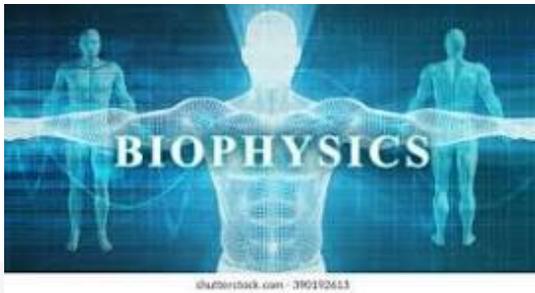


Biophysique



Dr BELKACEM Karima

Université de M'sila

Faculté des sciences

Département de science de
la nature et de la vie

Email : *karima.
belkacem@univ-msila.dz*

1.0

14 février 2024

Table des matières

Objectifs	3
Introduction	4
I - Compétences visées	5
II - Pré-requis	6
III - Exercice : Prés-Test	7
IV - Exercice	8
V - Chapitre I : Les solutions et les solutions électrolytiques.	9
1. Les états physiques des solutions	9
2. Classification des solutions	10
3. Caractères quantitatifs des solutions	10
4. Exercice : Test chapitre I	12
5. Exercice	12
VI - Chapitre II : Phénomène de diffusion et propriétés colligatives.	13
1. Mise en évidence du phénomène de diffusion	13
2. La première loi de Fick	14
3. Exercice : Test chapitre II	16
4. Exercice	16
VII - Test Final	17
1. devoir	17
Solutions des exercices	18
Glossaire	20
Abréviations	21
Bibliographie	22

Objectifs

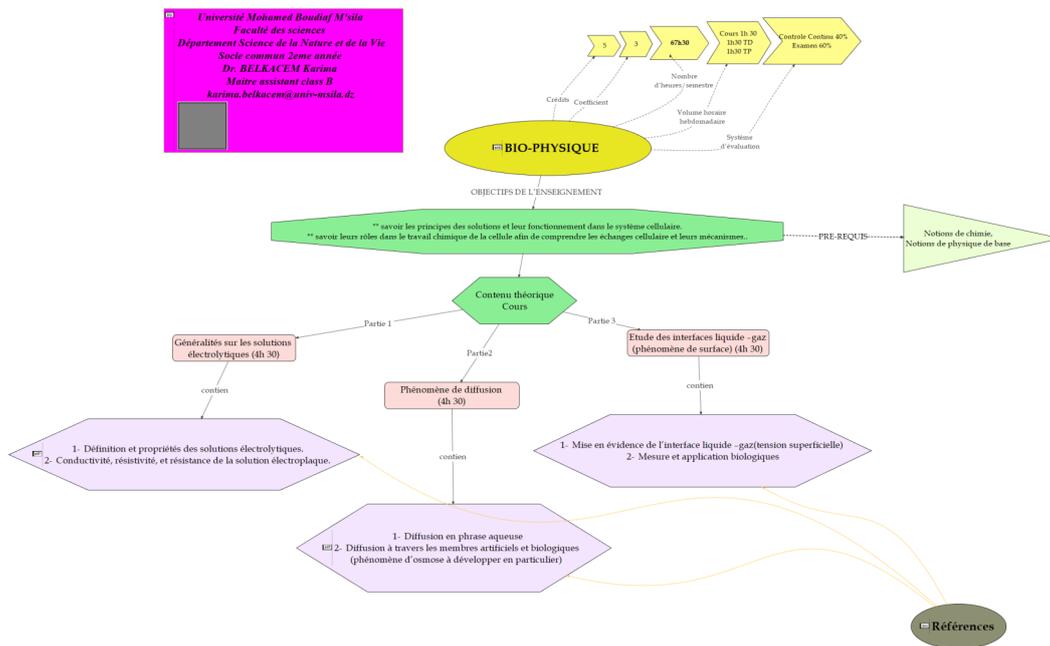
A l'issu de ce cours, l'étudiant sera capable de :

- Connaître la composition, la statique, la dynamique et les différentes propriétés de la matière vivante.
- Savoir faire des mesures expérimentales et estimer les erreurs et les incertitudes.
- Comprendre les différentes caractéristiques des solutions et des solutions électrolytiques.
- Connaître les applications biologiques de déplacement de la matière à travers les membranes (phénomène de diffusion, équilibre de Donnan et l'abaissement cryoscopique).

Introduction

La **biophysique** est une science qui se situe entre les sciences biologiques (science de la vie) et les sciences physiques (sciences exactes). La biophysique est une discipline qui contribue à une meilleure compréhension des grandes fonctions physiologiques (respiration, circulation, digestion, reproduction, photosynthèse, etc.). Toutes ces fonctions physiologiques peuvent être étudiées par des phénomènes purement physiques (diffusion, osmose, pression osmotique, tension superficielle, etc.). Ces phénomènes physiques s'effectuent entre deux milieux de concentrations différentes, et sont souvent séparés par une membrane.

Chez les organismes vivants, l'eau est le constituant essentiel, cette eau à l'état liquide contient de nombreux solutés. L'ensemble l'eau et soluté forme une solution, c'est la raison pour laquelle nous abordons le module de la biophysique par une étude détaillée des solutions et les solutions électrolytiques en particulier.



I Compétences visées

L'objectif général de l'enseignement du cours de biophysique est de permettre aux étudiants en science de la nature et de la vie l'acquisition des bases en physique pour les différentes applications en biologie qui est une science du milieu vivant.

II Pré-requis

- transformation de la matière (solide-liquide-gaz)
- les solutions aqueuses
- phénomène de surface
- la diffusion (phénomène d'osmose)

III Exercice : Prés-Test

[solution n°1 p.18]

Qu'est-ce qu'un soluté?

- L'espèce chimique dissoute dans une solution.
- Le liquide dans lequel est dissoute une autre espèce chimique.
- Les espèces chimiques liquides en solution.
- Les espèces chimiques solides en solution.

IV Exercice

[solution n°2 p.18]

Qu'est-ce qu'un solvant ?

- Le liquide dans lequel est dissoute une autre espèce chimique.
- L'espèce chimique est dissoute dans une solution.
- Une espèce chimique solide en solution
- Une espèce chimique très acide.

V Chapitre I : Les solutions et les solutions électrolytiques.

On appelle solution tous **systèmes homogènes (*)** , qu'ils soient liquide, gazeux ou solide et qui est formé par un ou plusieurs composés (solutés) appelés phase dispersé et d'un solvant dit phase dispersante. **La solution = un ou n molécules d'un ou plusieurs solutés + y molécules de solvant** (avec y molécules de solvant largement supérieures à n molécules de solutés).

1. Les états physiques des solutions

Solution liquide

1. Solution liquide : Eau de mer, **solution aqueuse (**)** de NaCl^* , etc. En médecine ce type de solution est utilisé pour permettre d'administrer certains médicaments sous forme aqueuse (à base d'eau).

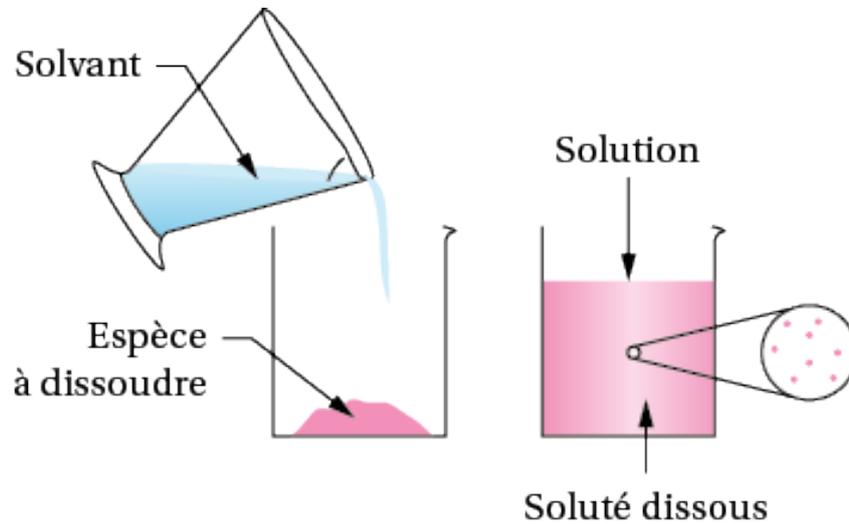
Il est donc possible de boire, d'injecter ou d'appliquer sur la peau ces solutions.

Solution gazeuse

2. Solution gazeuse : l'air; l'air est constitué de 78.1% d'azote N_2 qui est le solvant, 21% d'oxygène O_2 , les gaz rares, l'hydrogène H_2 et le gaz carbonique CO_2^* .

Solution solide

3. Solution solide : Bronze; alliage de cuivre Cu et l'étain Sn.



2. Classification des solutions

Classification selon les forces d'interactions entre les molécules

- a. **Solution idéale** (solution parfaite): une solution est dite idéale si les interactions entre toutes ses molécules (solvant-solvant, solvant-soluté, soluté-soluté) sont les mêmes. Une solution tend vers l'idéalité au fur et à mesure qu'elle est diluée.
- b. **Solution réelle** (solution pratique): dans ce cas les interactions entre les molécules de solutés et de solvant sont variables.

Classification selon la taille des molécules

Selon la taille des solutés les solutions sont groupées dans deux classes à savoir les solutions micro-moléculaires et les solutions macromoléculaires.

- a. **Les solutions micro-moléculaires** : ce sont des solutions stables, leurs molécules sont ultra- filtrables et mobiles, elles ont des tailles inférieures à 10 \AA , leurs solutés sont soit neutre (se dissolvent mais ne dissocient pas, exemple du glucose, l'urée, etc.) soit électrolytique (se dissocient et se dissolvent; c'est le cas des sels, des bases et des acides).[1]^{*}
- b. **Les solutions macromoléculaires**: sont les solutions dont leurs particules sont de taille suffisamment grande (supérieure à 10 \AA), elles se déplacent lentement et ne peuvent pas traverser certaine type de membrane notamment les membranes dialysantes. Notons que les protéines peuvent être considérées comme des macromolécules.[2]^{*}

3. Caractères quantitatifs des solutions

Concentration molaire C

La concentration molaire est appelé généralement « *la molarité* », elle est symbolisée par la lettre C. Par définition la molarité est le rapport de la quantité de matière (le nombre de mol) du soluté contenue dans un certain volume de solution divisée par ce volume de solution. La concentration molaire est exprimée donc en mol par litre.

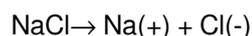
$$C = \frac{n(\text{en mol})}{V(\text{en l})}$$

Remarque

On utilise les notations suivantes pour indiquer la concentration molaire d'une solution : Une solution de concentration molaire $C = 0.001 \text{ mol/l}$ peut être indiquée par 0.001 M ou encore par 1 mM .

Complément : Relation entre les concentrations molaires

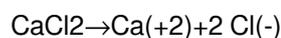
1. L'équation de mise en solution aqueuse de NaCl s'écrit :



Alors

$$[\text{Na}^{(+)}] = [\text{Cl}^{(-)}] = C(\text{NaCl})$$

2. L'équation de mise en solution aqueuse de CaCl_2 s'écrit :

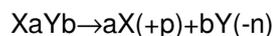


On'a alors

$$[\text{Ca}^{(+2)}] = C(\text{CaCl}_2) \text{ et } [\text{Cl}^{(-)}] = 2C(\text{CaCl}_2)$$

Cas générale

Soit une solution du solide ionique X_aY_b de concentration C . L'équation de mise en solution aqueuse de ce solide ionique s'écrit :



On 'a alors $[\text{X}^{(+p)}] = a C$ et $[\text{Y}^{(-n)}] = b C$

Concentration massique C_m

C'est le rapport de la masse de soluté (exprimée en kg ou en g) contenu dans un certain volume de solution divisée par ce volume de solution (exprimé en l ou en m^3). La concentration massique est symbolisée par la lettre C_m et exprimée par:

$$C_m = \frac{m \text{ soluté (en g)}}{V \text{ solution (en l)}}$$

Si M représente la masse molaire du soluté, alors sa masse est donnée par l'équation $m = n \cdot M$ où n est son nombre de mole, et la concentration massique prend la forme suivante :

$$C_m = \frac{n \times M}{V} = M \times C$$

Concentration molale m_l

La concentration molale est appelé généralement la molalité, elle est symbolisée par la lettre m_l . Elle représente la quantité de la matière du soluté en mol dissoute par unité de masse du solvant. Elle s'exprime en mol kg^{-1} .

$$m_l = \frac{n \text{ soluté (en mol)}}{m \text{ solvant (Kg)}}$$

4. Exercice : Test chapitre I

[solution n°3 p.18]

Dans une solution aqueuse de glucose :

- le soluté est l'eau
- le soluté est le glucose
- le solvant est l'eau
- le solvant est le glucose

5. Exercice

[solution n°4 p.18]

Lorsqu'une solution aqueuse est saturée en sulfate de cuivre cela signifie que :

- L'eau ne peut plus dissoudre le sulfate de cuivre solide.
- Le sulfate de cuivre solide est entièrement dissous dans l'eau.
- Il y a autant de sulfate de cuivre que d'eau.
- Le sulfate de cuivre solide n'est pas soluble dans l'eau.

VI Chapitre II : Phénomène de diffusion et propriétés colligatives.

La diffusion est un phénomène de transport passif (*) d'ion ou de molécules d'un milieu à un autre à cause du gradient de concentration. Le gradient de concentration est la variation de la concentration en fonction de la distance. La diffusion se fait du milieu le plus concentré vers le milieu le moins concentré.

1. Mise en évidence du phénomène de diffusion

Diffusion libre

La diffusion qui se fait dans le même compartiment est dite **la diffusion libre**. Lorsque on verse un colorant sur un liquide transparent, à l'état initial ($t=0$ s) on remarque la formation d'un film mince sépare les deux liquides (Figure 3.1(a)). A l'état final, nous remarquons la disparition totale de ce film et l'obtention d'une solution de couleur homogène (Figure 3.1(b)).

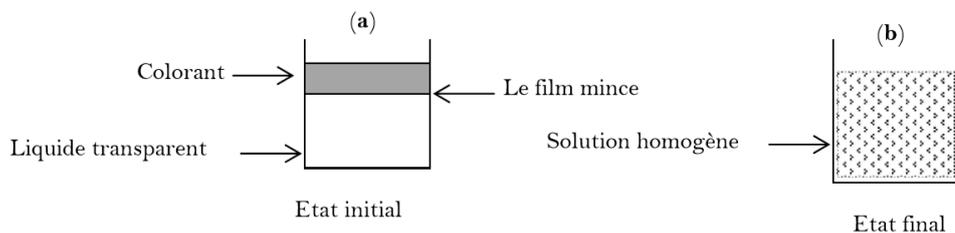


Figure 3.1: Diffusion libre, (a) : Etat initial, (b) : Etat final.

Diffusion à travers une membrane

Soit une cuve séparée en deux compartiments A et B de volumes égaux par une membrane perméable aux molécules d'eau et de saccharose.

A l'état initial, le compartiment A contient une solution aqueuse de saccharose à une concentration C_0 , et le compartiment B contient que de l'eau pure (Figure 3.2(a)).

Initialement les molécules de saccharose diffusent du compartiment A vers le compartiment B, et les molécules d'eau se déplacent du compartiment B vers le compartiment A.

A l'état final, les concentrations de saccharose dans les deux compartiments sont égales (Figure 3.2(b)). On dit que le soluté a diffusé du milieu le plus concentré vers le milieu le moins concentré, jusqu'à égalité des concentrations de part et d'autre de la membrane (voir Figure 3.3).

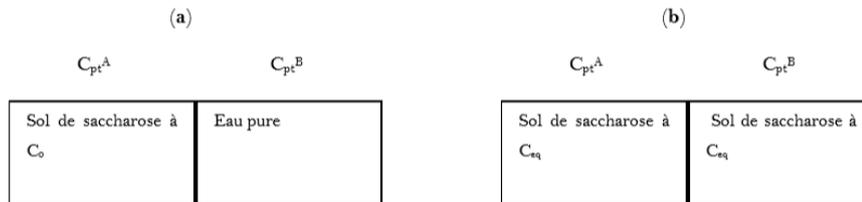


Figure 3.2: Diffusion à travers une membrane, (a) : Etat initial, (b) : Etat final.

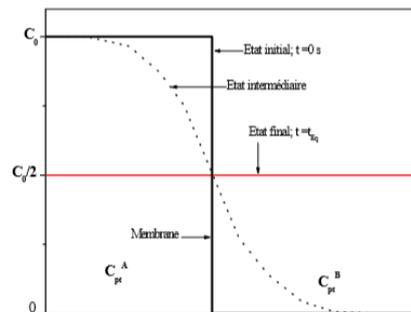


Figure 3.3 : Evolution de la concentration du soluté dans les deux compartiments C_{pt}^A et C_{pt}^B en fonction du temps, (a) : Etat initial ($t=0$ s), (b) : Etat intermédiaire et (c) : Etat d'équilibre ($t=t_{eq}$). Les volumes des compartiments sont égaux.

Aspect quantitatif de la diffusion des solutions

Soit une cuve séparée en deux compartiments 1 et 2 de volumes V_1 et V_2 , par une membrane perméable aux molécules du soluté S_1 . Les deux compartiments contiennent des solutions de S_1 respectivement à C_1 et C_2 . La concentration du soluté S_1 à l'état d'équilibre C_{eq} est donnée par la relation suivante :

$$C_{eq} = \frac{C_1 \times V_1 + C_2 \times V_2}{V_1 + V_2}$$

2. La première loi de Fick

Un récipient est divisé en deux compartiments de volumes égaux par une membrane perméable aux molécules d'un soluté S_1 . Les compartiments contiennent des solutions non électrolytiques de S_1 à C_1 et à C_2 respectivement. La

première loi de Fick permet de calculer le flux molaire ou massique, plutôt le débit molaire ou massique des molécules neutres déplacées d'un milieu à un autre en fonction du gradient de concentration et du **coefficient de diffusion**.

La quantité de matière dn traversant, suivant un l'axe ox , une surfac S durant une unité de temps est définie par la première loi de Fick comme suit :

$$Dn = \left(\frac{dn}{dt} \right) = -D S \frac{\delta C}{\delta x}$$

Avec Dn est le débit molaire, exprimé en mol/s. Il représente le nombre de moles traversant la membrane durant une unité de temps (1s).

D : est le coefficient de diffusion spécifique de chaque soluté, exprimé en cm^2/s .

S : est la surface de diffusion en cm^2 .

dC/dx : est le gradient de concentration, ou C représente la concentration molaire en mol/cm^3

et x est une distance en cm .

Notons que le signe moins apparait dans la loi de Fick signifie que la diffusion se fait du milieu le plus concentré vers le milieu le moins concentré.

Coefficient de diffusion D

Le coefficient de diffusion D est une caractéristique propre de la molécule, il traduit sa simplicité de déplacement au sein d'une solution. Selon la première loi de Fick, il représente la quantité de matière du soluté passant par l'unité de surface S pour un gradient de concentration. La dimension du coefficient de diffusion est et a comme unité le m^2/s . Dans le Tableau nous reportons les valeurs du coefficient de diffusion de quelques molécules dissoutes dans l'eau à une température de 300 K.

la molécule	masse molaire	Coefficient D
L'hydrogène	1,01	4,5
L'oxygène	15,99	2,1
Azote	14	1,88
Chlore	35,45	1,25
Ethanol	46,07	0,84
Lactose	342,29	0,48
Hémoglobine	Non Identifiée	0,063

D'après ces valeurs, nous constatons que le coefficient de diffusion diminue avec l'augmentation de la masse molaire M , plutôt avec l'augmentation de la taille des molécules.

D'autre part le coefficient de diffusion est proportionnel à la température T et inversement proportionnel au coefficient de friction f . Il est donné par la relation d'Einstein comme suit :

$$D = \frac{K(B) \times T}{f}$$

3. Exercice : Test chapitre II

[solution n°5 p.19]

Une membrane lipidique artificielle :

- est obligatoirement une structure bicouche lamellaire ;
- est une structure multilamellaire lorsque c'est un liposome ;
- peut avoir une taille similaire à celle d'une cellule de 12 μm de diamètre dans le cas des GUV.
- ne présente pas de mouvements de lipides de flip-flop lorsque c'est une bicouche.

4. Exercice

[solution n°6 p.19]

La membrane plasmique peut laisser passer par diffusion passive une molécule :

- polaire, de faible poids moléculaire, car elle est hydrophile ;
- si elle ne dépasse pas un certain poids moléculaire et si elle est suffisamment lipophile ;
- chargée avec une charge permanente délocalisée.

VII Test Final

1. devoir

Exercice 1 : Diffusion

Un soluté de concentration initiale $C=1 \text{ mol/l}$ est introduit dans un tube rempli d'eau sur une longueur de $L=10\text{cm}$. La diffusion du soluté suit la loi de Fick. La diffusion est observée pendant une période de $t=2 \text{ heures}$, Le coefficient de diffusion D du soluté dans l'eau est $1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$

- 1- Quelle est la concentration du soluté à une distance de $x=5\text{cm}$ du point initial après $t=2 \text{ heures}$?
- 2- Représentez graphiquement la distribution de la concentration le long du tube après $t=2 \text{ heures}$.

Solutions des exercices

> **Solution n° 1**

Exercice p. 7

Qu'est-ce qu'un soluté?

- L'espèce chimique dissoute dans une solution.
- Le liquide dans lequel est dissoute une autre espèce chimique.
- Les espèces chimiques liquides en solution.
- Les espèces chimiques solides en solution.

> **Solution n° 2**

Exercice p. 8

Qu'est-ce qu'un solvant ?

- Le liquide dans lequel est dissoute une autre espèce chimique.
- L'espèce chimique est dissoute dans une solution.
- Une espèce chimique solide en solution
- Une espèce chimique très acide.

> **Solution n° 3**

Exercice p. 12

Dans une solution aqueuse de glucose :

- le soluté est l'eau
- le soluté est le glucose
- le solvant est l'eau
- le solvant est le glucose

> **Solution n° 4**

Exercice p. 12

Lorsqu'une solution aqueuse est saturée en sulfate de cuivre cela signifie que :

- L'eau ne peut plus dissoudre le sulfate de cuivre solide.
- Le sulfate de cuivre solide est entièrement dissous dans l'eau.
- Il y a autant de sulfate de cuivre que d'eau.
- Le sulfate de cuivre solide n'est pas soluble dans l'eau.

> **Solution n°5**

Exercice p. 16

Une membrane lipidique artificielle :

- est obligatoirement une structure bicouche lamellaire ;
- est une structure multilamellaire lorsque c'est un liposome ;
- peut avoir une taille similaire à celle d'une cellule de 12 μm de diamètre dans le cas des GUV.
- ne présente pas de mouvements de lipides de flip-flop lorsque c'est une bicouche.

> **Solution n°6**

Exercice p. 16

La membrane plasmique peut laisser passer par diffusion passive une molécule :

- polaire, de faible poids moléculaire, car elle est hydrophile ;
- si elle ne dépasse pas un certain poids moléculaire et si elle est suffisamment lipophile ;
- chargée avec une charge permanente délocalisée.

Glossaire

Le transport passif

Le transport passif est un transport qui se fait sans consommation d'énergie.

solution aqueuse ()**

Une solution aqueuse est une solution dont le solvant est l'eau.

systèmes homogènes

Un système est dite homogène si toutes ses propriétés (température, pression, masse volumique, etc.) sont identiques en tous ses points. Si ce n'est pas le cas, c'est un système hétérogène.

Abréviations

CO₂ : dioxyde de carbone

NaCl : CHLORURE DE SODIUM

Bibliographie

R. Atlani , R. Attal, Biophysique -tome 1, Hémodynamique, tension superficielle, vision audition, Editions Robert Atlani (2011). ISBN :2-907283-55-3.

S. Belazreg, R. Perdrisot, J.Y. Bounaud, Biophysique cours, exercices, annales et QCM corrigés, Dunod, Paris, (2006). ISBN : 2 10 048978X.