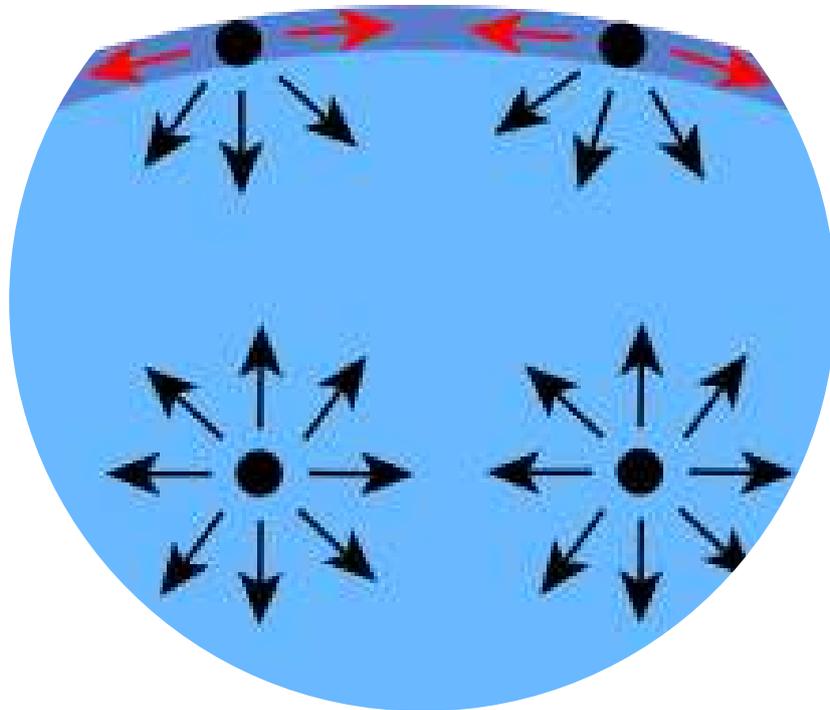


Biophysique



SCIENCES DE LA VIE



Shop



- Cahiers de Biologie + Lexique
- Accessoires de Biologie



Etudier



Visiter [Biologie Maroc](http://www.biologie-maroc.com) pour étudier et passer des QUIZ et QCM en ligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.



Emploi



- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE



Université Cadi Ayyad
Faculté Polydisciplinaire de Safi
Département Biologie



Module: Biophysique

SVI, Semestre 3, 2020/2021

Pr. Taoufiq Benali

PLAN DU COURS

- **Introduction générale**
 - Définition de la Biophysique

Partie 1: Physique de l'eau et des solutions en milieu biologique, phénomène de surface

- **Chapitre 1 : Les solutions bioélectrolytiques**
- **Chapitre 2: Etude des interfaces solides-liquides**
- **Chapitre 3: Etude des interfaces liquides-gaz**
- **Chapitre 4: Forces appliquées dans les interactions des molécules biologiques**

Partie 2 : Interactions des ondes et des particules avec la matière biologique.

Travaux Dirigés et Travaux Pratiques

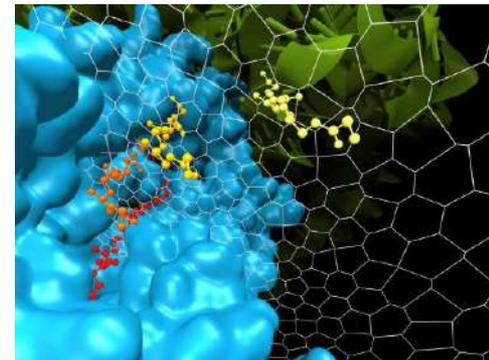
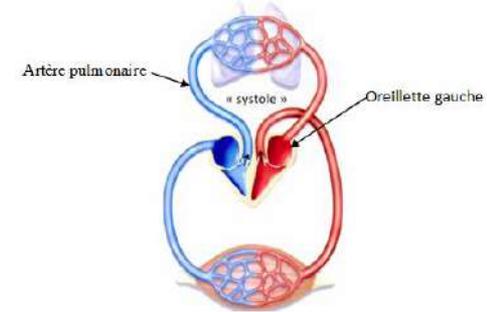
C'est quoi la Biophysique?

Introduction à la biophysique

C'est quoi la BIOPHYSIQUE?

La biophysique est l'étude des phénomènes physique des constituants des êtres vivants et de l'action des agents externes physiques sur ces êtres vivants:

- Etude de **l'action des agents physiques**: vibration, rayonnement, électricité, sons....
- Etude des **méthodes et techniques** physiques de diagnostic et de thérapie
- Etude **des phénomènes physiques dans l'organisme**: biophysiques des échanges de la circulation sanguine, de la respiration, l'équilibre acido-basique



Partie I

Chapitre 1

LES SOLUTIONS BIO-ÉLECTROLYTIQUES

Solution :

□ Une solution est un mélange de deux matières ou plus, elle est constituée de :

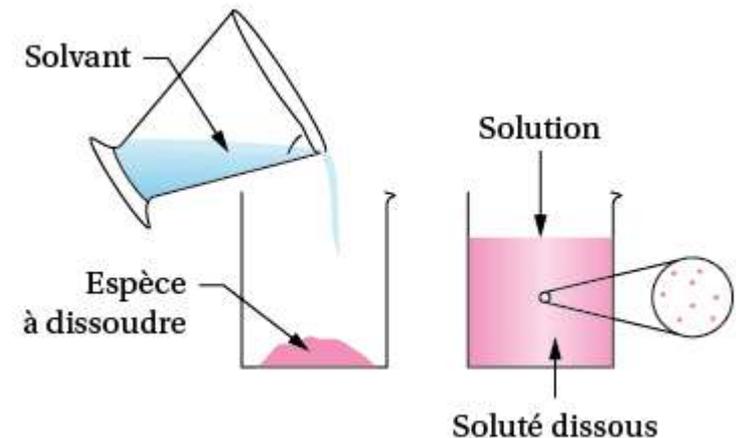
- **Solvant** : la matière qui existe en plus grande quantité.
- **Soluté** : la matière (les matières) qui existe en faible quantité:

→ les solutés moléculaires non ioniques ($C_6H_{12}O_6, \dots$)

→ les solutés ioniques ou "électrolytes" ($NaCl, Na_2SO_4, CaCl_2, \dots$)

Solution aqueuse :

Une solution dans laquelle l'eau est le solvant.



Rappels:

- ❑ **La quantité de matière:** Représente le nombre d'entités élémentaires spécifiées (atome, molécule, ion...) **Symbole n ; unité: mol**
- **Relations pour calculer la quantité de matière**

Calculer la
quantité de
matière
 n (en mol)

Pour un corps pur avec son nombre d'entités

$$n = \frac{N}{N_A}$$

la constante d'Avogadro N_A (en mol⁻¹)

$$N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

○ Relations pour calculer la quantité de matière

Pour un solide ou un liquide caractérisé par sa masse molaire **M** (en g.mol⁻¹) et sa masse volumique **ρ** (en g.L⁻¹)

Avec sa masse
m (en g)

$$n = \frac{m}{M}$$

$$\longleftrightarrow m = \rho \times V$$

avec son volume
V (en L)

$$n = \frac{\rho \times V}{M}$$

Calculer la
quantité de
matière
n (en mol)

Avec son Volume
molaire **V** (L.mol⁻¹)

$$n = \frac{V}{v_m}$$

Pour un gaz

Avec son Volume **V** (en m³)

$$n = \frac{p.V}{R.T}$$

p : pression du gaz (Pa) ;
V : volume occupé (m³),
R : constante de gaz parfaits
(*R* = 8,314 J.K⁻¹ .mol⁻¹) ;
T : température absolue
(K) ; *T*(K) = *θ*(°C) + 273,15.



Exercice 1

Le composant essentiel du savon a pour formule $C_{18}H_{35}O_2Na$

- 1) Quelle est la masse molaire du savon?
 - 2) Quelle est la quantité de matière en savon dans une savonnette de 125g?
- $M(O)=16,0$ g/mol; $M(C)=12,0$ g/mol; $M(H)= 1,0$ g/mol; $M(Na)=22,98$ g/mol

Exercice 2

A $20^{\circ}C$, l'hexane de formule chimique C_6H_{14} est un liquide de masse volumique $\rho=0,66$ g.cm⁻³. On a besoin d'un échantillon de $n=0,19$ mol d'hexane à $20^{\circ}C$.

- 1) Calculer la masse molaire M de l'hexane.
- 2) Exprimer puis calculer la masse m de l'échantillon d'hexane.
- 3) Exprimer puis calculer le volume d'hexane à prélever pour obtenir la quantité voulue.
- 4) Donner le matériel à utiliser pour le prélèvement.



Exercice 3

Deux récipients sont reliés par un tube de volume négligeable muni d'un robinet. Les 2 récipients contiennent un gaz parfait. La température de 27°C ne varie pas pendant l'expérience.

La pression P_1 et le volume V_1 (récipient 1) sont respectivement : $2,0 \cdot 10^5$ Pa et 2,0 L.

La pression P_2 et le volume V_2 (récipient 2) sont respectivement : $1,0 \cdot 10^5$ Pa et 5,0 L.

$R = 8,31 \text{ S.I}$

- 1) Calculer les quantités de matière n_1 et n_2 de gaz dans chaque récipient.
- 2) On ouvre le robinet. En déduire le volume total V_t occupé par le gaz.
- 3) Déterminer P_t , la pression du gaz lorsque le robinet est ouvert.

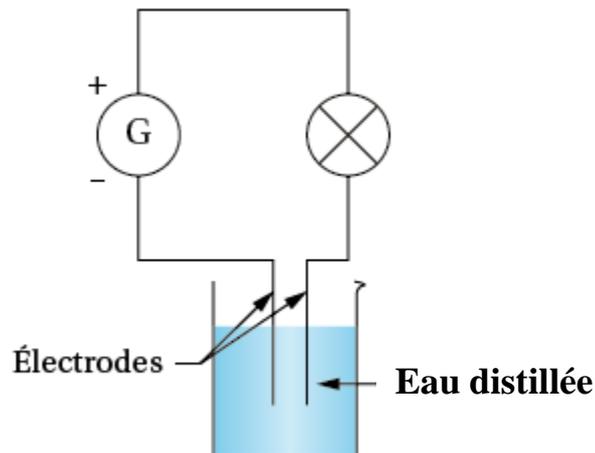
Solution électrolytique :

- ⊕ Une solution **AQUEUSE** est **mélange homogène** d'espèces chimiques obtenu par dissolution d'un **soluté** dans **l'eau** (solvant).

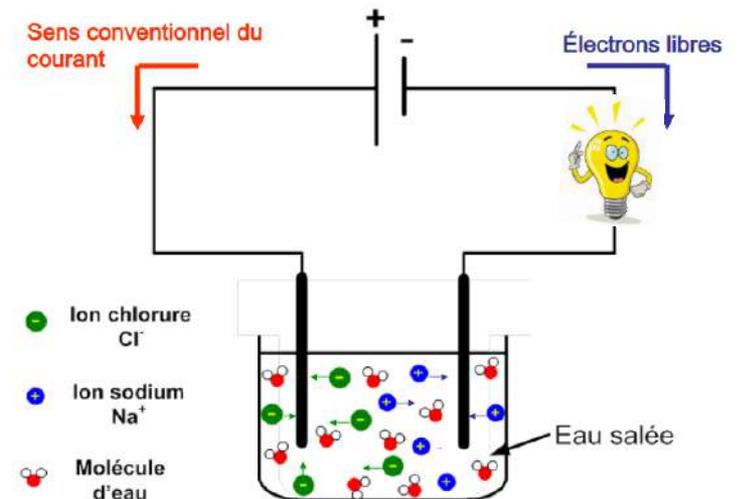
- ⊕ Une solution **ÉLECTROLYTIQUE** est une solution contenant des ions libres et indépendants. Elle conduit le courant et elle est électriquement neutre.
 - Les ions sont des atomes ou des molécules qui sont chargés. Il existe deux sous familles:
 - ✓ Les cations : les ions sont alors chargés positivement : K^+ ; Na^+ ; Ca_2^+ ; Ag^+ ; Al_3^+
 - ✓ Les anions: les ions sont alors chargés négativement : Cl^- ; OH^- ; NO_3^- ; SO_4^{2-} ; Br^-

Solution électrolytique :

En appliquant un champ électrique entre deux électrodes d'une cellule contenant une solution électrolytique, les cations (ions à charge positive) se déplacent vers la cathode (électrode à charge négative) et les anions (ions à charge négative) se déplacent vers l'anode (électrode à charge positive).



VS

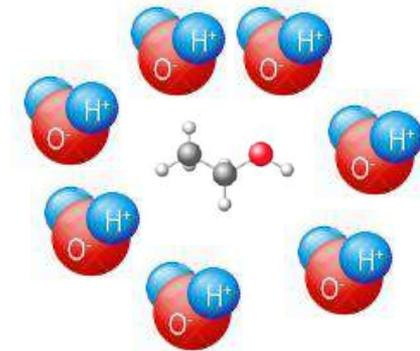


Solution électrolytique :

Une solution électrolytique???



Pas de charge libre

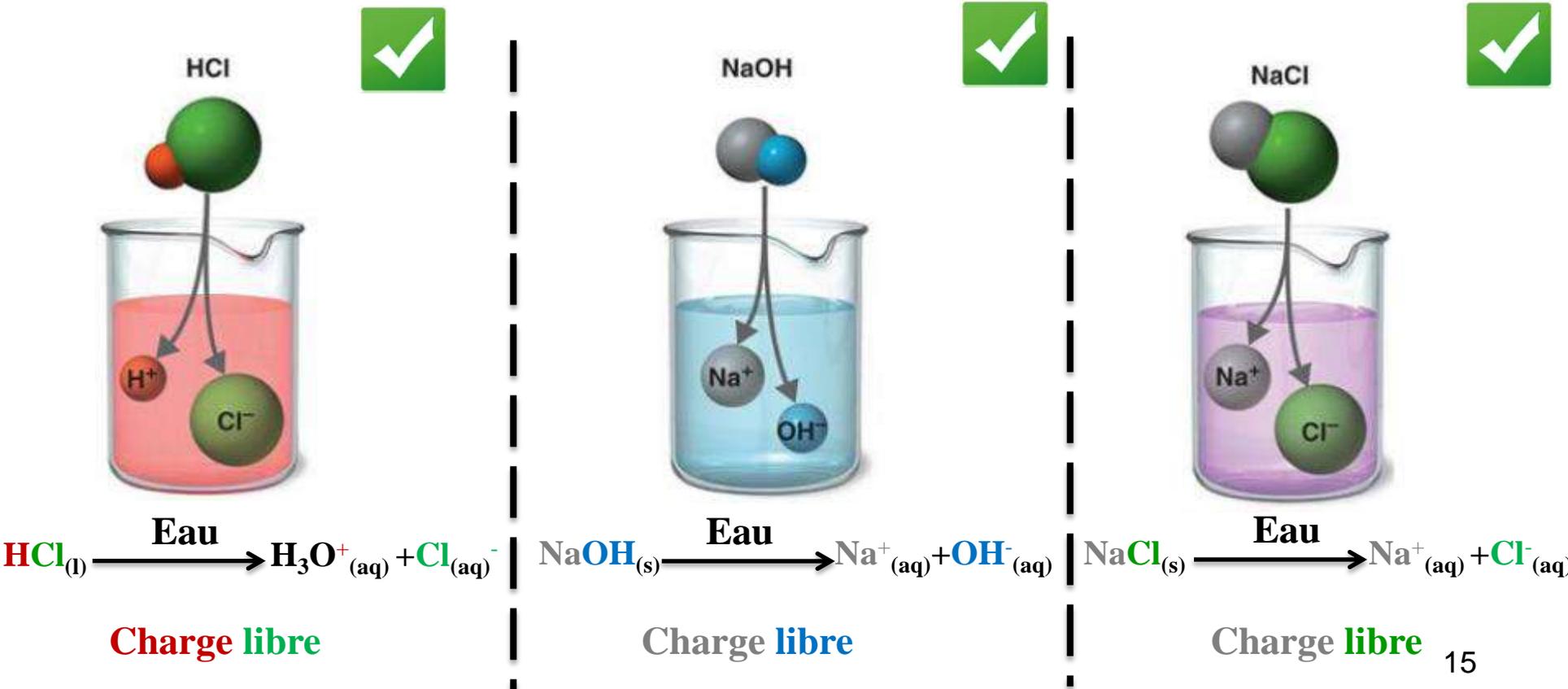


Pas de charge libre



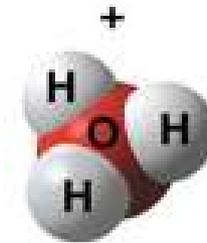
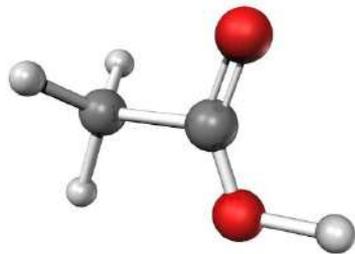
Solution électrolytique :

Une solution électrolytique???

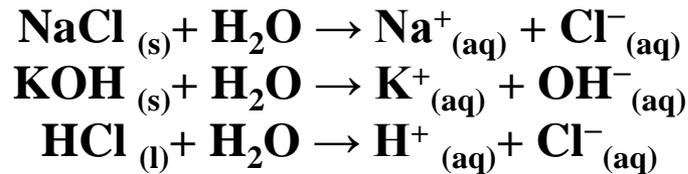


Solution électrolytique :

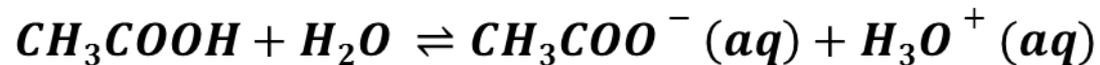
Une solution électrolytique???

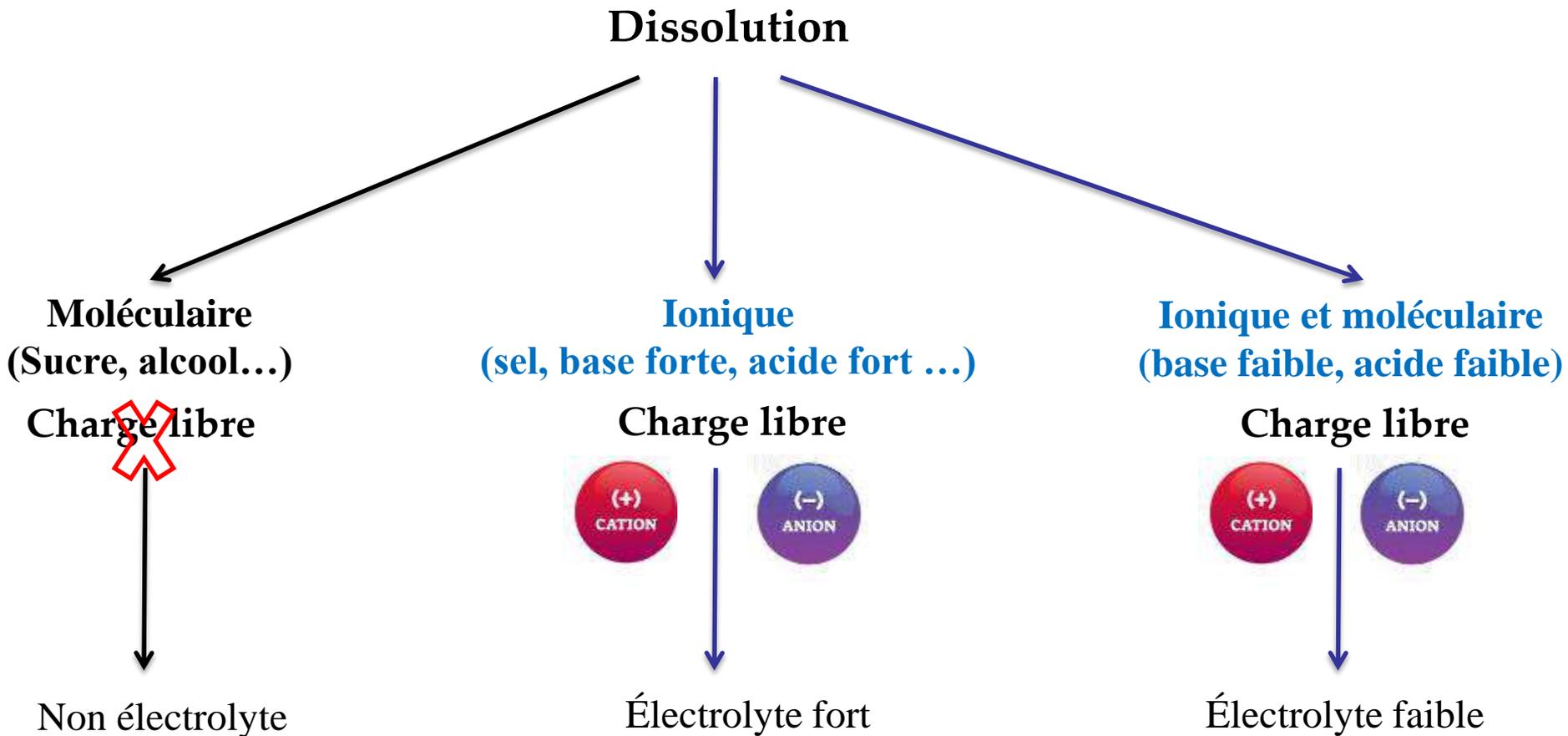


Électrolytes forts : des matières qui se dissocient complètement dans l'eau donnant des solutions de bonne conductivité électrique (comme les sels, les bases et les acides forts).



Électrolytes faibles : des matières qui se dissocient partiellement dans l'eau donnant des solutions de faible conductivité électrique (comme les bases et les acides faibles).





EXERCICE

Ecrire les équations de dissolutions des composés suivants:

- FeCl_2 Chlorure de fer
- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ Sulfate d'aluminium
- Al_2S_3 Sulfure d'aluminium
- Na_2SO_4 Sulfate de sodium
- $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ Sulfate de chrome
- H_2SO_4 Acide sulfurique

Molarité

Concentration molaire (molarité) : nombre de moles de soluté par litre de solution

$$C_m = \frac{n}{v} \text{ (mol.l}^{-1}\text{)}$$

Osmolarité:

L'osmolarité (ω) est le nombre de moles de particules (molécules et ions) dissoutes dans un litre de solution, l'osmolarité (ω) est exprimée en osmol/ L.



Exercice 1:

Déterminer la molarité de chacune des solutions suivantes:

- 166 g de KI par litre de solution; Rép : 1M
- 33 g de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dans 200mL de solution; Rép: 1,25M

$M(\text{K})=39 \text{ g/mol}$; $M(\text{I})= 126 \text{ g/mol}$; $M(\text{N})=14\text{g/mol}$; $M(\text{S})=32 \text{ g/mol}$; $M(\text{O})=16\text{g/mol}$

Exercice 2:

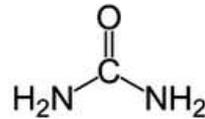
Dans un récipient contenant 1 L d'eau, on ajoute :

5,85g de NaCl ;

3,28g de Na_3PO_4 ;

9 g de glucose ($M=180$)

0,6 g d'urée ($M=60$)



$M(\text{Cl})=35 \text{ g/mol}$; $M(\text{P})= 30 \text{ g/mol}$; $M(\text{Na})= 23 \text{ g/mol}$; $M(\text{O})=16 \text{ g/mol}$

Calculer la molarité et l'osmolarité de la solution obtenue.

CONCENTRATION MOLALE (Molalité)

C'est le nombre de mole de soluté dissoute dans un kilogramme de solvant (mol/kg).

$$C = \frac{n}{\text{Masse du solvant}} \quad (\text{mol/kg})$$



EXERCICE

On dissout dans l'eau 187,6 g de $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ et on ajuste la solution à un volume

$V = 1 \text{ L}$, la masse volumique d'une telle solution est $\rho = 1,172 \text{ kg.L}^{-1}$

* donnés: **Cr=52 g/mol ; S= 32g/mol ; O=16 g/mol**

1. Déterminer la molarité initiale de la solution
2. Déterminer la molalité initiale de la solution.

Déterminons la masse molaire de $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$

$$M(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3) = 2 \times 52 + 3 \times (32 + 4 \times 16) = 392 \text{ g.mol}^{-1}$$

La quantité de matière dissoute en soluté est:

$$n(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{187,6}{392} = 0,479 \text{ mol}$$

La molarité est donc $C = \frac{187,6}{392} = 0,479 \text{ mol.l}^{-1}$

La molalité correspond au nombre de moles de soluté par Kg de solvant

Dans un litre de solution, il y a $1172 - 187,6 = 984 \text{ g}$ d'eau. La molalité est donc

$$C = \frac{0,479}{0,9844} = 0,487 \text{ mol.kg}^{-1}$$

Concentration équivalente (C_{eq})

La concentration équivalente est le nombre d'équivalent-gramme par litre de solution,
La concentration équivalente, $C_{eq}(i)$, d'une espèce ionique i de valence Z_i , en concentration molaire C_i :

$$C_{eq(i)} = C_i \cdot |Z_i| \text{ en } (eq. l^{-1})$$

Pour une solution contenant plusieurs espèces ioniques différentes, la concentration équivalente est égale à la somme des concentrations équivalentes des formes anioniques et cationiques :

$$C_{éq} = \sum_i C_i^- |Z_i^-| + \sum_j C_j^+ |Z_j^+|$$

D'après le principe de l'électro-neutralité, on a :
$$\sum_i C_i^- |z_i^-| = \sum_j C_j^+ |z_j^+|$$

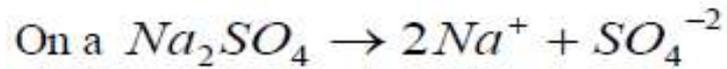
et on en déduit que
$$C_{\text{éq}} = 2 \sum_i C_i^- |z_i^-| = 2 \sum_j C_j^+ |z_j^+|$$



EXERCICE

Considérons une solution de Na_2SO_4 obtenue après dissolution d'une masse $m=14,2$ g de cristaux Na_2SO_4 dans 500 ml litre d'eau; $M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142$ g/mol

Calculer la concentration équivalente de la solution.



La concentration molaire de soluté Na_2SO_4 est donnée par

$$C_{M_{Na_2SO_4}} = \frac{n_{Na_2SO_4}}{V} = \frac{m_{Na_2SO_4}/M_{Na_2SO_4}}{V} = \frac{14,2/142}{0,5} = 0,2 \text{ mol.l}^{-1}.$$

Et par définition, la concentration équivalente de la solution est donnée également par

$$C_{\text{éq}_{Na_2SO_4}} = C_{\text{éq}_{Na^+}} + C_{\text{éq}_{SO_4^{-2}}} = C_{M_{Na^+}} |Z_{Na^+}| + C_{M_{SO_4^{-2}}} |Z_{SO_4^{-2}}|.$$

Avec

$$C_{M_{Na^+}} = 2C_{M_{Na_2SO_4}} = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ mol.l}^{-1}, \quad Z_{Na^+} = +1$$

$$C_{M_{SO_4^{-2}}} = C_{M_{Na^+}} = C_{M_{Na_2SO_4}} = 0,2 \text{ mol.l}^{-1}, \quad Z_{SO_4^{-2}} = -2$$

Application numérique: $C_{\text{éq}_{Na_2SO_4}} = 0,4|+1| + 0,2|-2| = 0,8 \text{ Eq.l}^{-1}.$

Loi de dilution d'Ostwald

1- Degré de dissociation

La dissociation partielle ou totale d'un soluté dans l'eau est parfaitement définie par le degré de dissociation α comme suit:

$$\alpha = \frac{\text{nombre de molécules dissociées}}{\text{nombre de molécules initiales}} \quad 0 \ll \alpha \ll 1$$

Selon les valeurs du degré de dissociation, on peut distinguer trois cas particuliers :

⊕ si $\alpha=0$ (cas du glucose) ; on déduit directement que l'osmolarité est égale à la molarité: $\omega = C_M$

⊕ si $\alpha=1$; dissociation totale, on déduit que $\omega = \beta C_M$

⊕ si $0 < \alpha < 1$; Lorsque, nous aurons une **dissociation partielle** telle que CH_3COOH

Dans ce cas, l'expression générale de la concentration osmolaire de la solution devient :

$$\omega = C_M (1 + \alpha(\beta - 1))$$

où β représente le nombre des ions créés par la dissociation.

EXERCICE

On considère une solution d'acide benzoïque C_6H_5COOH (électrolyte faible) de concentration apportée $C = 10^{-2}$ mol/l.

Le taux de dissociation de cet acide dans l'eau est $\alpha = 7,9 \%$ ($\alpha=0,079$). La réaction de cet acide avec l'eau est donnée par l'équation :



1. Calculer l'osmolarité de cette solution.

$$W = 10,0079 \text{ mosmol/l}$$

Loi de dilution d'Ostwald

2- Coefficient d'ionisation de Van't Hoof

Le coefficient d'ionisation i d'un électrolyte fort est égal au rapport entre le nombre de particules obtenues durant la dissociation et le nombre de molécules initiales introduites dans le solvant, soit:

$$i = \frac{\text{nbr de particules}}{\text{nbr de molécules}} = \frac{\text{osmolarité}}{\text{molarité}} = \frac{\omega}{C_M}$$

(ω en osmol.L^{-1} , C en mol.L^{-1} et i sans unité)

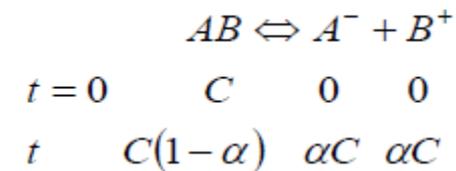
Une autre expression du coefficient d'ionisation décrit le cas des électrolytes faibles:

$$i = \frac{\omega}{C_M} = 1 + \alpha(\beta - 1)$$

Loi de dilution d'Ostwald

3- Constante d'Ostwald (constante d'équilibre)

Pour un électrolyte faible binaire du type AB :



La constante d'Ostwald K est définie par le quotient

$$K = \frac{[A^-][B^+]}{[AB]} = \frac{\alpha^2 C}{1-\alpha}$$

Si $\alpha \ll 1$, on peut écrire $K = \alpha^2 C \Rightarrow \alpha = \sqrt{K/C}$

sinon $\alpha^2 C + K\alpha - K = 0$

Si on effectue des dilutions alors $C \longrightarrow 0$.

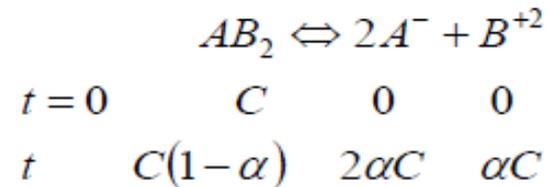
De $K = C \frac{\alpha^2}{\alpha - 1}$, on déduit que $\frac{K}{C} = \frac{\alpha^2}{\alpha - 1} \longrightarrow \infty$ soit $\alpha \longrightarrow 1$.

On trouve la loi de dilution d'Ostwald : lorsque la dilution devient infinie (la concentration C tend vers zéro), le taux de dissociation α tend vers 1 (l'électrolyte faible tend vers un électrolyte fort).

Loi de dilution d'Ostwald

3- Constante d'Ostwald (constante d'équilibre)

Pour un électrolyte faible du type AB_2



Dans ce cas, la constante d'Ostwald est égale à

$$K = \frac{[A^-]^2 [B^{+2}]}{[AB_2]} = \frac{4\alpha^3 C^2}{1-\alpha}$$

pour un électrolyte faible, α croit lorsque C diminue, et ainsi à forte dilution il se comportera comme un électrolyte fort.

lorsque la dilution devient infinie (la concentration C tend vers zéro), le taux de dissociation α tend vers 1 (l'électrolyte faible tend vers un électrolyte fort).

Mobilité ionique

En appliquant une différence de potentiel U entre deux électrodes distantes de d , on crée un champ électrique E :

$$E = \frac{U}{d}$$

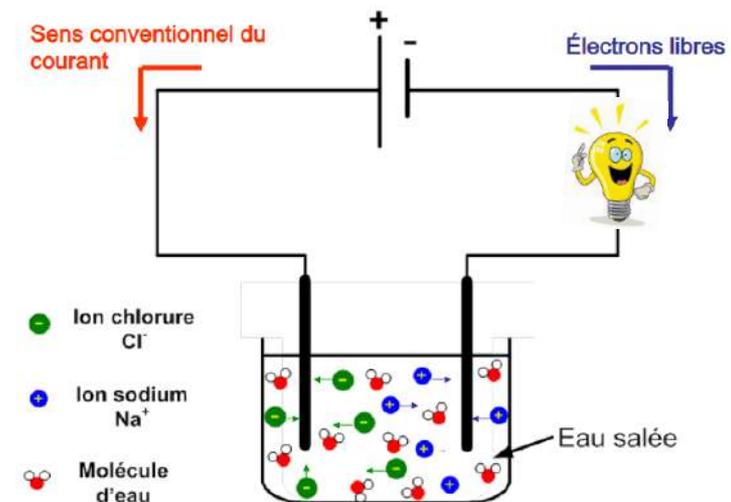
E : en $V.m^{-1}$, U : volte (V), d : m

La vitesse par unité de champ électrique est définie comme étant la mobilité de l'ion.

$$u_i = \frac{v}{E}$$

Où:

- v : représente la vitesse de l'ion en $m.s^{-1}$
- E : champ électrique en volte ($V.m^{-1}$)
- μ : mobilité ionique en $m^2.V^{-1}.s^{-1}$



On désigne par μ^- la mobilité des anions et par μ^+ celle des cations

Conductivité

1- la conductivité molaire d'un ion:

la conductivité molaire Λ_i d'un ion "i" :

$$\Lambda_i = |z_i| |\mu_i| \mathcal{F} \quad \Lambda_i \text{ en } \dot{\text{S}} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$$

2- la conductivité totale:

la conductivité totale est égale à la somme des contributions de tous les ions

$$\gamma = \sum_i \gamma_i = \sum_i C_i \Lambda_i$$

Dans le système S.I. : γ s'exprime en $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$, C_i en $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$, μ_i en $\text{m}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ et Λ_i en $\text{S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$.

Conductivités ioniques molaires et mobilités ioniques

Ion		Données à 298 K (25°C)		
		Conductivités ioniques molaires ⁽¹⁾ / mS.m ² .mol ⁻¹ , à 25°C		Mobilités ioniques / m ² .V ⁻¹ .s ⁻¹ , à 25°C
		λ°	$\lambda^\circ \cdot z ^{-1}$	μ°
Acétate	CH ₃ CO ₂ ⁻	4,09	4,09	42,4.10 ⁻⁹
Ammonium	NH ₄ ⁺	7,345	7,345	76,1.10 ⁻⁹
Argent	Ag ⁺	6,19	6,19	64,2.10 ⁻⁹
Baryum	Ba ²⁺	12,73	6,36	66.10 ⁻⁹
Benzoate	C ₆ H ₅ COO ⁻	3,235	3,235	33,5.10 ⁻⁹
Bromure	Br ⁻	7,83	7,83	81,15.10 ⁻⁹
Calcium	Ca ²⁺	11,9	5,95	61,65.10 ⁻⁹
Carbonate	CO ₃ ²⁻	13,86	6,93	71,8.10 ⁻⁹
Chlorure	Cl ⁻	7,63	7,63	79,1.10 ⁻⁹
Cuivre(II)	Cu ²⁺	10,76	5,38	55,75.10 ⁻⁹
Fer(II)	Fe ²⁺	10,8	5,4	55,85.10 ⁻⁹
Fer(III)	Fe ³⁺	20,4	6,8	70,5.10 ⁻⁹
Fluorure	F ⁻	5,54	5,54	57,4.10 ⁻⁹
Formiate	HCOO ⁻	5,46	5,46	56,6.10 ⁻⁹
Hydrogéoarbonate	HCO ₃ ²⁻	4,45	4,45	46,1.10 ⁻⁹
Dihydrogénophosphate	H ₂ PO ₄ ⁻	3,3	3,3	34,2.10 ⁻⁹

EXERCICE

- 1- Écrire l'équation bilan de la dissolution du fluorure de calcium CaF_2 dans l'eau.
 - 2- Calculer sa conductivité molaire à 18°
 - 3- La conductivité à 18° d'une solution saturée de fluorure de calcium est de $3,71 \text{ mS.m}^{-1}$.
- Déduire les concentrations molaires des ions de la solution à 18°

On donne : $\Lambda_{\text{F}^-} = 4,04 \text{ mS.m}^2 \text{ mol}^{-1}$, $\Lambda_{\text{Ca}^{+2}} = 10,5 \text{ mS.m}^2 \text{ mol}^{-1}$.



Université Cadi Ayyad
Faculté Polydisciplinaire de Safi
Département Biologie



Module: Biophysique

SVI, Semestre 3, 2020/2021

Pr. Taoufiq Benali

Chapitre 2

ETUDE DES INTERFACES SOLIDES-LIQUIDES,

Viscosité

Définition

L'eau, l'huile, le miel coulent différemment:

- L'eau coule vite mais avec des tourbillons
- Le miel coule lentement mais de façon bien régulière



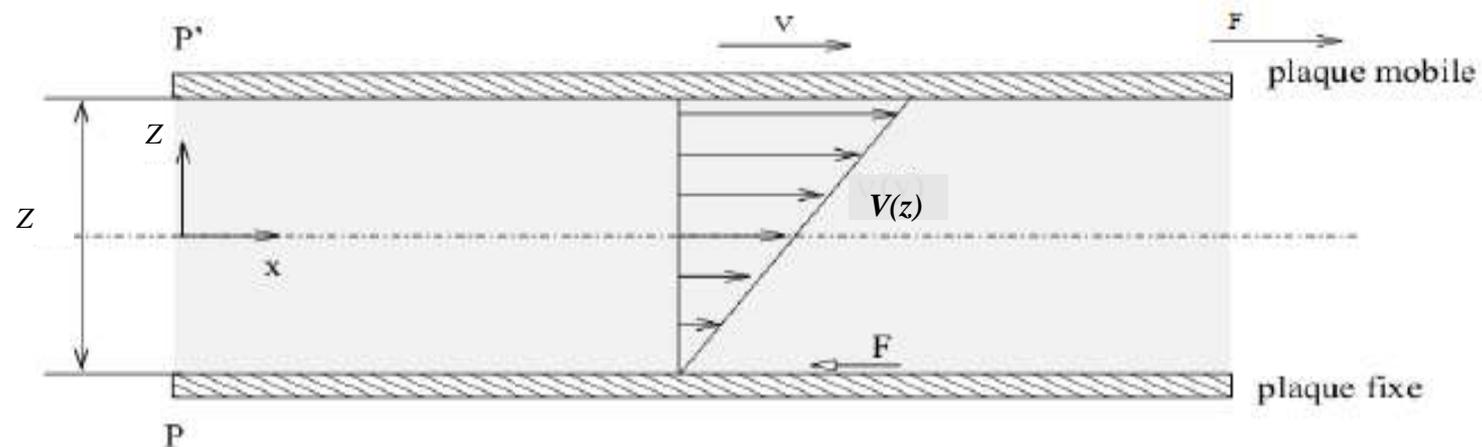
- ⊕ La viscosité peut être définie comme la résistance à l'écoulement uniforme et sans turbulence se produisant dans la masse d'une matière.
- ⊕ La viscosité se manifeste chaque fois que les couches voisines d'un même fluide sont en mouvement relatif, c'est à dire lorsqu'il **s'établit un gradient de vitesse**.
- ⊕ Elle est l'expression des forces mécaniques de frottement à l'intérieur du fluide et des forces de liaisons intermoléculaires qu'il faut rompre pour mobiliser les unes par rapport aux autres molécules d'un fluide en écoulement.

On peut donc dire de la viscosité qu'elle est la mesure du frottement fluide.

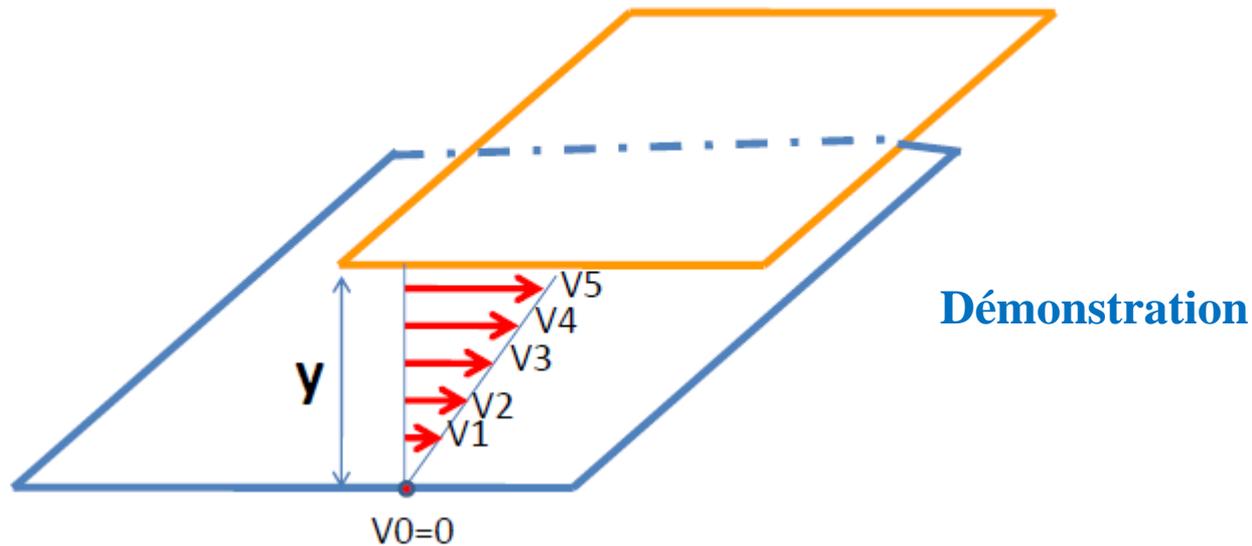
Viscosité

Définition Macroscopique

Lors de l'écoulement d'un fluide, la distribution des vitesses n'est pas uniforme. Il en résulte un effort de *cisaillement* entre lames d'eau adjacentes. La force requise pour permettre à deux lames d'eau de glisser l'une sur l'autre est proportionnelle à la différence de leurs vitesses respectives dv . Le coefficient par lequel s'exprime cette proportionnalité est la **viscosité**. Elle caractérise la résistance du fluide au cisaillement et peut être considérée comme une *friction interne*.



Frottement entre deux couches de fluide adjacentes



- ⊕ La viscosité peut donc être considérée comme le frottement interne qui résulte du glissement d'une couche de fluide sur une autre.
- ⊕ Un liquide très visqueux est un liquide qui présente un frottement interne élevé.

Viscosité

L'effort de cisaillement peut s'écrire de la manière suivante :

$$\tau = \frac{F_T}{S} = \eta \frac{dv}{dz} \quad [\text{Pa}]$$

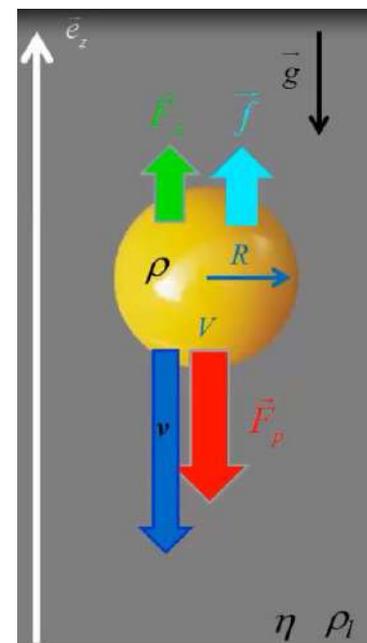
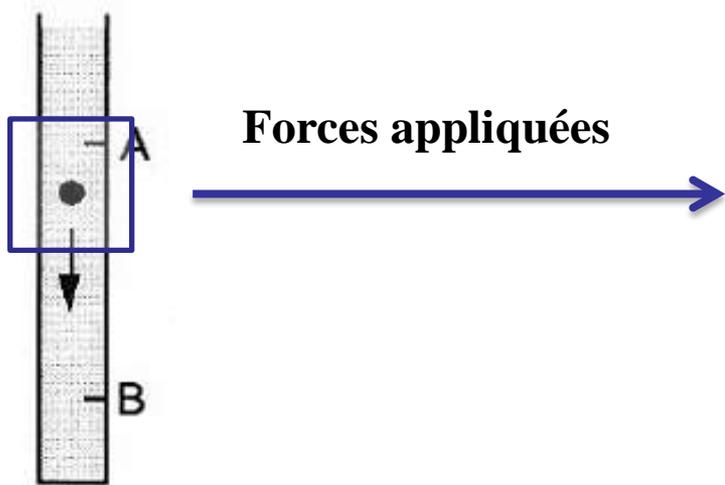
La contrainte tangentielle τ est exprimée par la force de frottement F_T par unité de surface de contact S . Cette force est proportionnelle au gradient transversal de vitesse. La **viscosité dynamique** η , qui s'exprime en Ns/m^2 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$) dans le système international, est ainsi définie comme la contrainte tangentielle qu'il faut appliquer pour maintenir un gradient de vitesse de 1 m/s par m, perpendiculairement au plan de glissement.

Viscosité

On fait chuter une bille dans un fluide visqueux contenu dans une éprouvette graduée de diamètre très grand devant celui de la bille.

Si la viscosité est suffisante, la bille atteint très rapidement une vitesse limite de chute constante v_{LIM} et cette vitesse est assez faible pour que la force de frottement soit décrite par la loi de Stokes :

$$F = 6\pi R\eta v_{LIM}$$



La poussée d'Archimède

Les frottement suivant la loi de Stokes

Le poids de la bille

Viscosité

La bille est en outre soumise à son poids et à la poussée d'Archimède. La **2ème loi de Newton** se traduit donc, lorsqu'il n'y a plus d'accélération, par

$$6\pi R\eta v_{LIM} = \frac{4}{3}\pi R^3 (\mu_{BILLE} - \mu_{LIQ}) g$$

On en déduit:

$$\eta = \frac{2R^2}{9v_{LIM}} (\mu_{BILLE} - \mu_{LIQ}) g$$

$g=9,8 \text{ m/s}^2$.

η : viscosité dynamique en *Pa.s* ou en *poise* (1 *poise* = 10^{-1}Pa.s).

R: en m

μ : en kg/m^3

v_{LIM} : en m/s



Viscosité cinématique de quelques fluides en fonction de la température

Température [°C]	Eau $\cdot 10^{-6}$ [m ² /s]	Mercure $\cdot 10^{-6}$ [m ² /s]	Ethyl-alcool $\cdot 10^{-6}$ [m ² /s]	Air (sec) $\cdot 10^{-6}$ [m ² /s]
0	1.787	0.124	2.199	13.210
10	1.307	0.119	1.837	14.186
20	1.004	0.115	1.520	15.087
30	0.802	0.111	1.284	15.983
40	0.658	0.107	-	16.879
50	0.554	0.104	-	-

Si l'on souhaite comparer le degré de viscosité de divers fluides, il faut s'affranchir de l'influence qu'exerce la gravité, au travers de la masse volumique des fluides, sur l'intensité du cisaillement. La viscosité cinématique η_k d'un fluide est de ce fait définie comme le rapport de sa viscosité dynamique à sa masse volumique :

$$\eta_k = \frac{\eta}{\rho} \quad [\text{m}^2/\text{s}]$$

Viscosité

La viscosité du sang:

La viscosité du sang varie en fonction de la concentration en globules rouges (hématocrite).

En absence de cellules sanguines, le sérum (obtenu après coagulation) ou le plasma (obtenu par centrifugation) ont une viscosité proche de celle de l'eau à 20°C :

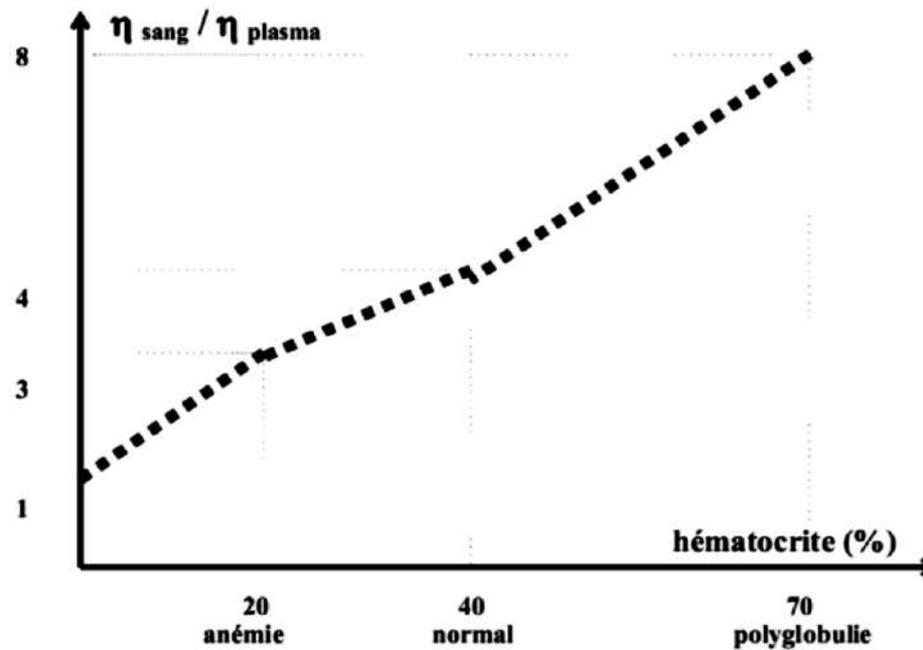
-viscosité du sérum : $1,1 - 1,3 \cdot 10^{-3}$ Pa.s

-Viscosité du plasma : $1,4 \cdot 10^{-3}$ Pa.s

Viscosité

La viscosité du sang:

Pour le sang total, il existe une relation entre la viscosité et l'hématocrite:



Viscosité

La viscosité du sang:

Dans les **situations pathologiques**, et notamment en cas de **polyglobulie**, la viscosité sanguine peut devenir très élevée, avec comme conséquence une augmentation parallèle des résistances mécaniques, étant donné que la viscosité intervient directement dans l'expression de la résistance mécanique. Ces phénomènes peuvent avoir des conséquences graves sur la perfusion sanguine des tissus et sur l'apport d'oxygène par la circulation

Polyglobulie : Hématocrite \nearrow \rightarrow viscosité \nearrow \rightarrow vitesse \searrow \rightarrow flux \searrow \rightarrow temps de circulation de sang \nearrow

Anémie : Hématocrite \searrow \rightarrow viscosité \searrow \rightarrow vitesse \nearrow \rightarrow flux \nearrow \rightarrow temps de circulation de sang \searrow

Loi de Poiseuille

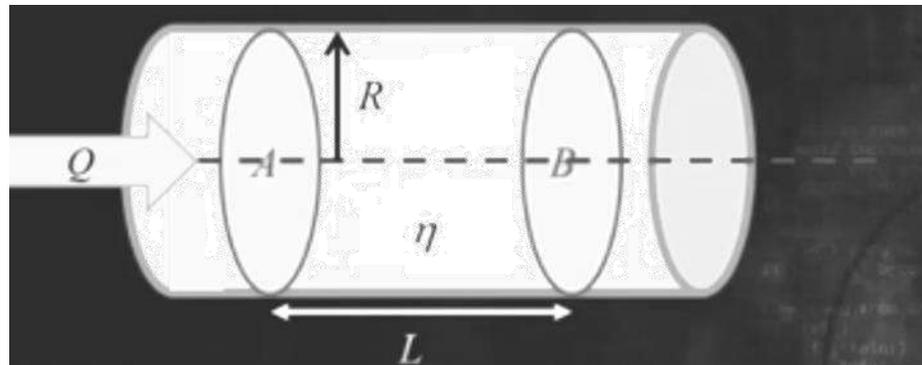
$$\Pi = R_p \times Q$$

Π : perte de charge (différence de pression) en Pa.

Q : le débit en m^3/s

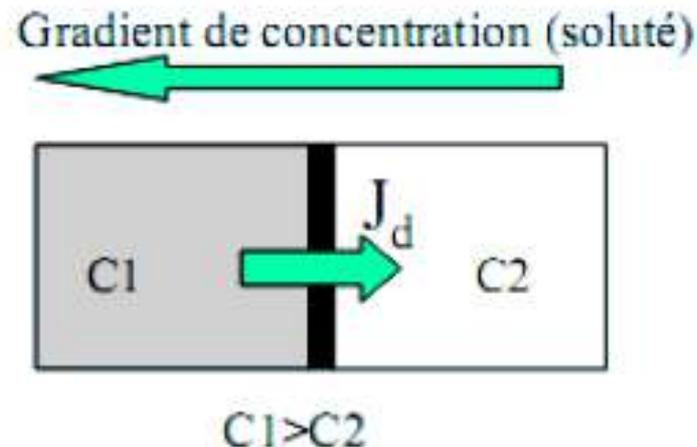
R_p : la résistance de poiseuille (résistance hydraulique) en $Pa.s.m^{-3}$

$$R_p = 8 \eta L / (\pi r^4)$$



Diffusion du soluté à travers les membranes

La diffusion est connue comme un moyen d'échange des molécules de soluté d'un compartiment à l'autre à travers une membrane. Elle tend à uniformiser la distribution des particules (des ions ou des molécules non dissociables), donc s'effectuant dans le sens des concentrations décroissantes et alors les particules se déplacent d'une région de forte concentration vers une région de faible concentration.



Diffusion du soluté à travers les membranes

Première loi de Fick

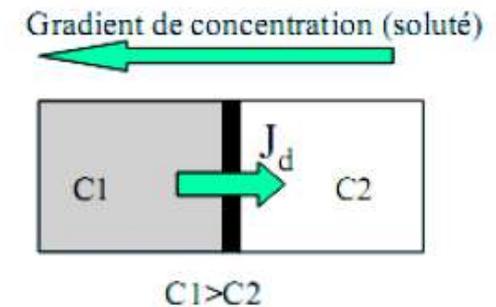
On appelle le **débit molaire diffusif du soluté** J_D le transfert molaire du soluté considéré qui correspond au nombre de moles n traversant une membrane de surface S dans un temps dt

$$J_D = \frac{dn}{dt}$$

Il est donné par la première loi de Fick comme suit :

A une dimension :

$$J_D = \frac{dn}{dt} = -DS_p \frac{dC}{dx} \quad (\text{mol.s}^{-1})$$



Et le signe (-) exprime que le transfert diffusif **se fait vers les concentrations les plus faibles**.

Avec D (m^2/s) est le **coefficient de diffusion** des molécules du soluté dans la solution.

Et S_p représente la **surface totale des pores** perméables au soluté, qui peut être donnée par l'expression suivante:

$$S_p = N\pi a^2 = pS\pi a^2$$

Où N est le **nombre total de pores**, a : le **rayon** des pores, p : le **nombre de pores par unité de surface** et S : la **surface totale de la membrane**.

Diffusion du soluté à travers les membranes

Première loi de Fick

l'expression de flux molaire à une dimension est donnée par :

$$J = \frac{J_D}{S_p} = -D \frac{dC}{dx} \quad (\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1})$$

Deuxième loi de Fick

Au cours de la migration moléculaire à travers les pores de la membrane, la concentration unidimensionnelle $C(x,t)$ en un point quelconque du système dépend de la position x et aussi du temps t et elle est une solution de l'équation du second ordre par rapport à la position, qui est donnée par la deuxième loi de Fick

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial J}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Coefficient de diffusion

Comme le coefficient de diffusion D joue un rôle primordial dans le phénomène de diffusion, il est commode d'étudier explicitement l'expression de ce coefficient qui est donné par :

$$D = RTb \quad \text{Où } R = 8,31 [J.K^{-1}.mol^{-1}], T[K] \text{ et } b[s.kg^{-1}]$$

représentent respectivement le **coefficient** de gaz parfaits, la **température** et la **mobilité** **mécanique molaire**.

Lorsqu'on considère une particule sphérique de rayon r (en m) dans un milieu de viscosité η (en $pa.s$), l'équation de la mobilité mécanique devient comme : $b^{-1} = N_A 6\pi\eta r$

Avec $N_A = 6,023 \times 10^{23}$ est le nombre d'Avogadro.

Qui peut nous mener à une nouvelle expression de coefficient de diffusion comme

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta r}$$

$$k_B = R / N_A = 1,38.10^{-23} [J.K^{-1}] \quad (k_B \text{ représente la constante de Boltzmann})$$

Pression osmotique

L'osmose:

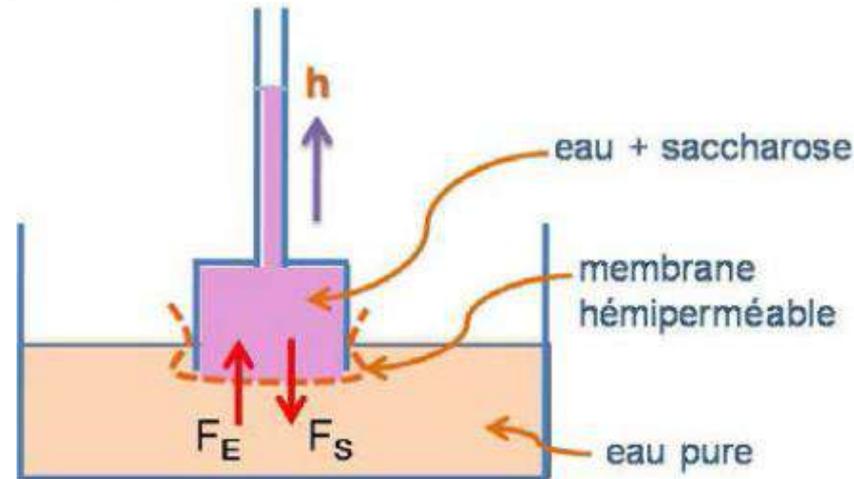
correspond au passage d'un solvant à travers une membrane hémiperméable d'un milieu hypotonique vers un autre hypertonique.

- L'existence du flux indique que le *système n'est pas en équilibre*
- On pourrait rétablir cet équilibre en exerçant sur la solution une pression hydrostatique suffisante *pour annuler le flux de solvant* .
- ⊕ Afin d'empêcher une telle migration on doit fournir une pression supplémentaire , appelée **pression osmotique**, égale à la valeur de la pression hydrostatique s'opposant au phénomène . (En d'autres termes la pression osmotique est la pression hydrostatique qu'il faudrait exercer sur la solution pour empêcher le solvant pur de traverser la membrane qui sépare les 2 phases).

Pression osmotique

Mise en évidence

Dutrochet (1826) en proposant un appareil (osmomètre) constitué d'un réservoir de verre rempli d'une solution (eau + soluté) colorée (sorte de cylindre vertical dont la base est obturée par une membrane **hémiperméable**, donc imperméable au soluté : seul le solvant peut diffuser dans les deux sens, et dont la partie supérieure est reliée à un long tube vertical de petit calibre) et plongé dans un cristalliseur contenant de l'eau.



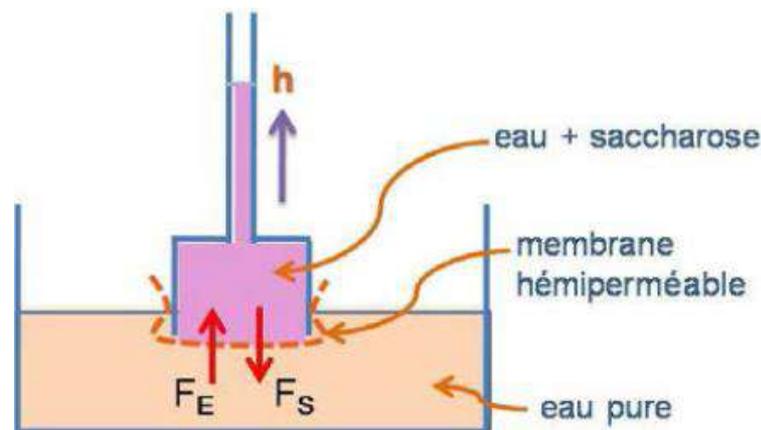
Au départ, le flux de solvant entrant F_e est très supérieur au flux sortant F_s , puis on atteint l'équilibre. A ce moment la pression hydrostatique est égale à la pression osmotique $p = h\rho g$

Pression osmotique

Donc la pression osmotique d'une solution est la pression hydrostatique qu'il faudrait exercer sur la solution pour empêcher le solvant pur de traverser la membrane. Elle est établie empiriquement à partir de nombreuses études expérimentales et finalement exprimées sous forme théorique par Vant'Hoff.

$$\pi = iC_m RT \quad \text{en } [Pa] \text{ ou } [N/m^2]$$

Avec : i est le coefficient d'ionisation qui peut être donné par $i=1+\alpha(\beta-1)$ pour un électrolyte faible et pour un électrolyte fort. $i=\beta$





Université Cadi Ayyad
Faculté Polydisciplinaire de Safi
Département Biologie



Module: Biophysique

SVI, Semestre 3, 2020/2021

Pr. Taoufiq Benali

Chapitre 3

ETUDE DES INTERFACES LIQUIDES-GAZ

La tension superficielle



Forme des gouttes d'eau



Déplacement de l'araignée d'eau



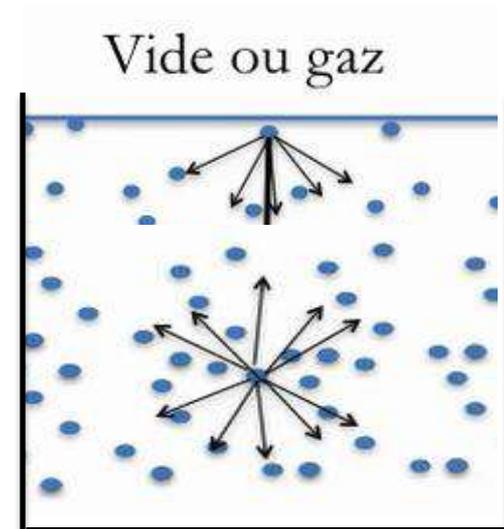
La surface de fluides présente une **certaine cohésion**. Elle tend vers une **surface minimale**, un peu comme l'enveloppe élastique d'un ballon

La tension superficielle

Origine des phénomènes de la tension superficielle

Au sein d'un fluide : $\vec{F} = \Sigma \vec{f} = \vec{0}$

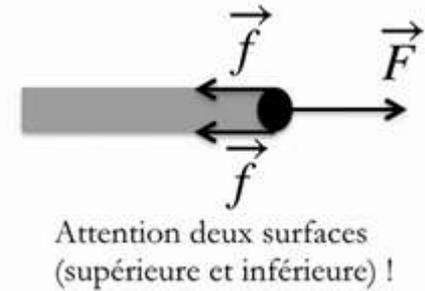
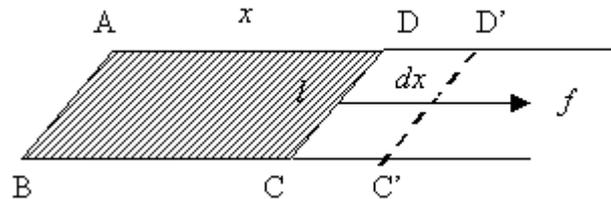
En surface: $\vec{F} = \Sigma \vec{f} \neq \vec{0}$



Toute surface libre de liquide aura tendance à contracter le fluide

La tension superficielle

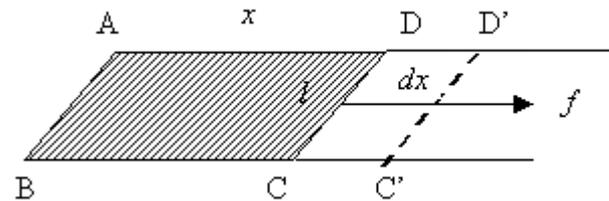
Supposons une lame de savon formée dans un fin cadre métallique ABCD dont l'un des côtés CD est mobile.



La surface totale de la lame, compte tenu de ses deux faces est $2 \cdot x \cdot l$. La lame a tendance à se rétracter ; pour maintenir sa surface constante, il faut exercer sur CD une force f . $f = 2 \sigma l$ (N),

La tension superficielle est définie de façon statique par : $\sigma = f / 2l$ (N/m)

La tension superficielle



Pour déplacer le côté CD d'une longueur dx il faut fournir le travail dW

$$dW = F \cdot dx$$

Ce déplacement correspond à un accroissement de la surface de liquide de:

$$dS = 2 \cdot l \cdot dx$$

Le travail fourni par unité de surface sera donc:

$$\frac{dW}{dS} = \frac{F \cdot dx}{2 \cdot l \cdot dx} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot l \cdot dx}{2 \cdot l \cdot dx} = \sigma$$

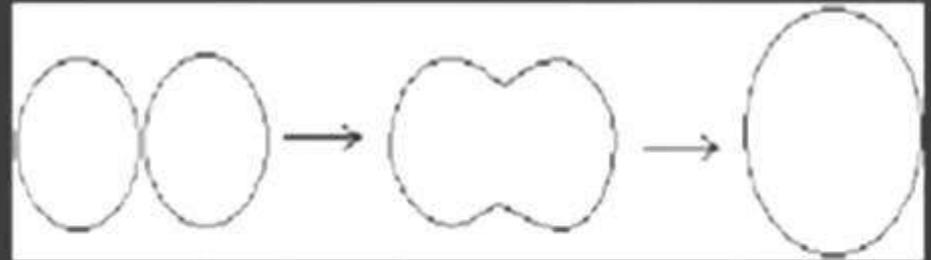
$$\sigma = W/S \text{ (J/m}^2\text{) ou (N/m)}$$

La tension superficielle

Or une condition de stabilité d'équilibre est que l'énergie potentielle soit la plus basse possible Il s'ensuit que:

La surface libre d'un liquide se place naturellement pour être la plus petite possible.

La tension superficielle



Réunion de deux gouttes pour réduire la surface et donc l'énergie

Exemple 1 : *Pourquoi les gouttes sont-elles sphériques?*

Parce que, pour un volume de liquide donné, c'est cette forme qui donne une enveloppe de surface minimale.

Exemple 2 : *pourquoi, lorsqu'on rapproche deux gouttes d'eau, celles-ci se fondent-elles en une seule ?*

Si les deux gouttelettes se rencontrent, elles ont donc tendance à fusionner pour minimiser leur surface.

La tension superficielle

La tension superficielle est une propriété des liquides qui permet de maintenir en équilibre leur surface libre.

La tension superficielle de certains liquides

Liquide	T(°C)	Tension superficielle σ (N.m ⁻¹)
Alcool éthylique	20	$2,23 \cdot 10^{-2}$
Huile d'olive	20	$3,20 \cdot 10^{-2}$
Glycérine	20	$6,31 \cdot 10^{-2}$
Eau	0	$7,56 \cdot 10^{-2}$
Eau	20	$7,28 \cdot 10^{-2}$
Eau	100	$5,89 \cdot 10^{-2}$
Eau savonneuse	20	$2,50 \cdot 10^{-2}$
Mercure	20	$4,65 \cdot 10^{-1}$

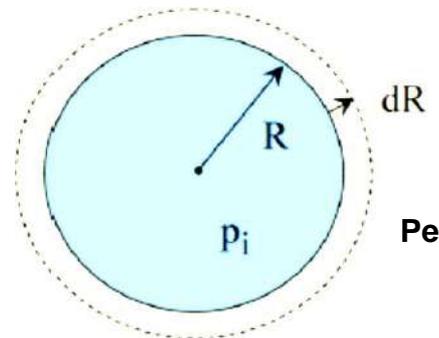
La tension superficielle

Loi de LAPLACE

Soit une membrane sphérique remplie d'un liquide. La résultante de toutes les forces de tension superficielle a pour effet d'exercer une compression de façon à réduire la surface de la sphère.

Il existe donc une surpression à l'intérieur de la sphère

L'existence de cette bulle suggère que la pression interne P_i est supérieure à la pression externe P_e . Calculons $P_i - P_e$ en prenant un élément de surface de la bulle.



La tension superficielle

Loi de LAPLACE

La loi de Laplace permet de calculer la différence $P_i - P_e = \Delta p$ en fonction de R et de σ .

Si on augmente le rayon R de la goutte de dR , son volume augmente de $S \cdot dR = 4\pi R^2 dR$ où S est la surface de la goutte.

Travail des forces de pression au cours de cette opération :

$$dW_e = - P_e 4\pi R^2 dR$$

$$dW_i = P_i 4\pi R^2 dR$$

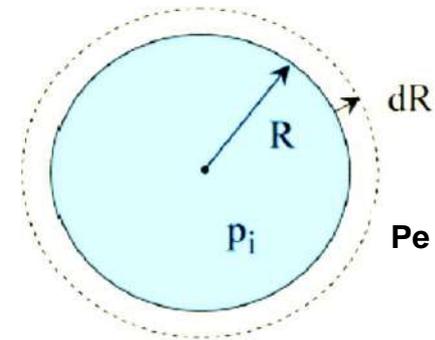
Le travail total est donc : $dW = (P_i - P_e) 4\pi R^2 dR$

Ce travail est égal à celui des forces de tension de surface : $dW = \sigma dS$

La surface d'une sphère vaut : $S = 4\pi R^2$

Son augmentation dS est égale à : $dS = 8\pi R dR$.

Il s'ensuit
$$\Delta p = P_i - P_e = \frac{2\sigma}{R}$$

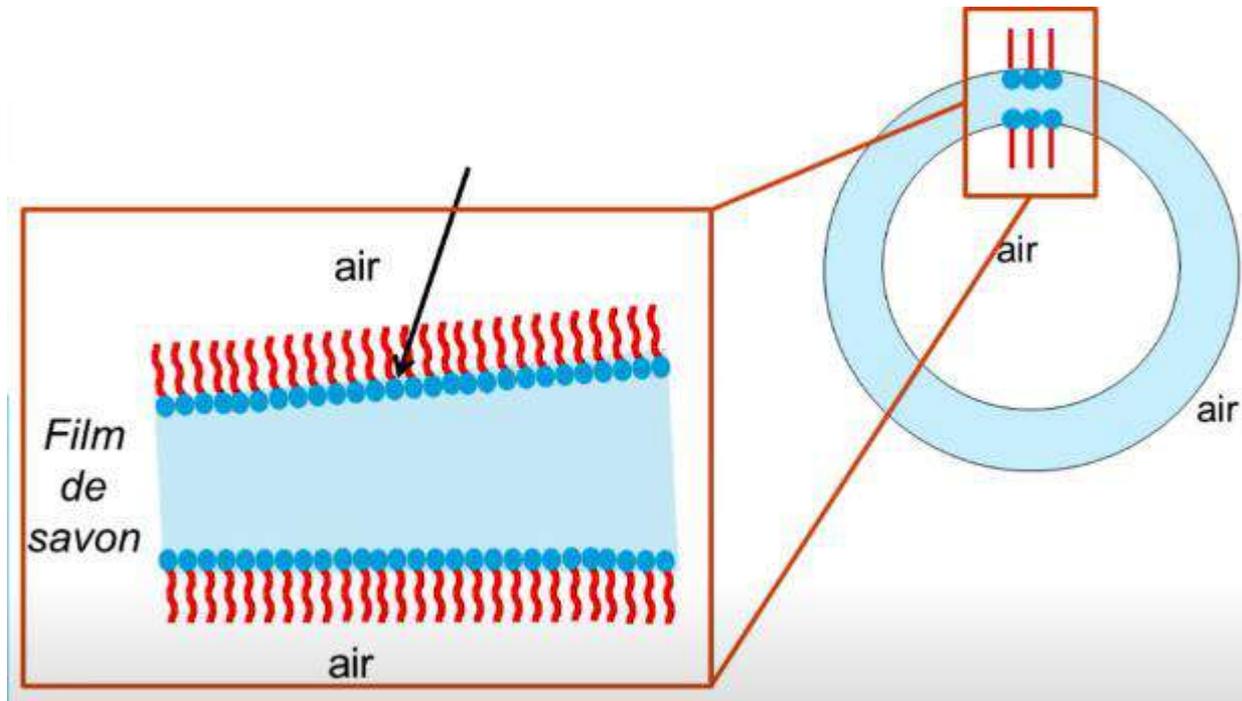


La surpression Δp est une fonction inverse du rayon de la goutte

La tension superficielle

Application : Bulle de savon

Une bulle de savon est un film sphérique mince possédant deux surfaces de séparation



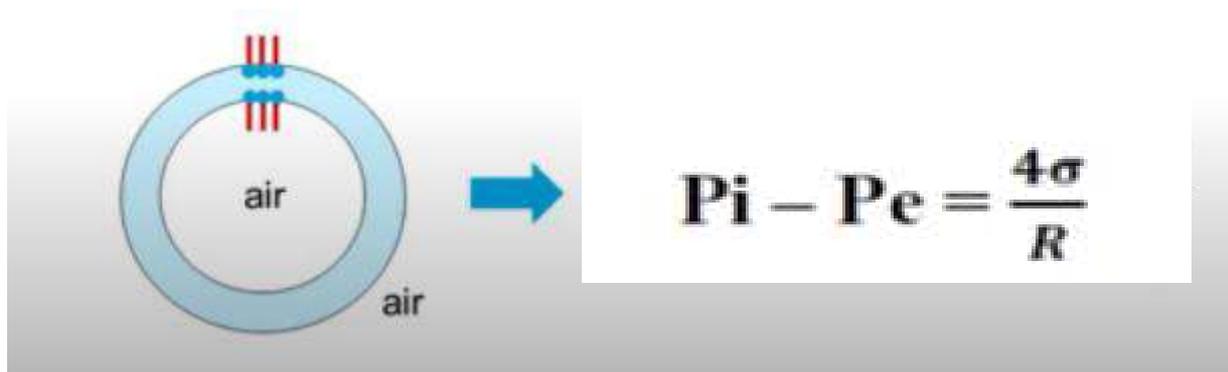
Membrane d'une bulle de savon

La tension superficielle

Application : Bulle de savon

Une bulle de savon est un film sphérique mince possédant deux surfaces de séparation

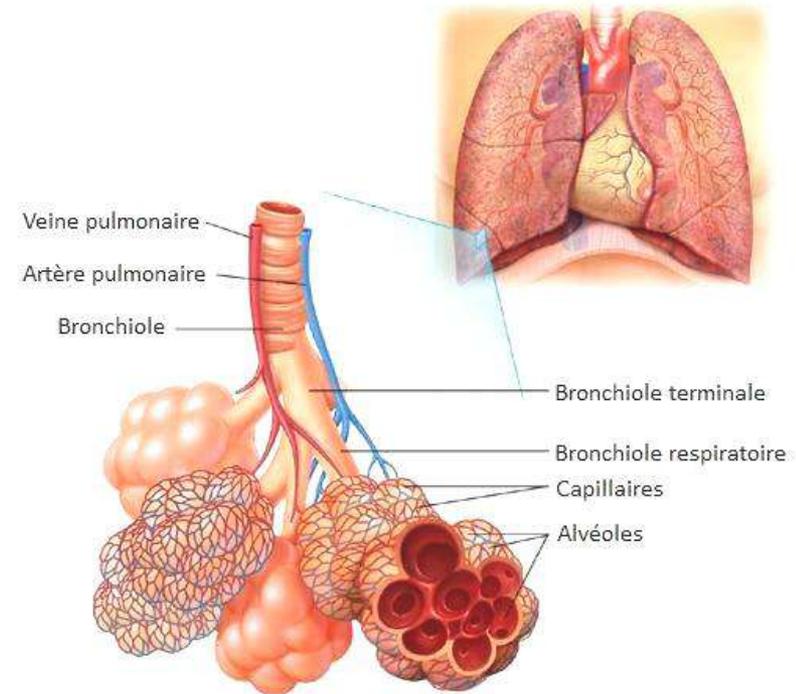
Il y a donc 2 interfaces gaz-liquide successives, d'où :



Si R augmente, $P_i - P_e$ diminue : la pression est plus grande dans une petite bulle que dans une grande. En conséquence, si on met deux bulles en contact, la plus petite va se dégonfler dans la plus grande

La tension superficielle

La surface des poumons est augmentée par la présence des alvéoles.



Si on dépliait toutes ces **alvéoles** pour les étaler cela représenterait la surface d'un **terrain de tennis**

La tension superficielle

La dilatation des poumons requiert un travail considérable car la tension superficielle qui colle les membranes alvéolaires est élevée.

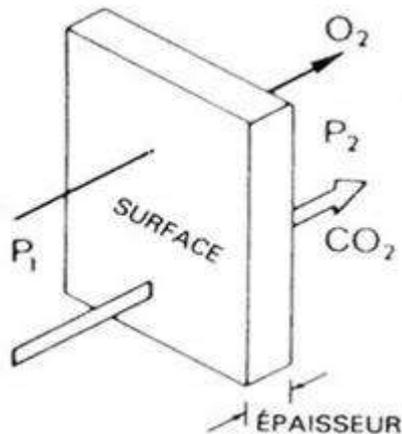
Pour faciliter la ventilation, des **surfactants** réduisent la tension superficielle à la surface interne des alvéoles.

La présence de ces surfactants réduit le travail nécessaire à la dilatation des poumons :

Lorsque l'alvéole se dilate, la concentration des surfactants par unité de surface diminue, la tension superficielle augmente. La résistance à la dilatation augmente et protège les alvéoles contre l'éclatement.

Loi de Fick

La vitesse de transfert d'un gaz à travers une couche d'un tissu est proportionnelle à la surface et à la différence de concentration du gaz de part et d'autre du tissu et inversement proportionnel à l'épaisseur.



$$\dot{V}_{\text{gaz}} = \frac{S}{E} D (P_1 - P_2)$$

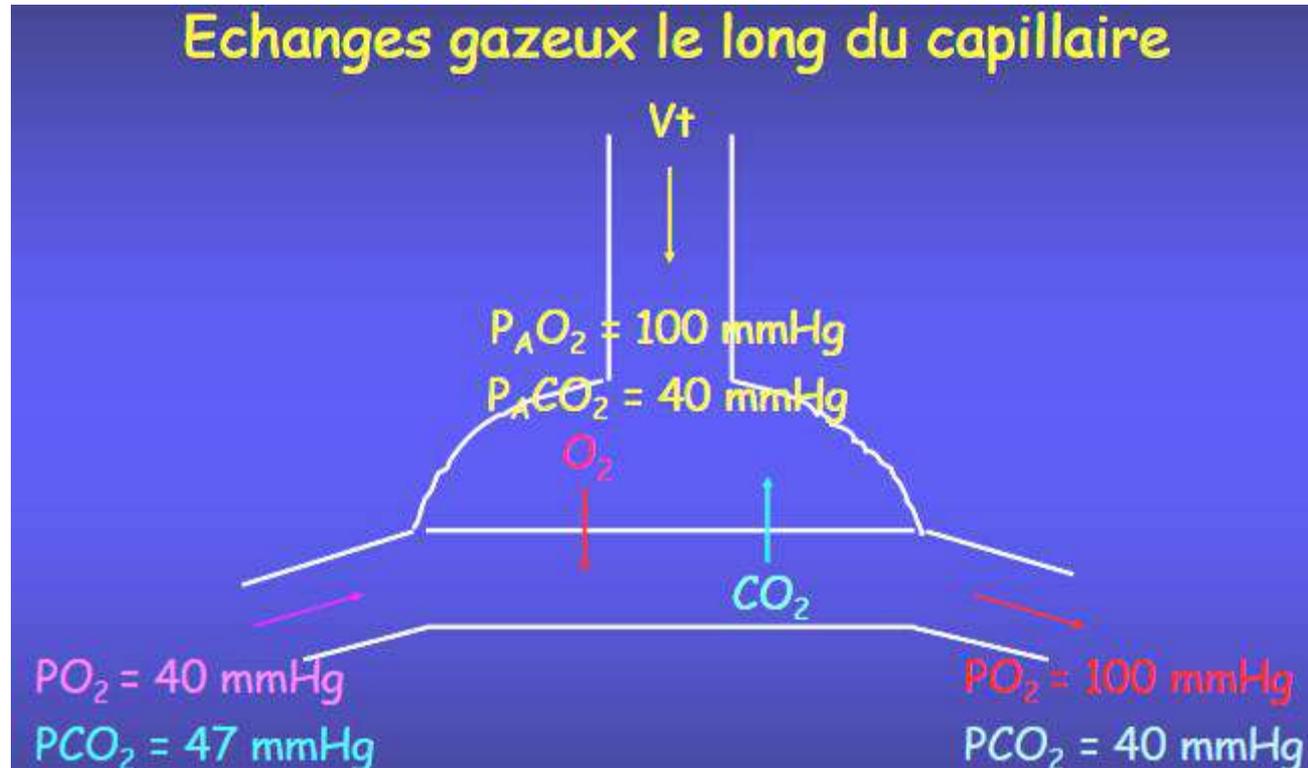
$$D = \frac{\text{Sol}}{\sqrt{\text{PM}}}$$

D = coefficient de diffusion

Sol = solubilité du gaz

PM = Poids moléculaire

Le CO₂ à une plus grande solubilité que l'O₂





Université Cadi Ayyad
Faculté Polydisciplinaire de Safi
Département Biologie



Module: Biophysique

SVI, Semestre 3, 2020/2021

Pr. Taoufiq Benali

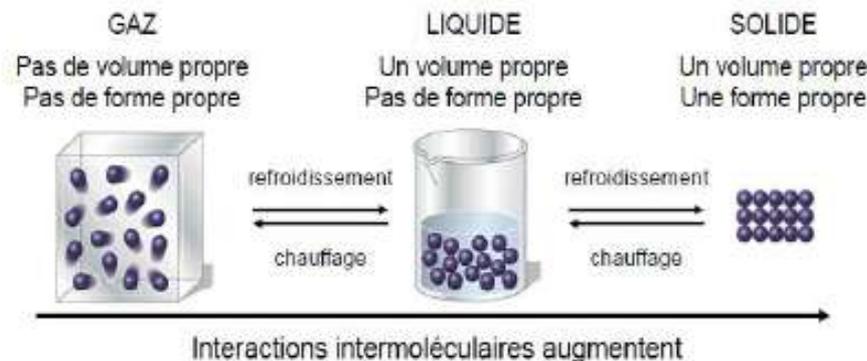
Chapitre 4

FORCES IMPLIQUÉES DANS LES INTERACTIONS DES MOLÉCULES BIOLOGIQUES

Partie 2

INTERACTIONS DES ONDES ET DES PARTICULES AVEC LA MATIÈRE BIOLOGIQUE

- Les liens chimiques maintiennent les atomes de la molécule ensemble. Mais qu'est-ce qui maintient les molécules ensemble ? Ce sont surtout des attractions physiques (forces) intermoléculaires qui assurent la cohésion de la matière.
- Il existe des interactions entre les molécules, ce qui explique l'état physique de composés : Solide-Liquide-Gaz. Les forces responsables de la cohésion entre les molécules sont appelées forces de Van der Waals. Elles sont de trois types (interaction dipôle, forces de London, ponts hydrogènes).
- Selon les conditions physiques (température, pression.....), la matière peut se trouver généralement sous 3 états : solide, liquide ou gazeux.
- Dans ces différents états, les molécules sont les mêmes: la différence dépend de la nature des interactions entre les molécules.
- Un état de la matière est la conséquence d'une compétition entre des forces d'attraction qui tendent à rapprocher les particules et des causes d'éloignement qui les dissocient.

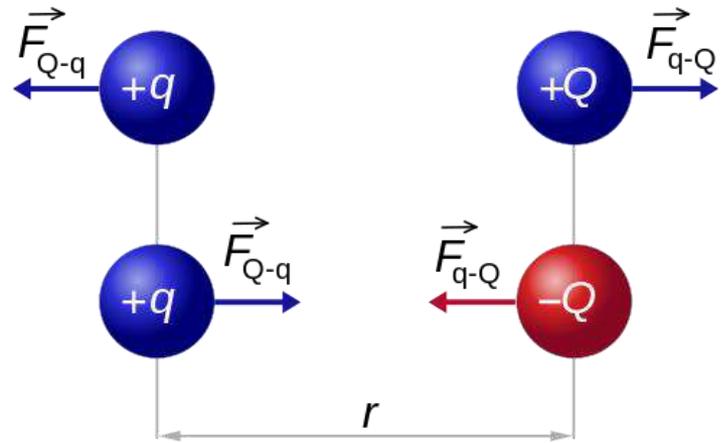


liaison Ion-Ion

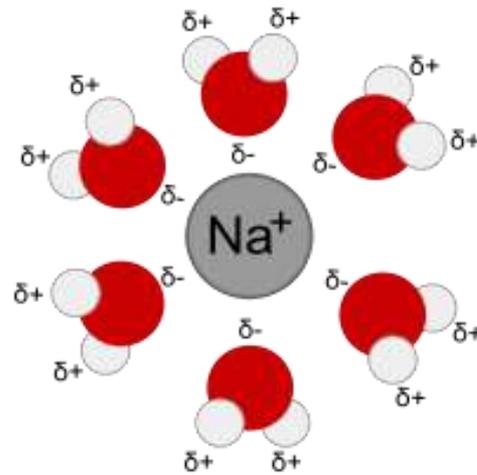
La loi de Coulomb donne l'expression de l'énergie potentielle de deux charges ponctuelles séparées d'une distance r :

$$E = \frac{z_1 z_2 q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 D r}$$

où z_1 et z_2 représentent les signes des deux charges, q_1 et q_2 leurs valeurs absolues, ϵ_0 , la **permittivité absolue du vide**, D , la **constante diélectrique** du milieu et r la distance qui sépare les charges en question. Si ces dernières sont de nature différente ($z_1 \neq z_2$), elles s'attirent ($E < 0$) alors que dans le cas inverse ($z_1 = z_2$), elles se repoussent ($E > 0$).



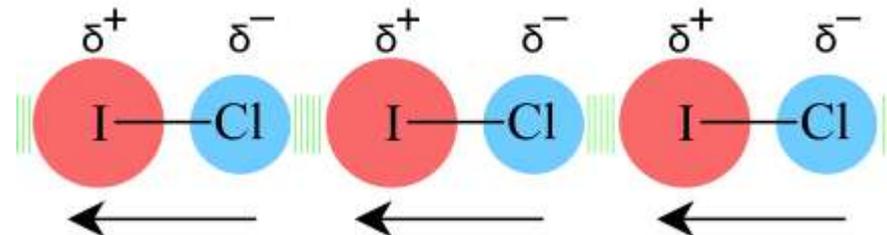
liaison Ion- dipôle permanent



interaction de van der Waals

Forces de Keesom (effets d'orientation de dipôles)

L'interaction entre deux molécules polaires (deux dipôles permanents) est une interaction attractive appelée interaction de VAN DER WAALS de type **KEESOM**.



interaction de van der Waals

Forces de Debye (induction de dipôles)

Le dipôle d'une molécule peut polariser une autre molécule et créer ainsi un dipôle induit. L'interaction entre un dipôle permanent et un dipôle induit constitue les forces de Debye.

Forces de London (effets de dispersion)

Ce sont ces forces qui s'exercent entre deux dipôles induits. Ces forces sont toujours très faibles (de **l'ordre de quelques kJ/mol**) et seront prises en compte lorsque ne se développe aucune autre interaction moléculaire.

Module de la biophysique : Chapitre 4:

FORCES APPLIQUÉES DANS LES INTERACTIONS DES MOLÉCULES BIOLOGIQUES

1. Entre le méthane CH_4 et le bromométhane CH_3Br , quelle interaction de VAN DER WAALS ne se développe pas ?

- A Interaction de type KEESOM
- B Interaction de type DEBYE
- C Interaction de type LONDON

2. Quel est l'ordre de grandeur de l'énergie d'une interaction de VAN DER WAALS ?

- A quelques $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- B quelques $10 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- C quelques $100 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

3. Il peut se développer une liaison hydrogène entre le méthane CH_4 et l'eau H_2O .

- A vrai
- B faux

4. Il peut se développer une liaison hydrogène entre l'ammoniac NH_3 et l'eau H_2O .

- A vrai
- B faux

Partie 2

INTERACTIONS DES ONDES ET DES PARTICULES AVEC LA MATIÈRE BIOLOGIQUE

MODULE DE LA BIOPHYSIQUE

8

Rappel du spectre électromagnétique

Le domaine spectral concerné est subdivisé en trois plages appelées proche UV, visible et très proche IR (185-400 ; 400-800 ; 800-1100 nm). L'absorption des rayonnements par les molécules dans cette gamme de longueur d'onde est due au passage du niveau fondamental à un niveau excité sous l'effet du rayonnement ; plus précisément au passage d'un électron d'un niveau électronique à un autre niveau électronique d'énergie supérieure. Le document de base fourni par les spectrophotomètres, appelé spectre, correspond au tracé des variations de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde des photons incidents.

En 1905, **Albert Einstein**, introduisit le concept de photon, quantum d'énergie électromagnétique

$$E = h.v$$

où v est la fréquence de l'onde (exprimée en hertz Hz) et h est la constante de Planck. Pour la relier à la longueur d'onde, on utilise la formule

$$v = c/\lambda$$

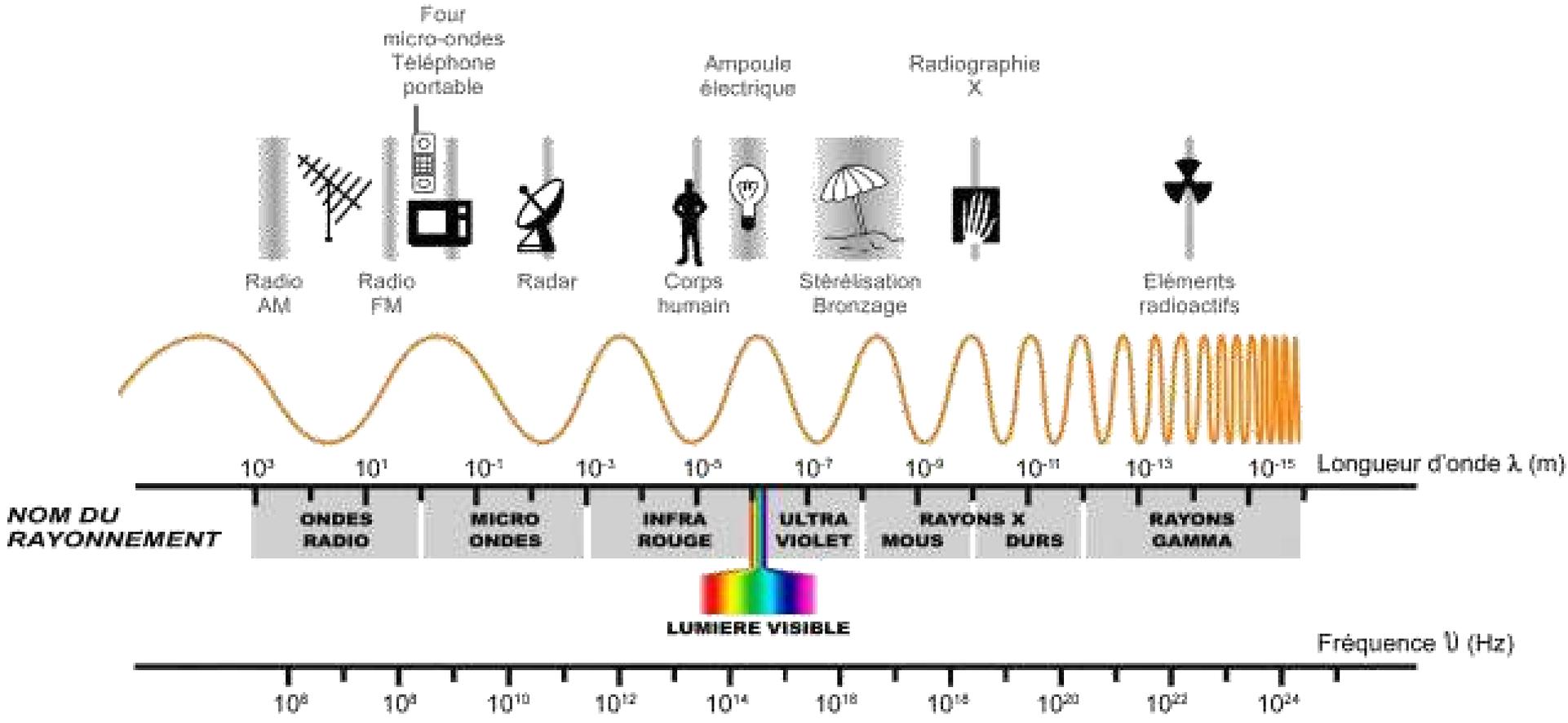
où λ est la longueur d'onde (en mètre m) et c est la vitesse de la lumière.

constante de Planck = $6,62607004 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg} / \text{s}$

Module de la biophysique :Partie 2

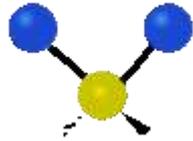
INTERACTIONS DES ONDES ET DES PARTICULES AVEC LA MATIERE BIOLOGIQUE

spectre électromagnétique.

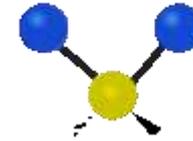


L'absorption de radiations électromagnétiques par une molécule induit :

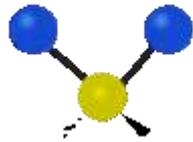
- 1. une transition vibrationnelle s'il s'agit de radiation infrarouge. Ceci est à la base de la spectroscopie infrarouge, aussi très utile aux biochimistes.**
- 2. une transition électronique s'il s'agit de visible ou d'ultraviolet. Ceci est à la base de la spectroscopie d'absorption UV-visible très utile aux biochimistes.**
- 3. une transition d'état de spin nucléaire s'il s'agit d'une onde radio. Ceci est à la base de la spectroscopie RMN, très utile aux chimistes et biochimistes**
- 4. La diffraction des rayons-X est, quant à elle, à la base de la cristallographie, une méthode de caractérisation aussi très utile aux biochimistes.**



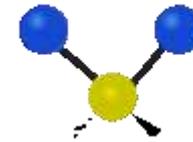
Étirement symétrique



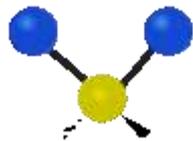
Bascule



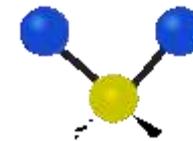
Étirement antisymétrique



Agitation



Cisaillement



Torsion

Module de la biophysique :Partie 2

INTERACTIONS DES ONDES ET DES PARTICULES AVEC LA MATIERE BIOLOGIQUE

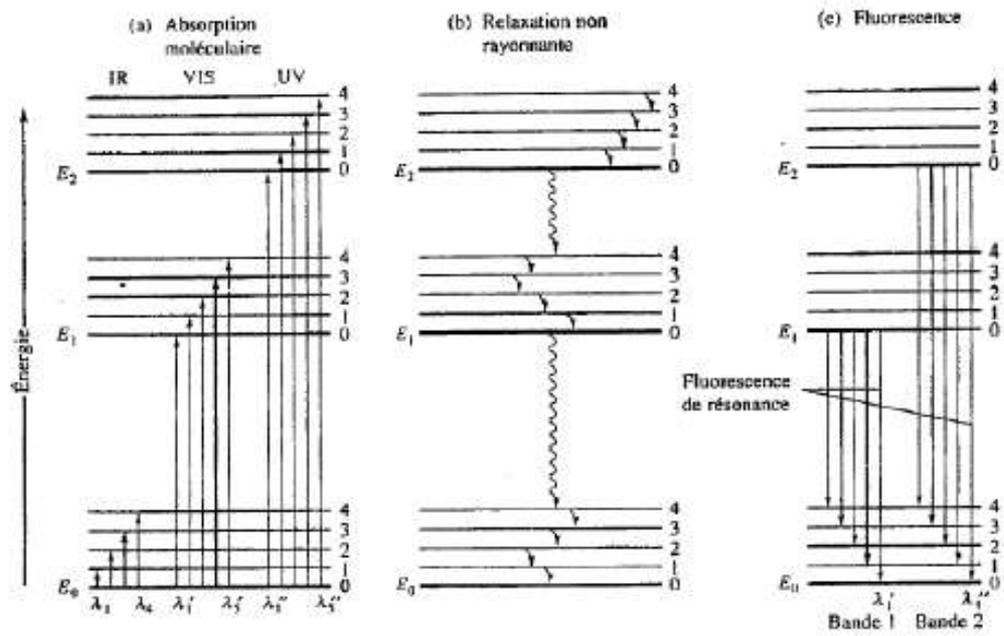
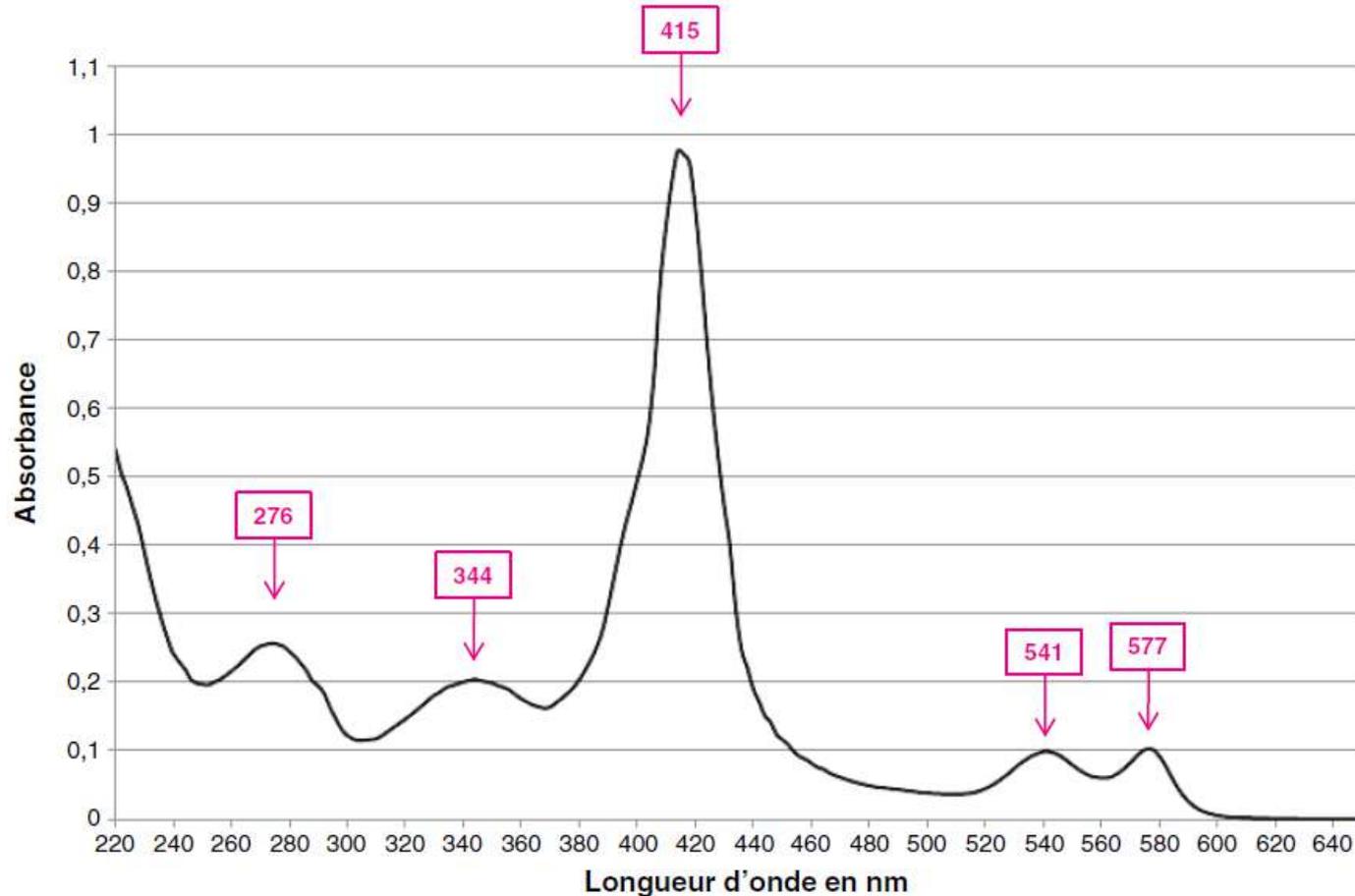


Diagramme des niveaux énergétiques montrant quelques-unes des variations d'énergie accompagnant l'absorption, la relaxation non rayonnante et fluorescence d'une espèce moléculaire

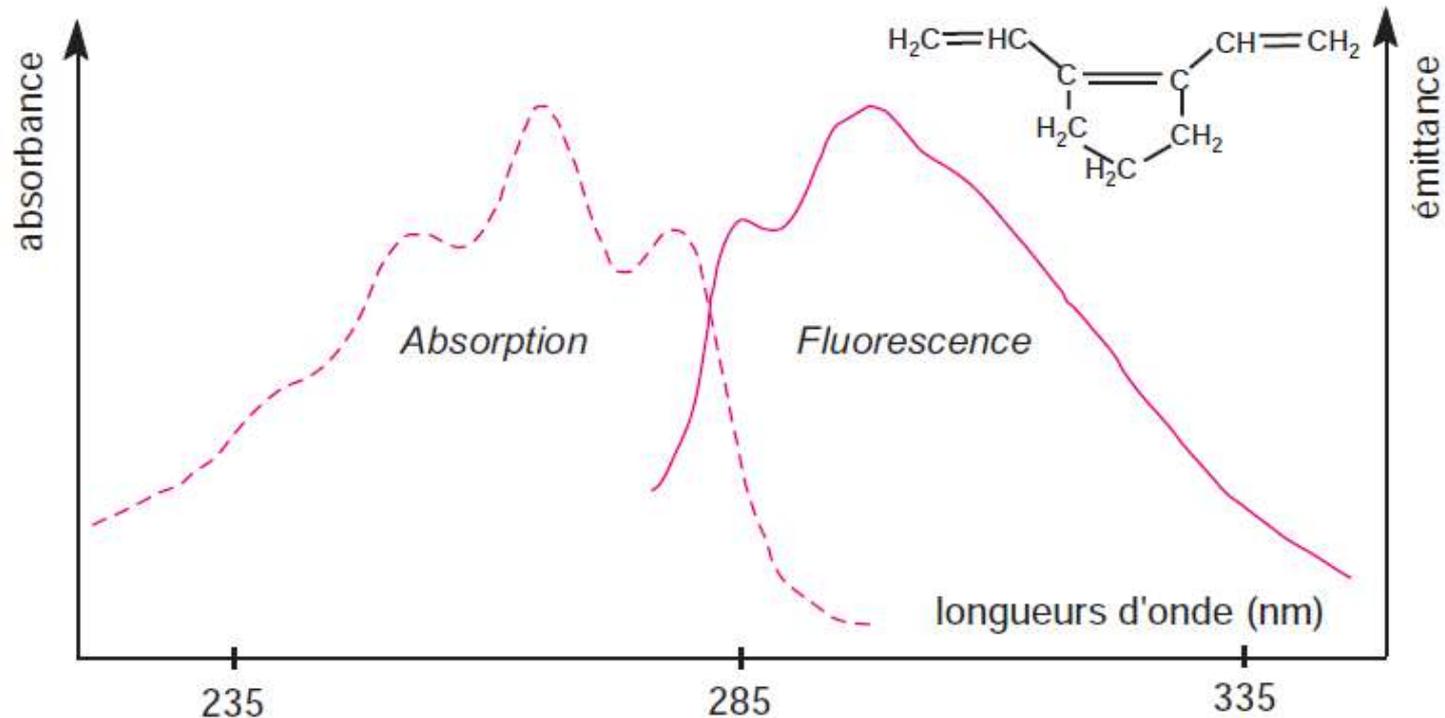
Dans le cas où un photon est absorbé par un atome ou une molécule, celui-ci est donc porté à un niveau énergétique plus élevé que le niveau de départ. Ce niveau excité est instable et l'énergie acquise doit être éliminée.

Dans le cas de l'**atome**, et pour le passage au niveau énergétique immédiatement supérieur, il y a **réémission d'un photon** identique à celui qui a été absorbé, mais dans celui d'une **molécule**, l'énergie acquise peut être dissipée par un certain nombre de mécanismes: **transformation en chaleur et vibrations** des atomes constituant la molécule. Il n'y a donc pas normalement de lumière réémise.

Cependant, dans certaines structures, où **la présence de cycles entrave les mouvements et donc la déperdition d'énergie**, une partie de celle-ci est émise sous forme d'une radiation lumineuse pour permettre le retour de la molécule à son niveau d'énergie initiale, C'est le phénomène de la **fluorescence**. Où l'énergie du photon émis est plus faible que l'énergie du photon absorbé.



Spectre d'absorption de l'**hémoglobine** oxygénée humaine (HbO₂), obtenu par balayage continu des longueurs d'onde de 220 à 650 nm.



Représentation sur un même graphe des spectres d'absorption et de fluorescence d'un composé éthylénique.

Bon courage



LIENS UTILES 🙌

Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage

