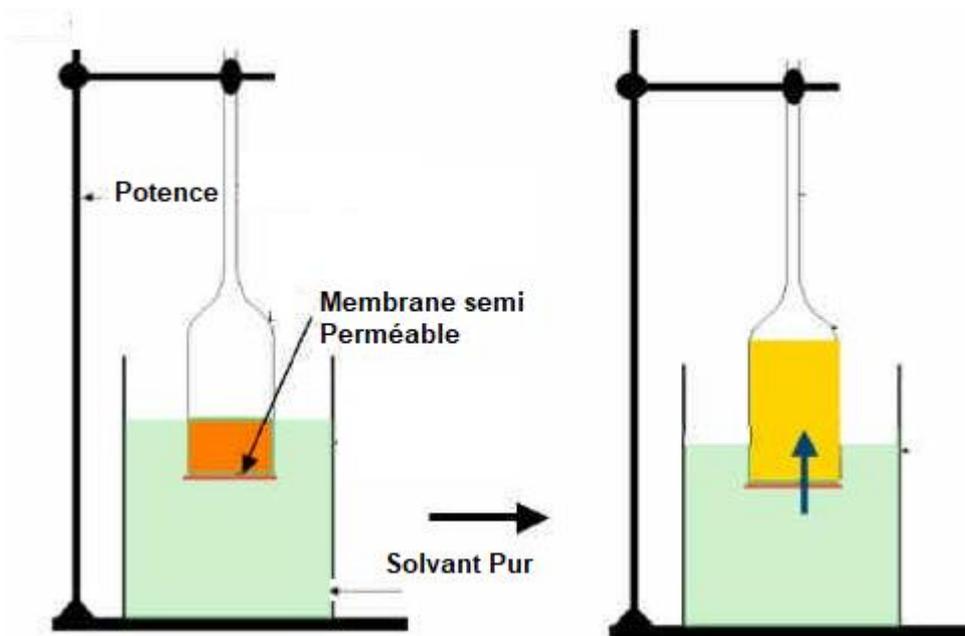


Figure 1 : Phénomène de l'osmose

**La pression osmotique** 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. D'une autre manière, La pression osmotique se définit comme la pression minimale qu'il faut exercer pour empêcher le passage d'un solvant d'une solution moins concentrée à une solution plus concentrée au travers d'une membrane semi-perméable.

**La pression osmotique** a un rôle fondamental en biologie où elle permet, sur le plan théorique, de comprendre de nombreux mécanismes de fonctionnement des êtres vivants, sur le plan pratique, de

réaliser des solutions isotoniques aux divers liquides biologiques dans des buts variés : par exemple l'étude des conditions physico-chimiques des cultures microbiennes ou cellulaires.

## II. Expression de la pression Osmotique :

Calcul de la pression osmotique en unités internationale : **Pascal (Pa)**

$$\pi = R.T.\omega$$

$\pi$  : Pression osmotique en pascal. (1 atm = 101,3 kPa = 760 mmHg)

$R$  = 8,314 (UI)

$T$  : en Kelvin (0 K = -273,15°C )

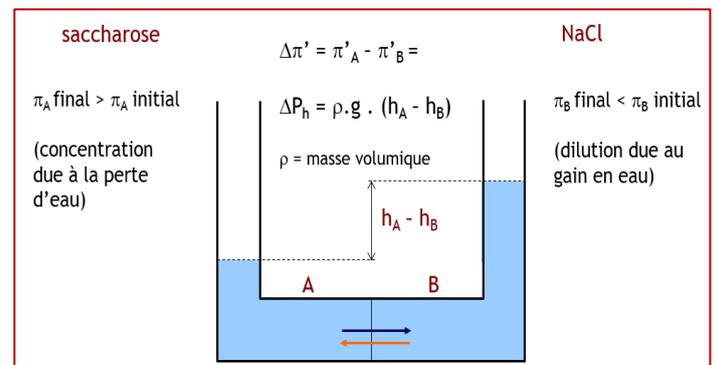
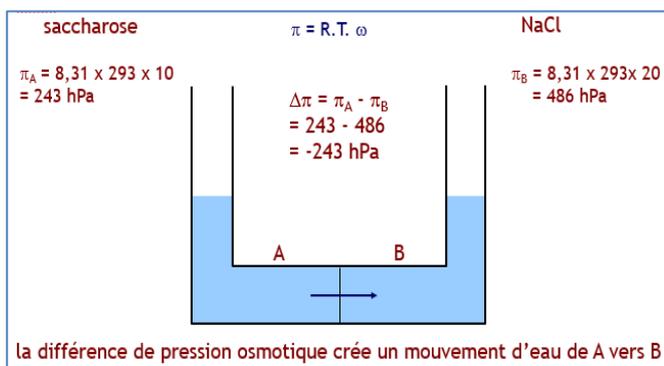
$\omega$  : Osmolarité (osmol/m<sup>3</sup>)

$V$ : L'unité internationale de volume est le **m<sup>3</sup>**, et non le litre

### Osmolarité d'un mélange de solutés :

**Osmolarité totale =  $\Sigma$  osmolarité de chaque soluté**

**Exemple** : calcul de la différence de pression osmotique d'une solution A contenant 10 mM de saccharose et d'une solution B contenant 10m M de NaCl



le mouvement d'eau de A vers B crée, par la différence de hauteur, une pression hydrostatique qui s'oppose à l'osmose.

à l'équilibre, la différence de pression osmotique est égale à la différence de pression hydrostatique qui s'exerce en sens

On constate qu'il y a apparition d'une dénivellation « h » donnant lieu à une surpression hydrostatique qui équilibre les phénomènes osmotiques responsables de la pression osmotique.

- ✓ La différence de pression  $\Delta P = \rho gh$  apparaît du côté le plus concentré et elle est proportionnelle au nombre de particules présentes dans la solution.

- ✓ La pression au point A sous la membrane est supérieure à la pression au point B en dessus de la membrane  $\Delta P = P_A - P_B = \rho gh$  où  $\rho$  est la masse volumique de la solution.
- ✓ Le solvant traverse la membrane et ce flux ne s'arrête que lorsque les forces de pression exercées de part et d'autre de la membrane soient équilibrées :  $\Delta P = P_A - P_B = \pi$ .
- ✓ La grandeur  $\pi = \rho gh$  est appelée la pression osmotique de la solution, c'est-à-dire la pression qu'il faut exercer sur la solution pour empêcher le solvant de traverser la membrane.

### osmolarité efficace : osmolarité des solutés non perméants

Dans le cas d'une solution contenant des solutés perméants et non perméants, la pression osmotique à l'équilibre est due aux solutés imperméants

En réalité, la membrane du GR est perméable à l'eau et à l'urée, elle est dite sélective. Aussi, dans l'osmolarité de la solution, on doit retrancher celle de l'urée, ce qui introduit la notion **d'osmolarité osmotique efficace**  $\omega_e$ .  $\omega_e = \omega - \omega_u / \omega_u =$  osmolarité de l'urée

## III. Pression oncotique-tonicité –résistance globulaire

### III.1 : Pression oncotique

**Définition1** : La pression oncotique c'est la pression créée uniquement par des protéines (macromolécules). Alors la pression oncotique est définie comme suit :

$$\pi = R.T C_p$$

$\pi$  : Pression oncotique en pascal.

$R = 8,314$  (UI)

$T$  : en Kelvin ( $0 \text{ K} = -273,15^\circ\text{C}$ )

$C_p$  : est la concentration en protéines ( $\text{mole/m}^3$ ).

### Définition2 : (Larousse Médical)

Grandeur exprimant le degré de facilité avec lequel des protéines en solution dans un fluide attirent l'eau. En pratique, le terme de pression oncotique exprime le degré de facilité avec lequel les protéines du plasma attirent l'eau des tissus de l'organisme.

Si la concentration des protéines plasmatiques diminue (hypoprotéïnémie), par exemple à la suite d'une dénutrition, l'eau s'accumule dans les tissus, ce qui provoque la formation d'œdèmes.

**III.2 : La Tonicité** : basée sur le comportement d'une cellule, lorsqu'elle est immergée dans une solution.

- ◆ les milieux extracellulaire et intracellulaire sont isomostiques
- ◆ l'osmolarité des différents milieux est obtenue différemment.

### III.2.1 : isomolarité - isotonicité

- ◆ Deux solutions sont isosmolaires si leurs osmolarités sont égales.
- ◆ Deux solutions, dans un même solvant, sont iso-osmotiques si elles ont le même **abaissement cryoscopique** ou la même **pression osmotique**.
- ◆ Une solution est isotonique si son osmolarité efficace est égale à l'osmolarité cellulaire.
- ◆ Pressions osmotiques égales : Pas de modification du volume de la cellule: milieux intracellulaire et extracellulaire

### III.2.2 : Hypertonie

- On considère une solution A hypertonique par rapport à une solution B si la **concentration en soluté dans la solution A est plus forte**.
- Un milieu hypertonique (en soluté) aura une forte pression osmotique.

### III.2.3 : Hypotonie

- On considère une solution A hypotonique par rapport à une solution B si la **concentration en soluté dans la solution A est plus faible**.
- Un milieu hypotonique (en soluté) aura une faible pression osmotique.

## III.3 Résistance globulaire

Les GR d'osmolarité voisine à **310 mosmol/l** ont une membrane supposée semi-perméable parfaite. Plongés dans une solution aqueuse d'osmolarité  $\omega$ , on observe :

- a. Aucune modification du GR si  $\omega=310 \text{ mOsmol/l}$ , le flux osmotique d'eau est représenté par une entrée égale à la sortie : **milieu isotonique**
- b. Si  $\omega < 310 \text{ mOsmol/l}$ , alors le flux osmotique d'eau est représenté par une entrée supérieure à la sortie : **milieu hypotonique**. Le GR gagne de l'eau par osmose et est gonflé.

On appelle ce phénomène **TURGESCEANCE (hydratation)**.

- c. Si  $\omega > 310 \text{ mOsmol/l}$ , alors le flux osmotique d'eau est représenté par une entrée inférieure à la sortie : **milieu hypertonique**. Le GR perd de l'eau par osmose et est crénelé.

On appelle ce phénomène **PLASMOLYSE (déshydratation)**.

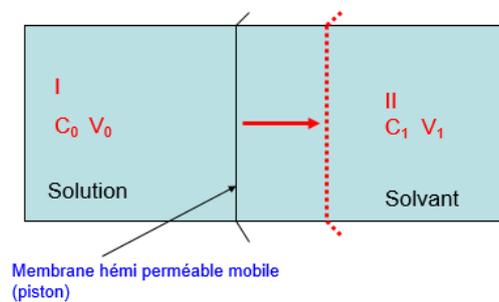
#### IV. Travail osmotique :

Soit deux compartiments I et II séparés par une membrane semi perméable mobile ( Piston) :

Dans **le compartiment I**: on place une solution de volume initial  $V_0$  contenant  $n$  moles de solutés et donc d'osmolarité initial  $C_0 = n/V_0$ .

Dans **le compartiment II** : on met le solvant pur.

- On constate que le piston se déplace spontanément vers l'eau ; en effet par osmose l'eau passe vers la solution dont le volume augmente et la concentration du soluté diminuera (dilution)
- Le piston étant soumis à une force se déplace il y a donc un travail et une variation d'énergie avec une nouvelle concentration  $C_1 = n/V_1$



##### IV.1 : Calcul du travail osmotique :

$$dE = dw = \pi \cdot dv$$

$$\pi = R.T. \cdot \sum C_{osm}$$

$$\pi = R.T. \cdot \frac{n}{v}$$

$$\text{donc : } dw = R.T. \frac{n}{v} \cdot dv$$

Par suite de la dilution, le volume du premier compartiment passe d'un volume initial ( $V_0$ ) à un volume final ( $V_1$ ). Le travail résultant de la pression osmotique :

$$\int_{v_0}^{v_1} dw = \int_{v_0}^{v_1} n \frac{R.T.}{v} dv$$

$$\int_{v_0}^{v_1} dw = n.R.T. \cdot \int_{v_0}^{v_1} \frac{dv}{v}$$

$$w = n.R.T \ln \frac{V_1}{V_0}$$

$$W = nRT \cdot \ln \frac{\omega_f}{\omega_i}$$

$\omega_f$  : Osmolarité finale

$\omega_i$  : Osmolarité initiale

#### IV.2 Application Médicale : Le Travail Rénal

Lorsque le rein épure l'organisme de diverses substances dans les urines d'osmolarité  $\omega_u$  le travail rénal est :

$$W = nRT \cdot \ln \frac{\omega_f}{\omega_i}$$

$\omega_s$  : osmolarité du sang n: nombre d'osmoles épurées =  $V_u \cdot \omega_u / V_u$  est le volume des urines

La diffusion est un phénomène de transport de particules sans mouvement macroscopique.

Ce transport se produit dans un système initialement hors d'équilibre, des régions riches en particules vers les régions pauvres en particules : la diffusion tend à rendre homogènes les concentrations des particules.

On remarque par ailleurs que les processus de diffusion sont plus rapides quand la température est plus élevée. Le moteur de cette diffusion est d'origine microscopique et lié à l'agitation thermique.

#### V. Application à l'ultrafiltration des solutions et au travail rénal

Si on exerce une pression mécanique sur la solution ; le solvant ne passe pas à travers la membrane.

Si la pression mécanique > pression osmotique  on débarrasse la solution du solvant c'est le phénomène d'**Ultrafiltration**

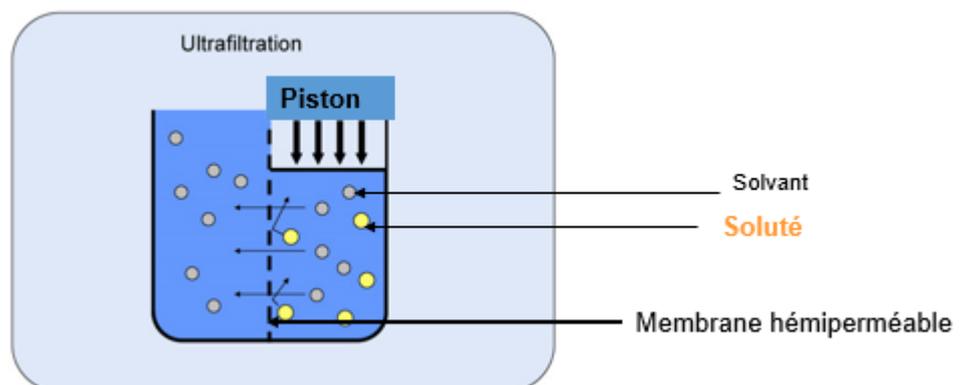


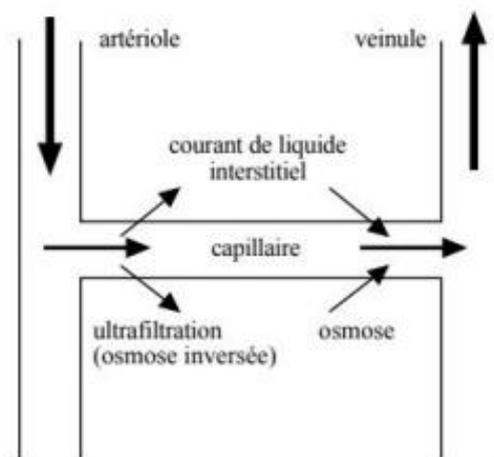
Figure 2 : Phénomène de l'ultrafiltration

**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 ultrapure pour l'électronique et la pharmacie
- Concentrations de jus de fruits, antibiotiques, acides aminés

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 3 : Phénomène de l'osmose inverse**