

exercice 1 : molarité, molalité

a) Donner la définition de la molarité d'une solution.

réponse :

La molarité d'une solution est la concentration d'une substance donnée exprimée en moles de molécules par litre.

b) Calculer la molarité d'une solution aqueuse contenant 585 mg de NaCl par litre d'eau.
(Na : PM = 23 ; Cl : PM = 35,45).

réponse :

La concentration massique de la solution de NaCl est de 585 g/l. La masse molaire du NaCl est de 58,5.

La concentration molaire est donc : $0,585/58,5 = 10 \text{ mM}$.

c) Quelle est la différence entre molarité et molalité ?

réponse :

La molarité est la concentration exprimée en moles par litre de solution. Une solution qui contient une mole par litre est une solution molaire.

La molalité est la concentration exprimée en moles par kg d'eau. Une solution qui contient une mole par kg d'eau est une solution molale.

exercice 2 : osmolarité, coefficient osmotique

a) Qu'est-ce l'osmolarité d'une solution ?

réponse :

L'osmolarité d'une solution est le nombre de moles de particules en solution dans 1 litre de solution. L'osmolalité est le nombre de moles de particules en solution dans 1 kg d'eau. 1 osmole (osm) correspond à une mole de particules.

b) Calculer l'osmolarité de la solution précédente, en admettant que la totalité du NaCl est sous forme ionisée.

réponse :

Si tout le NaCl est ionisé, chaque mole de NaCl donne 2 mole de particules (1 mole de Na^+ et 1 mole de Cl^-)

L'osmolarité de la solution est donc de 20 mosm.L^{-1} .

c) En réalité, le coefficient osmotique (Φ) du NaCl est de 0,93. Quelle la valeur réelle de l'osmolarité de la solution précédente ?

réponse :

En réalité, tout le NaCl n'est pas sous forme ionisée. Le nombre total de particules est donc inférieur aux nombre total d'ions formés si tout le NaCl était ionisé.

Le coefficient osmotique, déterminé expérimentalement, permet de calculer le nombre réel de moles de particules présentes dans la solution, c'est-à-dire le nombre d'osmoles.

$$n(\text{osm}) = n(\text{mol}) \cdot i \cdot \Phi$$

$n(\text{mol})$ = nombre de mol de substance non ionisée.

i = nombre d'ions formés (ex. NaCl : $i = 2$; MgCl_2 : $i = 3$)

L'osmolarité réelle de la solution est donc : $10 \times 2 \times 0,93 = 18,6 \text{ mosm.L}^{-1}$

d) On dispose maintenant d'une solution contenant 952 mg de MgCl_2 par litre. Calculer l'osmolarité de la solution, sachant que le coefficient osmotique (Φ) du MgCl_2 est de 0,89.

(Mg : PM = 24,32)

réponse :

osmolarité de la solution = concentration molaire $\times i \times \Phi =$

$$952/95,2 \times 3 \times 0,89 = 26,7 \text{ mosm.L}^{-1}$$

exercice 3 : osmolarité d'une solution contenant plusieurs solutés

b) On rajoute à la solution de NaCl précédente (exercice 2 c) (600 mg d'urée (PM = 60). L'osmolarité est-elle modifiée ? Si la valeur est modifiée, calculer la nouvelle.

réponse :

L'osmolarité est modifiée, l'urée étant soluble dans l'eau.

La molarité de l'urée est de $600/60 = 10$ mM.

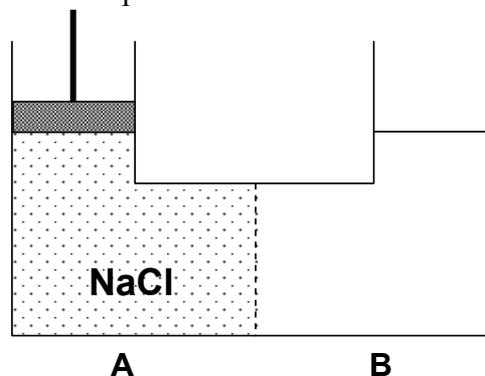
L'urée ne se dissociant pas en solution, son osmolarité est égale à sa molarité.

Son osmolarité est donc de **10 mosm.L⁻¹**

l'osmolarité de la solution est de $18,6 + 10 = 28,6$ mosm.L⁻¹

exercice 4 : osmose, pression osmotique

On place la solution précédente de NaCl (exercice 2 c) dans le compartiment de gauche (compartiment A) du récipient représenté ci-dessous. Le compartiment de droite (compartiment B), qui contient uniquement de l'eau, est séparé de l'autre par une membrane perméable à l'eau et à l'urée mais imperméable aux ions.



a) Dans quel sens le flux d'eau va-t-il se faire ? Pourquoi ? Comment appelle-t-on ce mouvement d'eau ?

réponse :

Le flux d'eau va se faire du compartiment le moins concentré en osmoles vers le compartiment le plus concentré en osmoles, donc du compartiment B vers le compartiment A. Ce mouvement d'eau s'appelle l'osmose.

b) Qu'est ce que la pression osmotique ?

réponse :

La pression osmotique π est la pression exercée par les particules en solution, et responsable de l'osmose. La pression osmotique d'une solution est donnée par la loi de van't Hoff, dérivée de la loi sur les gaz parfaits.

$$\pi = RT/V(ni\Phi)$$

$ni\Phi$ étant l'osmolarité de la solution (voir définition, exercice 2)

c) En appliquant la loi de van't Hoff, déterminer la valeur de la pression osmotique de la solution (on prendra $R = 8,314$ et $T = 310$ K, pour exprimer la pression osmotique dans l'unité internationale de pression, le Pascal (Pa). NB : l'unité internationale de volume est le m³, et non le litre).

Calculer la valeur de la pression osmotique en Pa et en atmosphères, sachant qu'une atm = 101,3 kPa.

réponse :

L'osmolarité de la solution est de 18,6 mosm L⁻¹, soit 18,6 osm.m⁻³. (attention : l'unité internationale de volume est le m³, et non le litre) ; La pression osmotique est donc :

$$\pi = 8,314 \times 310 \times 18,6 \text{ Pa} = 47962 \text{ Pa}$$

$$\pi = 47,9 \text{ kPa} = 47,9 / 101,3 \text{ atm} = 0,47 \text{ atm}$$

d) Si on exerce sur le piston du compartiment A une pression P égale à la pression osmotique, dans quel sens se fera le mouvement d'eau ?

réponse :

Si $P = \pi$, alors le flux net d'eau est nul, puisque les 2 pressions sont de même valeur et de sens opposés.

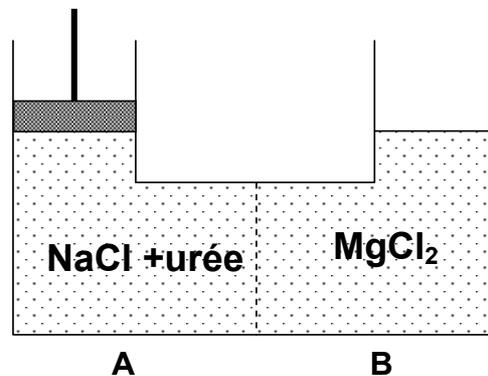
e) Si la pression P exercée sur le piston est supérieure à la pression osmotique, dans quel sens se fera le mouvement d'eau ?

réponse :

Si $P > \pi$, alors le mouvement d'eau se fera du compartiment A vers le compartiment B.

exercice 5 : osmolarité efficace

On place maintenant dans le compartiment A la solution précédente NaCl + urée (exercice 3) et dans le compartiment B celle de MgCl₂ (exercice 2 d).



a) Quelle est l'osmolarité de la solution du compartiment A ? Du compartiment B ?

réponse :

L'osmolarité du compartiment A est de 28,6 mosm.L⁻¹ (ex. 3) et celle du compartiment B de 26,7 mosm.L⁻¹ (ex. 2d)

a) Quelle est l'osmolarité efficace de la solution du compartiment A ? Du compartiment B ?

réponse :

La membrane étant perméable à l'urée mais pas aux ions, seuls les ions participent à l'osmolarité efficace.

L'osmolarité efficace du compartiment A est de 18,6 mosm.L⁻¹ (ex. 2c) et celle du compartiment B de 26,7 mosm.L⁻¹ (ex. 2d)

b) Dans quel sens va se faire le mouvement d'eau ?

réponse : le flux net d'eau se fait du compartiment dont l'osmolarité efficace est la plus faible vers celui où elle est la plus élevée, donc de A vers B.

exercice 7 : osmolarité et volume cellulaire

La valeur moyenne de l'osmolarité du plasma et du LIC est de 290 mosm/l.

a) On dispose d'une solution de NaCl à 156 mM. Cette solution est-elle isosmotique ?

réponse :

osmolarité = $156 \times 2 \times 0,93 = 290 \text{ mosm.L}^{-1}$. La solution est isosmotique par rapport au LIC.

b) On place des hématies dans cette solution. La membrane plasmique des globules rouges est perméable à l'eau et à l'urée mais imperméable aux ions. Comment va varier le volume cellulaire ? La solution est-elle isotonique ?

réponse :

La membrane plasmique étant imperméable aux ions, l'osmolarité efficace de la solution est de 290 mosm.L^{-1} , c'est-à-dire la même valeur que le liquide intracellulaire (LIC). Le flux net d'eau entre les compartiments intracellulaire et extracellulaire est donc nul, le volume des hématies ne varie pas ; d'un point de vue osmotique, elles se comportent comme dans le plasma : la solution est isotonique.

c) On rajoute à la solution initiale de l'urée à la concentration de 50 mM. Comment va varier le volume des hématies dans cette solution ? Quelle est son osmolarité efficace ? La solution est-elle isotonique ?

réponse :

La membrane plasmique étant perméable à l'urée, celle-ci ne participe pas à l'osmolarité efficace, qui reste, malgré l'adjonction d'urée, égale à 290 mosm.L^{-1} . À l'équilibre*, le volume des hématies sera identique au volume initiale. La solution est isotonique.

*transitoirement, avant que les concentrations en urée l'équilibrent de part et d'autre de la membrane plasmique, les hématies seront dans une solution hyperosmotique, et leur volume diminuera, avant de reprendre sa valeur initiale lorsque les concentrations d'urée entre les milieux intracellulaire et extracellulaire seront égales.

exercice 8 : estimation de l'osmolarité d'une solution physiologique

On veut effectuer des expériences in vitro avec des bronches isolées de rat. On veut utiliser la solution physiologique suivante :

Produit	Concentration
Na Cl	118,4 mM
KCl	4,7 mM
CaCl ₂ . 2H ₂ O*	2,5 mM
MgSO ₄ . 7H ₂ O	1,2 mM
KH ₂ PO ₄	1,2 mM
NaHCO ₃	25,0 mM
D-glucose	11,1 mM

a) Quel est le cation principal de cette solution ? En première approximation, quelle est l'osmolarité de la solution, estimée à partir de la concentration de ce cation ?

réponse :

Le cation principal de cette solution est Na⁺, dont la concentration est de :
 $118,4 \text{ (NaCl)} + 25 \text{ (NaHCO}_3\text{)} = 143,4 \text{ mM}$.

L'osmolarité totale d'une solution physiologique peut s'estimer par la concentration en cations principaux multipliée par 2. On obtient ici : 287 mosm.L^{-1} .

b) Selon cette approximation, cette solution est-elle isotonique ?

réponse :

L'osmolarité estimée de cette solution rest très proche de l'osmolarité du LIC. Cette solution – dite de Krebs-Henseleit – est, en première approximation, isotonique.

exercice 9 : pression oncotique

a) La concentration sanguine moyenne en albumine (PM = 69 000) est de 45 g/l. Calculer la pression oncotique « vraie » à partir de l'équation de van't Hoff.

réponse :

Concentration molaire en albumine = $45/69\ 000 = 0,652\ \text{mM}$, ce qui correspond à :

$$1681\ \text{Pa} = 12,6\ \text{mmHg}$$

b) En réalité, la pression oncotique mesurée est d'environ 30 mmHg, soit 4 kPa. Comment peut-on expliquer cette différence ?

réponse :

Les protéines comme l'albumine sont chargées négativement, ce qui influence la répartition des ions de part et d'autre de la membrane biologique – ici la paroi capillaire (ce que l'on appelle l'effet Donnan). Donc, en plus de la pression osmotique propre à l'albumine en solution indépendamment de sa charge s'ajoute un effet sur les ions dû à l'effet Donnan, ce qui explique que la pression oncotique mesurée soit supérieure à la pression oncotique calculée uniquement à partir des concentrations en albumine sans tenir compte de l'effet Donnan.

c) Le liquide interstitiel contient peu de protéine, et sa pression oncotique est de 12 mmHg, soit 1,6 kPa. Dans quel sens va s'effectuer le flux d'eau dû à la pression oncotique entre le secteur sanguin et le secteur interstitiel ?

réponse :

La pression oncotique étant supérieure dans le secteur sanguin par rapport au secteur interstitiel, le flux d'eau dû à la pression oncotique va du secteur interstitiel vers le secteur sanguin (l'eau rentre dans les capillaires).*

*À la pression oncotique s'oppose la pression sanguine hydrostatique, qui a un effet inverse. Le flux net d'eau entre le secteur sanguin et le secteur interstitiel dépend donc des valeurs respectives de la pression sanguine dans les capillaires et de la pression oncotique.

d) On prépare une solution de perfusion contenant 156 mM de NaCl et 0,65 mM de Dextran, colloïde neutre. D'un point de vue osmotique (y compris oncotique), cette solution de perfusion est-elle analogue au plasma sanguin ?

réponse :

156 mM de NaCl correspond à une solution ionique isotonique (voir ex. 7). Le dextran étant un colloïde, il crée une pression oncotique, analogue à celle due à l'albumine du plasma. 0,65 mM de Dextran équivaut à la concentration en albumine du plasma.

La solution semble donc être analogue d'un point de vue osmotique au plasma sanguin, tant d'un point de vue ionique (NaCl isotonique) que d'un point de vue oncotique (colloïde à la même concentration que l'albumine plasmatique). Cependant, le Dextran étant un colloïde neutre, il ne crée pas d'effet Donnan, et donc ne reproduit que partiellement la pression oncotique due à l'albumine. Pour compenser l'effet Donnan, il faut mettre une solution de Dextran supérieure à la concentration plasmatique en albumine (1,55 mM de Dextran crée une pression oncotique égale à la pression oncotique mesurée, environ 4 kPa (voir ex. 9b)).

exercice 10 : osmorégulation, osmoconformité

concentration ionique en (mM) de l'eau de mer et du milieu intérieur des 3 animaux marins.

	Na ⁺	Cl ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻
<i>eau de mer</i>	478	558	10	10	54	28

TD osmolarité

<i>Aphrodite</i> (annélides)	476	557	10,5	10,5	54,6	26,5
moule (Mollusque)	474	553	12	11,9	52,6	14,5
flet	180	160	4	3	1	0,2

a) Faire une estimation de l'osmolarité de l'eau de mer.

réponse :

les ions principaux sont Na^+ et Cl^- . L'osmolarité due à ces 2 ions est d'environ 1000 mosm.L⁻¹.

b) En comparant la composition en ions des différents animaux à celle de l'eau de mer, déterminer les animaux osmoconformes et osmorégulateurs.

réponse :

Les compositions ioniques des milieux intérieurs d'*Aphrodite* et de la moule sont analogues à celle de l'eau de mer. Ces animaux sont osmoconformes (leurs osmolarité est égale à celle de l'eau de mer).

Par contre, celle du flet est inférieure à celle de l'eau de mer. Cet animal est osmorégulateur (son osmolarité est différente de celle du milieu extérieur). La différence d'osmolarité fait que l'animal a tendance à perdre de l'eau et à capter passivement du sel. Le maintien d'une osmolarité inférieure à celle de l'eau de mer nécessite donc des mécanismes actifs de captation d'eau et d'élimination des ions.