Module: Biophysique

SVI, Semestre 3

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**.

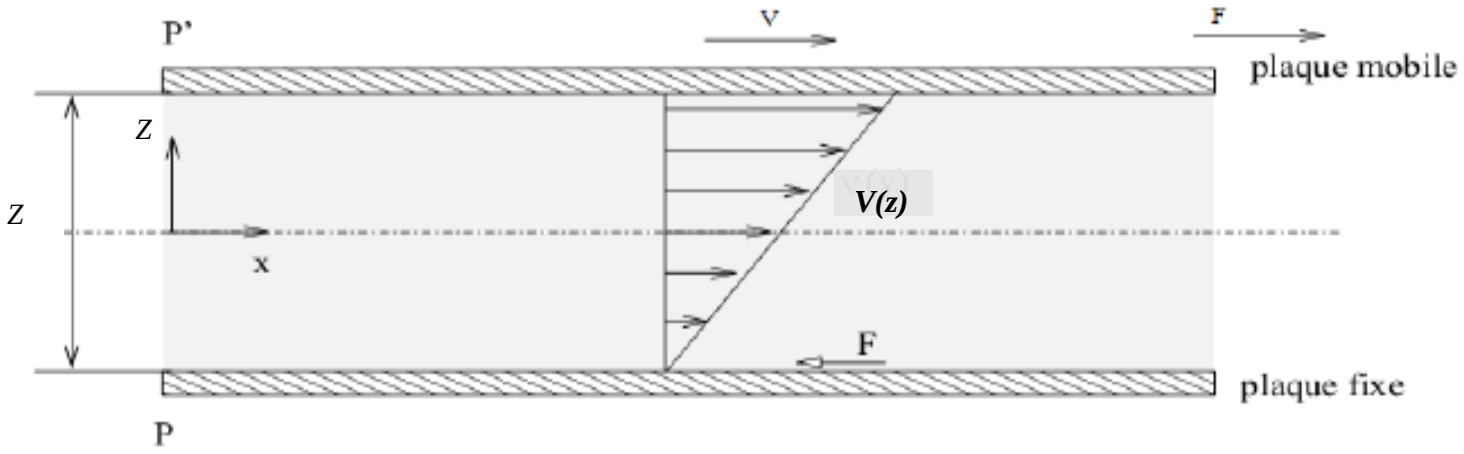
- Elle est l'expression des forces mécaniques de frottement à l'intérieur du fluide et des forces de liaisons intermoléculaires qu'il faut rompre pour mobiliser les unes par rapport aux autres molécules d'un fluide en écoulement.

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

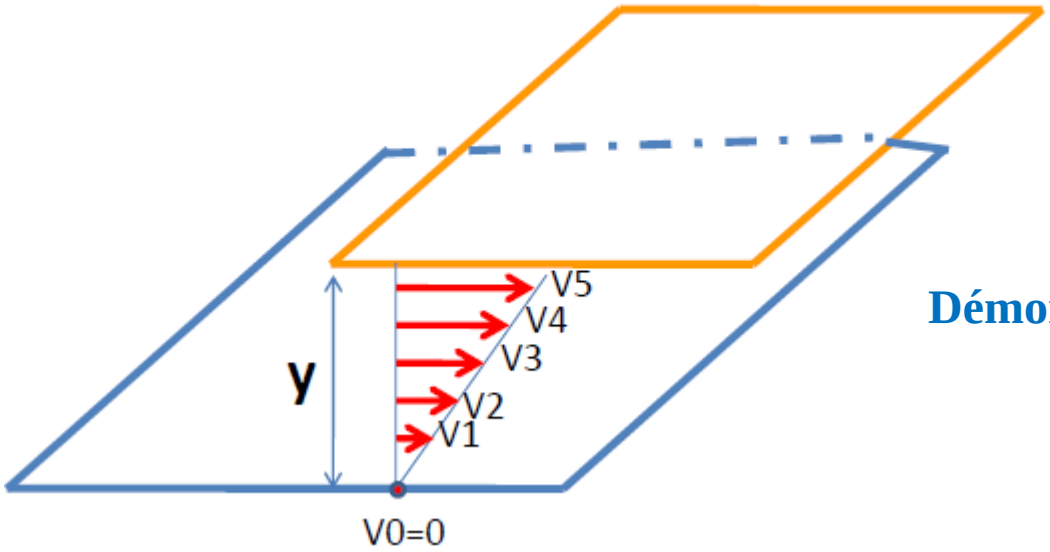
Viscosité

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



Démonstration

- **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 :

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

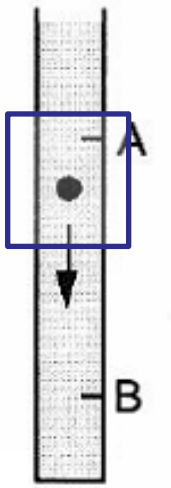
La contrainte tangentielle τ est exprimée par la force de frottement F_T par unité de surface de contact S. Cette force est proportionnelle au gradient transversal de vitesse. La ***viscosité dynamique*** η, qui s'exprime en Ns/m^2 (Pa·s) dans le système international, est ainsi définie comme la contrainte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

Viscosité

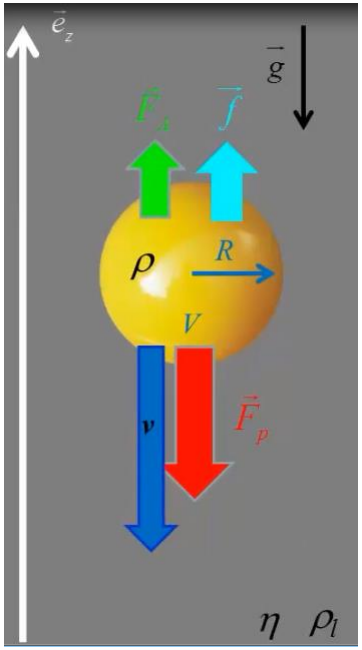
On fait chuter une bille dans un fluide visqueux contenu dans une éprouvette graduée de diamètre très grand devant celui de la bille.

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 Stockes** :

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



Forces appliquées



La poussée d'Archimède

Les frottement suivant la loi de Stockes

Le poids de la bille

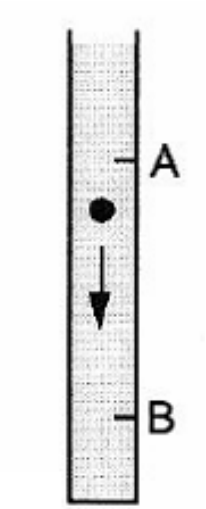
Viscosité

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

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

On en déduit:

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



g=9,8 m/s².
η : viscosité dynamique en *Pa.s ou en poise* (*1 poise = 10^{-1}Pa.s*).
R: en m
μ: en kg/m³
v_{LIM}: en m/s

Viscosité cinématique de quelques fluides en fonction de la température

Température [°C]	Eau $\cdot 10^{-6}$ [m²/s]	Mercure $\cdot 10^{-6}$ [m²/s]	Ethyl-alcool $\cdot 10^{-6}$ [m²/s]	Air (sec) $\cdot 10^{-6}$ [m²/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 :

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

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 :

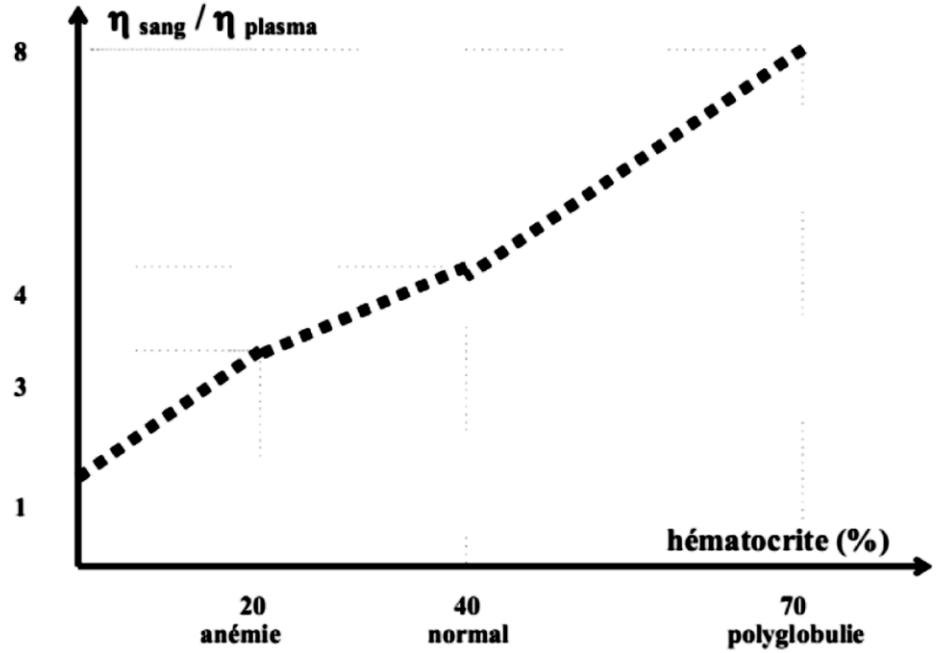
-viscosité du sérum : 1,1 -1,3 10^{-3} Pa.s

-Viscosité du plasma : 1,4 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↗→ viscosité↗ →vitesse ↘ → flux ↘ → temps de circulation de sang ↗

Anémie : Hématocrite↘→ viscosité↘ →vitesse ↗ → flux ↗ → temps de circulation de sang ↘

Loi de Poiseuille

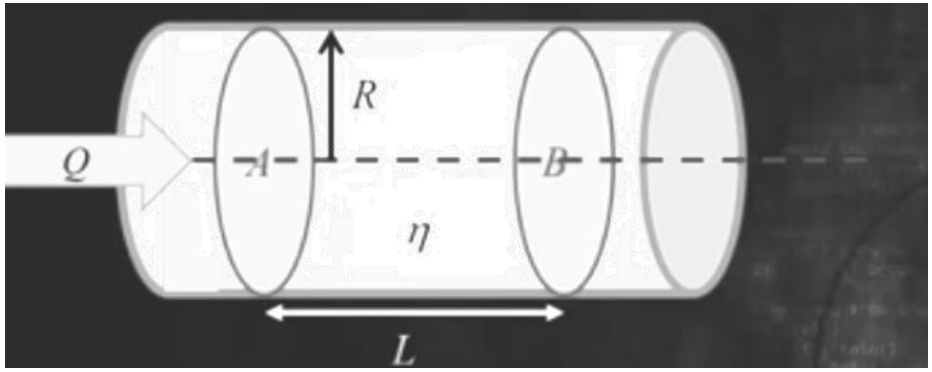
$$\Pi = R_P \times Q$$

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

Q : le débit en m^3/s

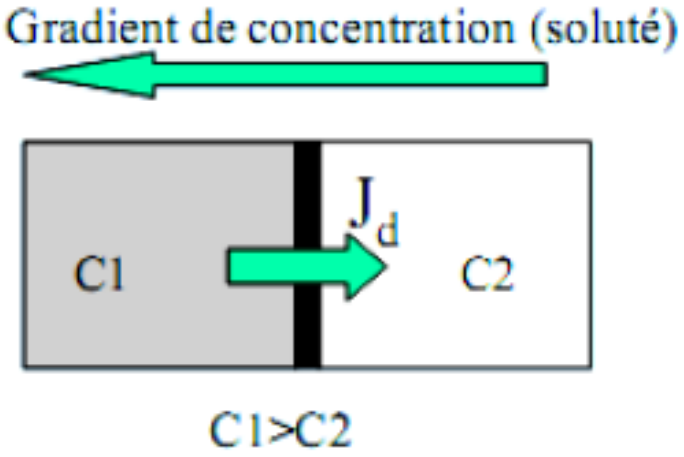
R_p : la résistance de poiseuille (résistance hydraulique) en $Pa.s.m^{-3}$

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



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.



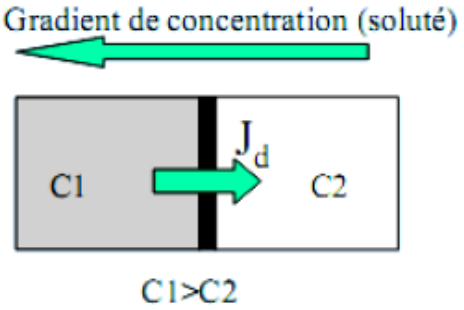
Diffusion du soluté à travers les membranes

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

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 :

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

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 :

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

représentent respectivement le **coefficient** de gaz parfais, 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 x 10^{23} est le nombre d'Avogadro.

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

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

$k_B = R / N_A = 1{,}38.10^{-23}\left[J.K^{-}\right]$ (k_B 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.

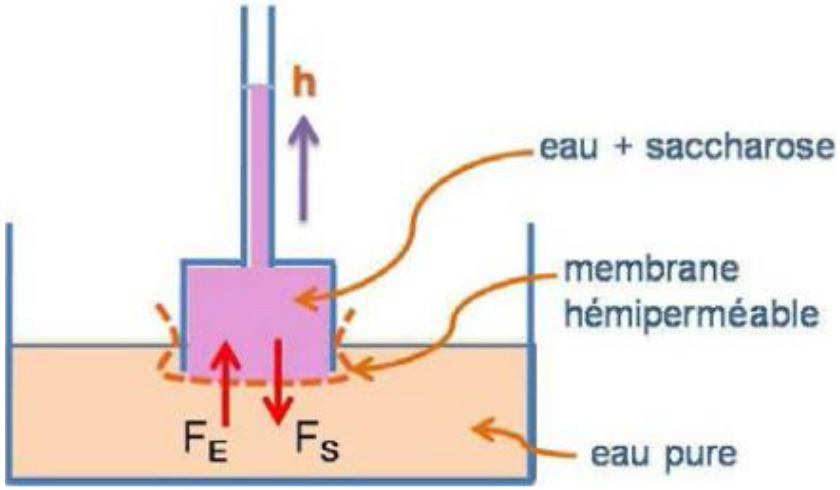
- L'existence du flux indique que le ***système n'est pas en équilibre***
- On pourrait rétablir cet équilibre en exerçant sur la solution une pression hydrostatique suffisante ***pour annuler le flux de solvant*** .

- **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 cristallisoir contenant de l'eau.



Au départ, le flux de solvant entrant *Fe* est très supérieur au flux sortant *Fs*, 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.

$$\pi = iC_m RT \qquad en\ [\ Pa\ ] ou\ [N/m^2]$$

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

