

CRapitheat: Propriétés électriques des solutions macromoléculaires

"Effet DONNAN"

Equilibre de DONNAN: c'est un équilibre **permanent** lié à la présence de **macromolécule** d'un côté de la Mb **dialysante**. Donc il y'a absence de l'électroneutralité de part et d'autre de la Mb.

↳ **l'équilibre apparent:** c'est un état d'**équilibre final**, provient des mouvements bien dirigés des ions qui diffusent selon leur concentration en excès de part et d'autre de la Mb dialysante. L'origine des mouvements des ions est la **présence** d'une macromolécule chargée, non diffusible d'une part de la Mb dialysante.

Caractéristiques de l'équilibre apparent:

- L'**électroneutralité** de chaque solution est bien **réalisée** de part et d'autre de la Mb.
- La **non égalité** des concentrations de chaque ion diffusible en raison de la présence de la macromolécule chargée.
- La **pression osmotique** devient **supérieure** à ce que donnerait l'application brutale des formules classiques.

Potentiel de Membrane: apparaît entre 2 solutions séparées par une Mb lorsque cette dernière **n'est pas perméable** à tous les ions. Les \pm Mb naturelles ou artificielles diffèrent par la raison de l'imperméabilité.

Imperméabilité due à l'empêchement stérique: pour les raisons qu'il y'a les espèces ioniques chargées plus grosses que le ϕ des pores de la M

Imperméabilité due à l'empêchement chimique: pour les raisons que la Mb est en contact avec une solution électrolytique contenant des cations et des anions, il se produit des attractions et des répulsions d'ions suivant leur charge: Ce sont les Mb échangeuses d'ions.

Potentiel de DONNAN:

Cas général:

$$\text{à l'équilibre: } \mu_i + z_i F \Psi_I + \pi_I \bar{V}_i = \mu_{II} + z_i F \Psi_{II} + \pi_{II} \bar{V}_i$$

En premier lieu: On détermine la valeur de la **pression osmotique**.

Dans le cas des solvants:

$$z=0 \Rightarrow z F \Psi = 0 \Rightarrow \mu_{SI} + \pi_I \bar{V}_{SI} = \mu_{SII} + \pi_{II} \bar{V}_{SII}$$

$$\bar{V}_{SI} = \bar{V}_{SII} = \bar{V}_s \Rightarrow \mu_{SI} + \pi_I \bar{V}_s = \mu_{SII} + \pi_{II} \bar{V}_s$$

$$\Rightarrow \pi_I \bar{V}_s - \pi_{II} \bar{V}_s = \mu_{SII} - \mu_{SI} \Rightarrow (\pi_I - \pi_{II}) \bar{V}_s = \mu_{SII} - \mu_{SI}$$

$$\Rightarrow (\pi_I - \pi_{II}) \bar{V}_s = \mu_{SII}^0 + RT \ln a_{SII} - \mu_{SI}^0 + RT \ln a_{SI}$$

$$\Rightarrow (\pi_I - \pi_{II}) \bar{V}_s = RT \ln \frac{a_{SII}}{a_{SI}} \Rightarrow$$

$$\boxed{\frac{\pi_I - \pi_{II}}{\bar{V}_s} = RT \ln \frac{a_{SII}}{a_{SI}}}$$

Pour le cas des particules chargées \oplus :

$$\mu_I^+ + z^+ F \Psi_I + \pi_I \bar{V}_I^+ = \mu_{II}^+ + z^+ F \Psi_{II} + \pi_{II} \bar{V}_{II}^+$$

$$\bar{V}_I^+ = \bar{V}_{II}^+ = \bar{V}^+ \Rightarrow \mu_I^+ + z^+ F \Psi_I + \pi_I \bar{V}^+ = \mu_{II}^+ + z^+ F \Psi_{II} + \pi_{II} \bar{V}^+$$

$$\pi_I \bar{V}^+ - \pi_{II} \bar{V}^+ = \mu_{II}^+ - \mu_I^+ + z^+ F \Psi_{II} - z^+ F \Psi_I$$

$$\Rightarrow (\pi_I - \pi_{II}) \bar{V}^+ = \mu_{II}^+ - \mu_I^+ + z^+ F (\Psi_{II} - \Psi_I)$$

$$\Rightarrow (\pi_I - \pi_{II}) \bar{V}^+ = \mu_{II}^0 + RT \ln a_{II}^+ - \mu_I^0 - RT \ln a_I^+ + z^+ F (\Psi_{II} - \Psi_I)$$

$$\Rightarrow (\pi_I - \pi_{II}) \bar{V}^+ = RT \ln \frac{a_{II}^+}{a_I^+} + z^+ F (\Psi_{II} - \Psi_I)$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{\pi_I - \pi_{II}}{\bar{V}^+} = RT \ln \frac{a_{II}^+}{a_I^+} + \frac{z^+ F}{\bar{V}^+} (\Psi_{II} - \Psi_I)}$$

Pour le cas des particules chargées \ominus :

$$\frac{\pi_I - \pi_{II}}{\bar{V}^-} = RT \ln \frac{a_{II}^-}{a_I^-} + \frac{z^- F}{\bar{V}^-} (\Psi_{II} - \Psi_I)$$

En second lieu, on cherche la valeur du potentiel de Mb.

Pour les cations:

$$\pi_I - \pi_{II} = \frac{RT}{\bar{V}^+} \ln \frac{a_{I^+}}{a_{II^+}} + \frac{z^+ F}{\bar{V}^+} (\psi_{II} - \psi_I) \Rightarrow \frac{z^+ F}{\bar{V}^+} (\psi_{II} - \psi_I) = (\pi_I - \pi_{II}) - \frac{RT}{\bar{V}^+} \ln \frac{a_{I^+}}{a_{II^+}}$$

$$\Rightarrow \psi_{II} - \psi_I = \frac{\bar{V}^+}{z^+ F} (\pi_I - \pi_{II}) - \frac{RT}{z^+ F} \ln \frac{a_{I^+}}{a_{II^+}} \Rightarrow \psi_{II} - \psi_I = \frac{\bar{V}^+}{z^+ F} \frac{RT}{V_s} \ln \frac{a_{sII}}{a_{sI}} - \frac{RT}{z^+ F} \ln \frac{a_{I^+}}{a_{II^+}}$$

$$\psi_{II} - \psi_I = \frac{\bar{V}^+}{V_s} \cdot \frac{RT}{z^+ F} \ln \frac{a_{sII}}{a_{sI}} - \frac{RT}{z^+ F} \ln \frac{a_{I^+}}{a_{II^+}} \quad (1)$$

Pour les anions:

$$\psi_{II} - \psi_I = \frac{\bar{V}^-}{V_s} \cdot \frac{RT}{z^- F} \ln \frac{a_{sII}}{a_{sI}} - \frac{RT}{z^- F} \ln \frac{a_{II^-}}{a_{I^-}} \quad (2)$$

$$(1) = (2)$$

$$\Rightarrow \frac{\bar{V}^+}{V_s} \cdot \frac{RT}{z^+ F} \ln \frac{a_{sII}}{a_{sI}} - \frac{RT}{z^+ F} \ln \frac{a_{I^+}}{a_{II^+}} = \frac{\bar{V}^-}{V_s} \cdot \frac{RT}{z^- F} \ln \frac{a_{sII}}{a_{sI}} - \frac{RT}{z^- F} \ln \frac{a_{II^-}}{a_{I^-}}$$

$$\Rightarrow \frac{\bar{V}^+}{V_s} \cdot \frac{1}{z^+} \ln \frac{a_{sII}}{a_{sI}} - \frac{1}{z^+} \ln \frac{a_{I^+}}{a_{II^+}} = \frac{\bar{V}^-}{V_s} \cdot \frac{1}{z^-} \ln \frac{a_{sII}}{a_{sI}} - \frac{1}{z^-} \ln \frac{a_{II^-}}{a_{I^-}}$$

$$\Rightarrow \frac{\bar{V}^+}{V_s} \cdot \frac{1}{z^+} \ln \frac{a_{sII}}{a_{sI}} - \frac{\bar{V}^-}{V_s} \cdot \frac{1}{z^-} \ln \frac{a_{sII}}{a_{sI}} = \frac{1}{z^+} \ln \frac{a_{I^+}}{a_{II^+}} - \frac{1}{z^-} \ln \frac{a_{II^-}}{a_{I^-}}$$

$$\frac{1}{V_s} \left(\frac{\bar{V}^+}{z^+} - \frac{\bar{V}^-}{z^-} \right) \ln \frac{a_{sII}}{a_{sI}} = \frac{1}{z^+} \ln \frac{a_{I^+}}{a_{II^+}} - \frac{1}{z^-} \ln \frac{a_{II^-}}{a_{I^-}}$$

⇒ relation régissant l'équilibre de DONNAN dans le cas général.

Cas particulier:

binaire bivalent monovalent

$$|z^+| = |z^-| = z = 1 \Rightarrow \frac{1}{V_s} (\bar{V}^+ + \bar{V}^-) \ln \frac{a_{sII}}{a_{sI}} = \ln \left(\frac{a_{II^+}}{a_{I^+}} \cdot \frac{a_{I^-}}{a_{II^-}} \right)$$

$$\Rightarrow \left(\frac{\bar{V}^+ + \bar{V}^-}{V_s} \right) \ln \frac{a_{sII}}{a_{sI}} = \ln \left(\frac{a_{II^+}}{a_{I^+}} \cdot \frac{a_{I^-}}{a_{II^-}} \right)$$

⇒ relation régissant l'équilibre de DONNAN dans le cas particulier.

Cas d'une solution assez diluée: (suffisamment diluée):

$$a_{SI} = a_{SII} \Rightarrow \frac{a_{SII}}{a_{SI}} = 1 \Rightarrow \ln \frac{a_{SII}}{a_{SI}} = \ln 1 = 0$$

$$\Rightarrow \ln \left(\frac{a_{II}^+}{a_{I}^+} \cdot \frac{a_{II}^-}{a_{I}^-} \right) = 0 = \ln 1 \Rightarrow \frac{a_{II}^+}{a_{I}^+} \cdot \frac{a_{II}^-}{a_{I}^-} = 1 \Rightarrow a_{II}^+ \cdot a_{II}^- = a_{I}^+ \cdot a_{I}^-$$

$\Rightarrow \boxed{\frac{a_{II}^+}{a_{I}^+} = \frac{a_{II}^-}{a_{I}^-}}$ \Rightarrow relation régissant l'équilibre de DONNAN dans le cas d'une solution assez diluée

en terme de potentiel:

Pour les cations: $\Psi_I - \Psi_{II} = \frac{RT}{z^+F} \ln \frac{a_{II}^+}{a_{I}^+}$ $\Psi > 0$

Pour les anions: $\Psi_I - \Psi_{II} = \frac{RT}{z^-F} \ln \frac{a_{II}^-}{a_{I}^-}$ $\Psi < 0$

Cas d'une solution très diluée: (voisine de l'idéale)

$$\delta \rightarrow 1 \Rightarrow a = \delta C \Rightarrow a \approx C \Rightarrow \boxed{\frac{C_{II}^+}{C_{II}^-} = \frac{C_{I}^+}{C_{I}^-}}$$

en terme de potentiel:

Pour les cations: $\Psi_I - \Psi_{II} = \frac{RT}{z^+F} \ln \frac{C_{II}^+}{C_{I}^+}$ $\Psi > 0$

Pour les anions: $\Psi_I - \Psi_{II} = \frac{RT}{z^-F} \ln \frac{C_{II}^-}{C_{I}^-}$ $\Psi < 0$

Influence de macromolécule imperméable:

Pression osmotique (oncotique):

A l'état d'équilibre final, apparition d'une pression osmotique appelée pression oncotique due à la présence de la macromolécule chargée

et les ions diffusibles de part et d'autre de la Mb diélectrique non chargée.

$$\pi = RT (C_I - C_{II}) = RT (C_{I}^+ + C_{I}^- - C_{II}^+ - C_{II}^-)$$

* s'exprime $\frac{J}{m^3} = Pa$ ($R = 8,315 \frac{J}{mol \cdot K}$) ou en atm ($R = 0,082 \frac{L \cdot atm}{mol \cdot K}$)

$$1 atm = 10^5 Pascal = 760 mmHg = 10^4 mmH_2O$$

Chapitre 08: Phénomènes de Surface.

Surface: surface de séparation des phases condensées: liquide ou solide soient elles avec une phase gazeuse.

Interface: surface de séparation de 02 phases condensées: liquide-liquide; solide-solide; liquide-solide

Tension superficielle: énergie mécanique liée à la cohésion de la matière, existe dans toutes les surfaces liquides

Adsorption: Variation de la teneur en un composé donné de la couche superficielle par rapport à son teneur dans les couches internes de la solution, on distingue 02 types:

* Adsorption \oplus : teneur en soluté de la couche superficielle plus grande que celle des couches internes de la solution.

* Adsorption \ominus : " " " " " " plus petite " " " " " "

Soluté tensio actif:

- substance capable de modifier la TS d'un solvant.
- Moins soluble.
- Reste à la surface de la solution.
- \downarrow la TS de celle-ci

Règle de Duclaux-Trambe: Dans une même série organique, un abaissement déterminé de la TS est obtenu pour des [C] d'autant plus faibles que la chaîne est plus longue.

→ Le corps le plus tensio actifs est celui qui possède plus de groupes hydrophobes.

Interprétation:

- Substance très soluble possède des groupements hydrophiles: \uparrow TS
- Les forces d'interactions:

$$S_{TA} < S \leftrightarrow S \quad TS \downarrow$$

$$S_{TA} > S \leftrightarrow S \quad TS \uparrow$$

L'énergie de surface, $dW = \sigma \cdot dS \Rightarrow \boxed{dW = \sigma \cdot dS}$

σ : coefficient de tension superficielle = TS

$$\left. \begin{aligned} dW &= \sigma dS = \sigma l \cdot dl \\ dW &= F \cdot dl \end{aligned} \right\} F = \sigma \cdot l \Rightarrow \sigma = \frac{F}{l}$$

σ : Force par unité de longueur = Travail par unité de surf.

Dimensions: $\frac{J}{m^2}$ en MKSA
Newton/m ou dyne/m
erg/cm² en CGS

σ : dépend de:

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Volume molaire} \\ \text{Polarité de la molécule.} \\ \text{Leur aptitude à former liaison H} \\ \text{Température.} \end{array} \right.$

L'énergie de cohésion:

- L'énergie nécessaire et dépensée pour vaincre les forces de cohésion de la matière.
- L'énergie qu'il faut fournir pour rompre une colonne liquide.

$$\boxed{W_{\text{cohésion}} = 2 \sigma \cdot S.}$$

énergie de tension interne
= énergie de cohésion

σ : coef de tension interne.

Théorème de LAPLACE:

$$d\vec{F} = d\vec{F}_x + d\vec{F}_y = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) dl_x \cdot dl_y = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) dS$$

Si $P - P'$ est la dd Pression: $dF = (P - P') dS = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) dS$

$$P - P' = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \sigma$$

$$\boxed{\Delta P = P - P' = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} \quad \text{Loi de LAPLACE}$$

Suppression à l'intérieur d'une goutte sphérique:

$$\Delta P = P_{int} - P_{ext}$$

$$(r = R_1 = R_2)$$

$$P_{ext} = P_0$$

$$\Delta P = P_{int} - P_{ext} = \sigma \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r} \right) = \frac{2\sigma}{r}$$

$$\Delta P = P_{int} - P_{ext} = \frac{2\sigma}{r}$$

Loi de LAPLACE



Suppression à l'intérieur d'une bulle de savon:

$$P_{int} - P_{paroi} = \frac{2\sigma}{r}$$



$$P_{ext} = P_0$$

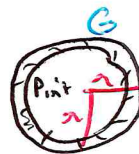
$$P_{paroi} - P_{ext} = \frac{2\sigma}{r+dr} \Rightarrow P_{int} - P_{paroi} + P_{paroi} - P_{ext} = \frac{2\sigma}{r} + \frac{2\sigma}{r+dr}$$

$$(r \approx r+dr \text{ car } dr \ll r)$$

$$\Delta P = P_{int} - P_{ext} = \frac{2\sigma}{r} + \frac{2\sigma}{r} = \frac{4\sigma}{r}$$

Loi de LAPLACE.

Desequilibre entre 02 bulles de savon:



$$P_{ext} = P_0$$

$$r' < r \Rightarrow \frac{1}{r'} > \frac{1}{r} \Rightarrow \frac{4\sigma}{r'} > \frac{4\sigma}{r} \Rightarrow \Delta P_p > \Delta P_G$$

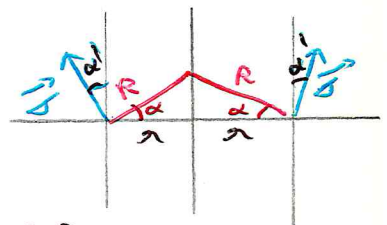
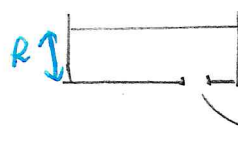
$$P_{int_p} - P_{ext} > P_{int_G} - P_{ext} \Rightarrow P_{int_p} > P_{int_G}$$

\Rightarrow petite bulle se vide dans la grosse \Rightarrow mouvement de GP \rightarrow PP

Applications:

01. $\cos \alpha = \frac{r}{R} \Rightarrow R = \frac{r}{\cos \alpha}$

Vase penché



02 pressions qui s'opposent:

Hydrostatique: tend à faire couler le liquide: $P = \rho g R$.

Surpression: tend à empêcher l'écoulement: $\Delta P = \frac{2\sigma}{R}$

\Rightarrow l'écoulement n'a lieu si $P_{hydro} \leq$ surpression ΔP

$$\rho g R \leq \frac{2\sigma}{R} \Rightarrow \rho g R \leq \frac{2\sigma \cos \alpha}{r} \Rightarrow$$

$$R \leq \frac{2\sigma \cos \alpha}{\rho g}$$

Condition nécessaire pour non écoulement

02. Embolie gazeuse capillaire

$$\Delta P_1 = P_0 - P_1 = \frac{2\sigma}{r_1}$$

$$\Delta P_2 = P_0 - P_2 = \frac{2\sigma}{r_2}$$

$$\Delta P = \Delta P_2 - \Delta P_1 = P_0 - P_2 - P_0 + P_1 = P_1 - P_2$$

$$\Delta P = 2\sigma \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

Le sang s'écoule de la gauche vers la droite: $P_1 > P_2$

$$\Rightarrow \frac{1}{r_2} > \frac{1}{r_1} \Rightarrow r_1 > r_2$$

$$\Rightarrow \Delta P = \frac{2\sigma}{r_2} \quad (\text{aura une valeur maximale}).$$

Interface entre 2 liquides non miscibles:

L'énergie d'interface liquide - liquide $\Delta W = \sigma_{\frac{L_1}{L_2}} \cdot S$

$\sigma_{\frac{L_1}{L_2}}$: coef de tension interfaciale - tension interfaciale

$\sigma_{\frac{L_1}{L_2}} \uparrow \Rightarrow L_1 \text{ et } L_2$ moins miscibles \Rightarrow interactions moins fortes

$\sigma_{\frac{L_1}{L_2}} = 0 \Rightarrow$ miscibilité parfaite

$\sigma_{\frac{L_1}{L_2}} \downarrow \Rightarrow L_1 \text{ et } L_2$ et miscibles \Rightarrow interactions plus fortes

Loi de Jurin:

$$\Delta P = P_0 - P_c = \frac{2\sigma}{R}$$

$$\cos \theta = \frac{r}{R}$$

$$\Delta P = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}$$

$$P_0 - P_c = \rho g h \Rightarrow \boxed{\frac{2\sigma \cos \theta}{r} = \rho g h}$$

σ toujours \oplus

$$\Rightarrow \sigma = \frac{\rho g h r}{2 \cos \theta}$$

Si $\theta < \frac{\pi}{2} \Rightarrow \cos \theta > 0 \Rightarrow R > 0 \Rightarrow$ liquide s'élève (eau)

Si $\theta > \frac{\pi}{2} \Rightarrow \cos \theta < 0 \Rightarrow R < 0 \Rightarrow$ liquide descend (mercure)

Energie d'adhesion entre 2 liquides non miscibles:

Energie d'interface: $W = \sigma_{\frac{L_1}{L_2}} \cdot S$ (avant separation)

apres separation: $W' = (\sigma_{L_1} + \sigma_{L_2}) \cdot S$

Energie interfaciale: $W = \sigma_{\frac{L_1}{L_2}} \cdot S = 0$

$$\Delta W = W' - W = (\sigma_{L_1} + \sigma_{L_2} - \sigma_{\frac{L_1}{L_2}}) S \quad \text{energie d'adhesion}$$

$$\sigma'_{\frac{L_1}{L_2}} = \frac{\Delta W}{S} = \sigma_{L_1} + \sigma_{L_2} - \sigma_{\frac{L_1}{L_2}} \quad : \text{coef d'adhesion}$$

R! ~~l'energie de cohesion d'un liquide pur n'est autre que l'energie d'adhesion de ce liquide sur lui meme:~~

$$\begin{cases} \sigma_{L_1} = \sigma_{L_2} = \sigma \\ \sigma_{\frac{L_1}{L_2}} = 0 \end{cases} \Rightarrow \sigma'_{\frac{L_1}{L_2}} = \sigma_{L_1} + \sigma_{L_2} + \sigma_{\frac{L_1}{L_2}} = 2\sigma$$

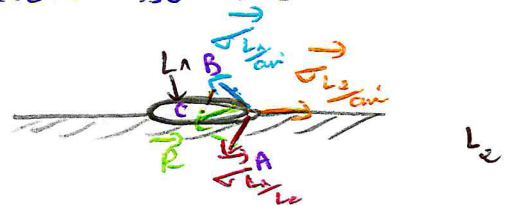
$$\Rightarrow W = 2\sigma \cdot S \quad \text{energie de cohesion}$$

Phenomenes d'etatement d'un liquide sur un autre:

L_1, L_2 : 2 liquides non miscibles

Pour que L_1 reste en goutte a la surface de L_2 , il faut que la condition d'equilibre vectorielle soit realisee:

$$\vec{\sigma}_{\frac{L_1}{\text{air}}} + \vec{\sigma}_{\frac{L_2}{\text{air}}} + \vec{\sigma}_{\frac{L_1}{L_2}} = 0$$



$$|\vec{\sigma}_{\frac{L_2}{\text{air}}}| = |\vec{R}| \quad \text{condition d'equilibre (non etatement)}$$

Triangle ABC: $AC < AB + BC$ $|\vec{R}| < |\vec{\sigma}_{\frac{L_1}{\text{air}}}| + |\vec{\sigma}_{\frac{L_1}{L_2}}|$

Condition de non etatement: $|\vec{\sigma}_{\frac{L_2}{\text{air}}}| < |\vec{\sigma}_{\frac{L_1}{\text{air}}}| + |\vec{\sigma}_{\frac{L_1}{L_2}}|$

à l'inverse, la condition d'etatement s'ecrit:

$$|\vec{\sigma}_{\frac{L_2}{\text{air}}}| > |\vec{\sigma}_{\frac{L_1}{\text{air}}}| + |\vec{\sigma}_{\frac{L_1}{L_2}}|$$

en ajoutant la même quantité :

$$\sigma_{L_2/air} + \cancel{\sigma_{L_1/air}} - \cancel{\sigma_{L_1/L_2}} > \sigma_{L_1/air} + \cancel{\sigma_{L_2/L_2}} + \cancel{\sigma_{L_1/air}} - \cancel{\sigma_{L_1/L_2}}$$

$$\underbrace{(\sigma_{L_1/air} + \sigma_{L_2/air} - \sigma_{L_1/L_2}) S}_{W_{L_2/L_2} \text{ energie d'adhésion}} > \underbrace{2\sigma_{L_1/air} S}_{\text{energie de cohésion de } L_1} \Rightarrow \text{condition d'étalement}$$

B. Surface des solides :

Energie d'adhésion d'un liquide sur un solide :

$$W_{L/S} = (\sigma_{L/G} + \sigma_{S/G} - \sigma_{L/S}) \cdot S$$

$$\sigma'_{L/S} = \sigma_{L/G} + \sigma_{S/G} - \sigma_{L/S} = \frac{W_{L/S}}{S} \quad ; \text{coef d'adhésion}$$

Séparation de trois phases: Gaz-liquide-solide.

$$\vec{\sigma}_{S/G} + \vec{\sigma}_{L/G} + \vec{\sigma}_{L/S} = \vec{0}$$



Par projection: $\sigma_{S/G} - \sigma_{L/S} - \sigma_{L/G} \cos \alpha = 0$

$$\sigma_{S/G} - \sigma_{L/S} = \sigma_{L/G} \cos \alpha$$

$$W_{L/S} = (\sigma_{L/G} + \sigma_{S/G} - \sigma_{L/S}) S \Rightarrow \sigma_{L/G} \cos \alpha = \sigma_{S/G} - \sigma_{L/S}$$

$$\Rightarrow \boxed{W_{L/S} = \sigma_{L/G} (1 + \cos \alpha) S} \quad \text{relation de Young}$$

(Surface unitaire)

Si $\alpha = 180^\circ \Rightarrow \cos \alpha = -1 \Rightarrow W_{L/S} = 0 \Rightarrow$ mouillage nul.

Si $\alpha = 0^\circ \Rightarrow \cos \alpha = 1 \Rightarrow W_{L/S} = 2\sigma_{L/G} = W_L \Rightarrow$ mouillage maximum

(parfait) : (energie de cohésion de liquide = travail d'adhésion)

Si $\alpha < 90^\circ \Rightarrow 0 < \cos \alpha < 1 \Rightarrow \sigma_{L/G} < W_{L/S} < 2\sigma_{L/G} \Rightarrow$ mouillage bon

mais non parfait

Si $90^\circ < \alpha < 180^\circ \Rightarrow -1 < \cos \alpha < 0 \Rightarrow 0 < W_{L/S} < \frac{\sigma_{L/S}}{\cos \alpha} \Rightarrow$
 mouillement **mauvais** mais **non nul**.

Energie superficielle d'un solide: travail **moyen** qu'il faut fournir pour créer de façon **reversible** et **isotherme** une unité de surface **apparente**.

Moyen, apparente \Rightarrow dû au fait que la surface d'un solide n'est jamais connue.

Energie d'adhésion d'un liquide sur un solide.

travail fourni pour séparer le liquide L du solide S en faisant apparaître 2 nouvelles surfaces: $\frac{L}{\text{air}}$ et $\frac{S}{\text{air}}$

Agent mouillant: substance, lorsqu'elle est mise en solution, favorise le mouillement du solide par le liquide mais en solution agit en formant une couche par adsorption sur le solide.

- Partie formée de groupement **hydrophobe** \Rightarrow ^{constitue} chaîne assez courte \Rightarrow se fixe sur le solide (ou graisse)
 - Partie formée de groupement **hydrophile** \Rightarrow plusieurs groupement \Rightarrow se fixe sur le liquide en solution, ce qui rend les corps solides (graisse) **mouillable**
- En général, les **agents mouillants** sont **tensio actifs**

Couches monomoléculaires:

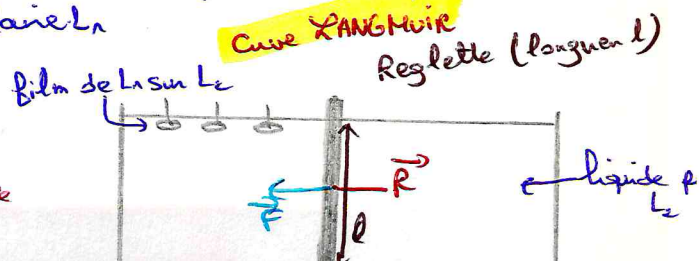
Réalisation 2 façons:

- En utilisant des corps **solubles**, mais **fortement tensio actifs** (adsorption) \Rightarrow couches d'adsorption.
- En utilisant des corps **insolubles**, par lesquels les **conditions d'étalement** sont réalisées ($W_{L_2/L_2} > W_{L_1/L_2}$) \Rightarrow ne s'orientent pas de manière quelconque.

Pression superficielle: de la TS d'un liquide par L_2 lorsqu'il est recouvert d'un film superficiel monomoléculaire L_1

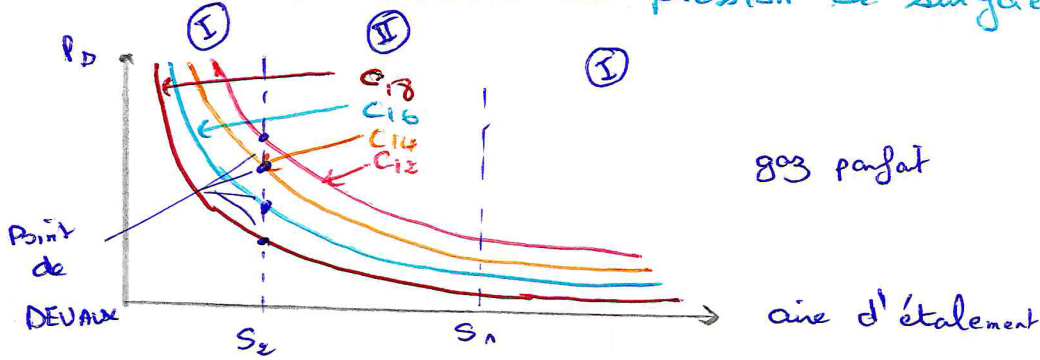
$$F = R = (\sigma_{L_2} - \sigma_{L_1/L_2}) l$$

$$P_s = \frac{F}{l} = \frac{R}{l} = \sigma_{L_2} - \sigma_{L_1/L_2} \Rightarrow \text{Pression de Surface}$$



Equation d'état des couches monomoléculaires.

• Résolution des mesures de pression de surface dans les cas des AG



Point de DEVAUX: où la pression = pression de vapeur saturée.



• l'aire occupée par chaque molécule: $s = \frac{SM}{mN}$

• le volume élémentaire des molécules $V_e = \frac{M}{\rho N}$

• le rayon de chaque molécule: $r = \sqrt{\frac{V_e}{\pi}}$

• Epaisseur (longueur) d'une molécule: $h = \frac{V_e}{s}$

• Longueur moyenne d'une liaison entre 2 atomes de carbone voisins $l = l_c$

• Equation d'état: Interprétation de la courbe P_s .

Zone I: aires $> S_1$ où le film superficiel monomoléculaire est à l'état gazeux. Les molécules sont indépendantes les unes des autres.

Pour des surfaces très grandes: $P_s \approx 10^{-5} \frac{J}{m^2}$ la loi $P_s = nRT$ est vérifiée.

Le gaz superficiel est dit **parfait**.

Pour des surfaces plus faibles, cette loi n'est plus vérifiée de manière rigoureuse car il y a quelques interactions entre les molécules.

Zone III: aires $< S_2$: Toute compression travail contre les forces de répulsion $\Rightarrow \uparrow$ de la $P_s \Rightarrow$ faible compressibilité (état condensé).

Zone II: palier de changement d'état, coexistence; Phases de surface: **gazeuse** et **condensée**. cette dernière se forme jusqu'à la limite (Point de DEVAUX).
La pression correspondante: pression de vapeur saturante.

Au point de DEVAUX, seule la phase condensée existe \Rightarrow les molécules sont jointives
l'aire d'étalement au point de D est la même qu'il soit l'AG \Rightarrow confirme l'hypothèse de la distribution des chaînes \perp à la surface de l'eau donc la longueur de l'AG n'intervient pas dans son encombrement superficiel

Le surfactant pulmonaire sécrété par certaines cellules de la paroi alvéolaire fait défaut dans le cas suivants:

- Développement embryonnaires avant 6 mois
- Césarienne.
- Enfant né de mère diabétique
- Trouble du métabolisme des lipides.

⇒ ralentissement circulatoire capillaire.
↓
non réabsorption du liquide alvéolaire.
↓
inactivé le surfactant pulmonaire

Conséquence:

Défaut de diffusion des gazs.

↓
Detresse respiratoire

↓
Collapsus respiratoire (aplatissement des poumons)

Chapitre 09 : Écoulement des fluides non visqueux

État fluide (gaz ou liquide) : absence de forme propre, prend celle de récipient.

- s'écoule sous l'influence :
 - Des forces extérieures dues à la pesanteur.
 - ou - Des différences de pression.
- La vitesse de l'écoulement dépend de la nature des fluides.

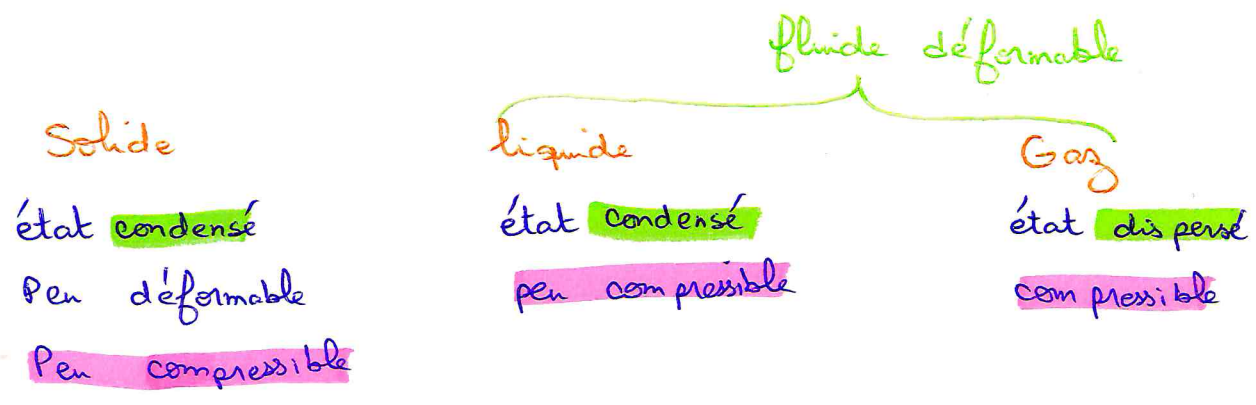
Fluide parfait (idéal) :

- Dépourvu de viscosité \Rightarrow Pas de frottement \Rightarrow pas de perte d'énergie.
- Pression est normale à tout élément de surface de la paroi

Fluide réel :

- Il est visqueux \Rightarrow frottement \Rightarrow écoulement + dégagement de chaleur
- Les forces tangentielles se manifestent entre 2 portions voisines de fluide

Un fluide (parfait ou réel) est dit incompressible si son volume ne dépend pas de la pression.



La pression : force exercée normalement sur une surface unitaire.



Dans N

Statique des fluides: "situation immobile, notion de pression"

Pression d'un liquide:

- La pression en un point donné est **indépendante** de l'orientation de la capsule sur laquelle s'exerce cette pression
- La dénivellation h est **proportionnelle** à la profondeur H et à ρ
- La pression **augmente** avec la **profondeur** et **diminue** avec **l'altitude**.

$$dP = -\rho g dz \Rightarrow dP + \rho g dz = 0 \Rightarrow \boxed{P + \rho g z = cte} \text{ 1ère forme}$$

Loi de Pascal

= Théorème fondamental de l'hydrostatique
(Variation de pression de fluide avec l'altitude)

2ème forme:

02 points situés au même niveau dans un même liquide en équilibre ont la même pression.

$$P_A = P_B$$

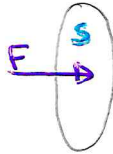
$$\begin{cases} P_A = P_0 + \rho g R \\ P_B = P_0 + \rho' g R' \end{cases} \Rightarrow \boxed{\rho R = \rho' R'}$$

Travail de forces de pression:

03 conditions: fluide immobile (statique), incompressible, isotherme.
 \downarrow
 donc liquide

$$W_{A \rightarrow B} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

$$W_{A \rightarrow B} = \int_A^B P \cdot S \cdot dl = \int_A^B P dV$$



$$P = cte \Rightarrow W = P(V_B - V_A)$$

$$V = cte \Rightarrow W = V(P_A - P_B)$$

$$P, V \neq cte \Rightarrow \boxed{W = \int P \cdot dV} \text{ Travail des forces de pression.}$$

$$\boxed{W = - \int P dV} \text{ Travail effectué contre les forces de pression}$$

Poussée d'Archimède: Tout corps immergé dans un liquide subit une poussée verticale, dirigée vers le haut égale au poids du liquide déplacé, appelée: Poussée d'Archimède

$$\boxed{V_L = \frac{\rho}{\rho'} \frac{\rho z_0}{\eta} (P - P')}$$

$P > P'$
 $P < P'$

\vec{V}_L et \vec{g} ont le même sens (vers le bas)
 " " " ont un sens \neq (vers le haut)

$$\boxed{(P - P') V_L = \rho V}$$

Equation de continuité:

Ecoulement laminaire: "dynamique des fluides, notion de débit".

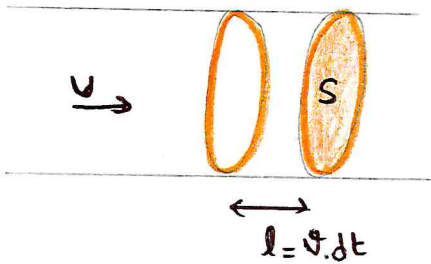
Cas d'un fluide incompressible:

La quantité de liquide qui pénètre par une extrémité = à la quantité qui sort de l'autre extrémité. **Equation de continuité:**

⇒ elle exprime la **conservation du débit**.

Débit: Volume de fluide qui traverse une section S par unité de temps.

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad \frac{\text{m}^3}{\text{s}^{-1}}$$



$$Q = \frac{V}{dt} = \frac{Sl}{dt} = Sv$$

Equation de continuité: $Q_1 = Q_2$

Dans le cas où la totalité du fluide se déplace:

$$\Delta x = v \cdot \Delta t$$

$$V = S \cdot \Delta x = S \cdot v \cdot \Delta t$$

et $\Delta V = Q \cdot \Delta t$

⇒

$$Q = S \cdot v$$

Donc: $S_1 v_1 = S_2 v_2 = \text{cte}$

Ecoulement laminaire: si les trajectoires des particules du fluide sont // au conduit.



Ecoulement turbulent: si les trajectoires des particules du fluide sont quelconques.



Théorème de Bernoulli:

- Découle de principe de conservation d'énergie:

Travail d'un fluide lors de son déplacement = Δ d'énergie mécanique \uparrow

• Conditions d'application de Théorème de Bernoulli:

- * Fluide incompressible ($\rho = \text{cte}$)
- * Fluide dépourvu de frottement, il est non visqueux, pas de dissipation d'énergie due au frottement. \uparrow
- * L'écoulement est laminaire \Rightarrow non turbulent.
- * La vitesse de fluide en un point quelconque ne change pas au cours du temps \Rightarrow régime stationnaire.

• Démonstration:

$$\left. \begin{array}{l} S \cdot v = \text{cte} \\ \text{d'énergie cinétique} = \text{cte} \\ \text{d'énergie potentielle} = \text{varie} \end{array} \right\} \begin{array}{l} F = (P_a - P_b) S \\ W = (P_a - P_b) S \cdot \Delta x \\ \Delta U = S \cdot \Delta x \end{array} \Rightarrow \boxed{W = (P_a - P_b) \Delta U}$$

D'après la loi de conservation d'énergie: $W = \Delta U$.

Calcul de ΔU : (variation de l'énergie potentielle)

$$m = \rho \Delta V$$

énergie potentielle du fluide entrant $\rho \Delta V g y_a$
" " " " sortant $\rho \Delta V g y_b$

$$\Rightarrow \Delta U = \rho g \Delta V (y_b - y_a)$$

$$\Delta U = W \Rightarrow \rho g \Delta V (y_b - y_a) = (P_a - P_b) \Delta V \Rightarrow P_a - P_b = \rho g (y_b - y_a)$$

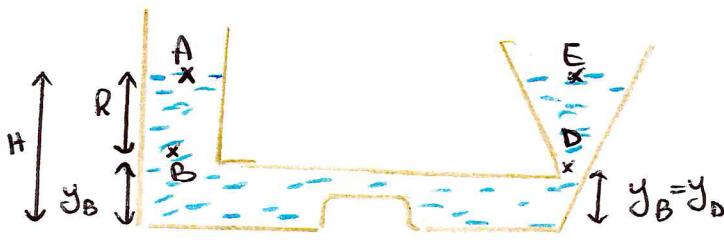
$$\boxed{P_a + \rho g y_a = P_b + \rho g y_b} \quad \text{avec } v = \text{cte}$$

Si la section S change $\Rightarrow v$ et donc l'énergie cinétique ($\frac{1}{2} \rho v^2$) changent mais d'un point à un autre.

$$\boxed{P_a + \rho g y_a + \frac{1}{2} \rho v_a^2 = P_b + \rho g y_b + \frac{1}{2} \rho v_b^2} \quad \text{donc } \boxed{P + \rho g y + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{cte}} \quad \text{Bernoulli}$$

Conséquences statiques de la Mécanique de Bernoulli:

Fluide au repos:



$$\left\{ \begin{array}{l} v = 0 \\ P_A, P_E = \text{pression atmosphérique} \\ P_B, P_D = \text{pressions au points } B, D \\ H = y_B + R \end{array} \right.$$

$$P_{atm} + \rho g H = P_B + \rho g y_B$$

$$P_B = P_{atm} + \rho g (H - y_B) = \boxed{P_{atm} + \rho g R}$$

Fluide au repos, pression est la même en tout point situé à une même profondeur.

Donc.

Pression à une profondeur h d'un fluide au repos = pression à la surface augmentée de $\rho g h$

$\rho g h$: densité d'énergie potentielle correspondante à l'altitude de la surface libre.

aussi: Pression due au poids de la colonne du liquide se trouvant au dessus de B

* Loi de Bernoulli entre B et D

$$P_B + \rho g y_B = P_D + \rho g y_D$$

$$y_B = y_D$$

$$\rightarrow \boxed{P_B = P_D}$$

Pour les grandes P Pour les faibles P

Manomètre: - tube en U, contenant un liquide (Mercure, eau, huile...)

- sert à mesurer les pressions des gaz.

- L'une des extrémités est ouverte, l'autre est au contact du gaz.

- peut servir à mesurer les pressions des liquides (non miscibles)



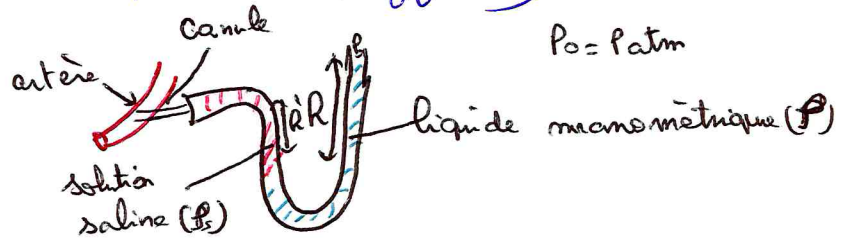
$$P + \rho g y_1 \leftarrow P + \rho g y \rightarrow P_{atm} + \rho g y_2$$

À l'égalité: $P = P_{atm} + \rho g (y_2 - y_1)$

Pression absolue $\rightarrow \boxed{P = P_{atm} + \rho g h} \leftarrow$

Mesure de la tension artérielle par cathétérisation:

- La TA est mesurée par insertion directe d'une canule (catheter)
- c'est un petit tuyau (verre ou plastique) contenant: une solution saline + agent anticoagulant
- La solution saline est au contact du liquide mais métrique
- L'interface solution-liquide doit être au même niveau que l'artère.
(si non il faut tenir compte de la différence)



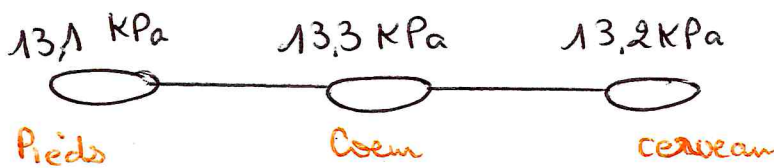
$$P + \rho g y :$$

$$P_{\text{sang}} + \rho_s g h' = P_{\text{atm}} + \rho g R$$

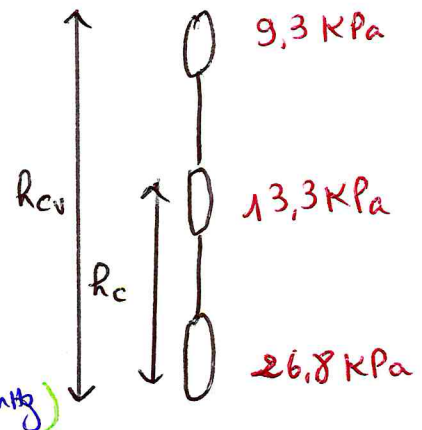
$$\Rightarrow P_{\text{sang}} = P_{\text{atm}} + \rho g R - \rho_s g h'$$

Rôle de la gravitation dans la circulation sanguine:

Position couché



Position debout



les pressions de jauge sont: P_p, P_{cv}, P_c

$$P_p = P_c + \rho g h_c = P_{cv} + \rho g h_{cv}$$

KPa
en Torr (mmHg)

Effets dus à l'accélération: $g \rightsquigarrow g+a$

$$P_p = P_{cv} + \rho (g+a) h_{cv} = P_c + \rho (g+a) h_c$$

$$P_{cv} = P_c - \rho (g+a) (h_{cv} - h_c)$$

Mesure de la tension artérielle au sphygmomanomètre:

Conséquences dynamiques de la théorie de Bernoulli:

$$\frac{1}{2} \rho v^2 \Rightarrow \text{pression dynamique.}$$

Écoulement horizontal \Rightarrow les termes gravitationnels $\rho g y$ et $\rho g h$ sont égaux:

$$P_0 + \frac{1}{2} \rho v_B^2 = P_0 + \frac{1}{2} \rho v_0^2 \Rightarrow P_0 - P_B = \frac{1}{2} \rho (v_0^2 - v_B^2)$$

$$\text{et comme: } v_B > v_0 \Rightarrow P_0 - P_B > 0 \Rightarrow P_0 > P_B$$

Il y a donc une dépression qui provoque le rapprochement:

$$v \uparrow \Rightarrow P \downarrow$$

* Écoulement d'un liquide sous l'effet de la pesanteur:

$$P' + \rho g z' + \frac{1}{2} \rho v^2 = P + \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$\rho g z' = \frac{1}{2} \rho v^2$$

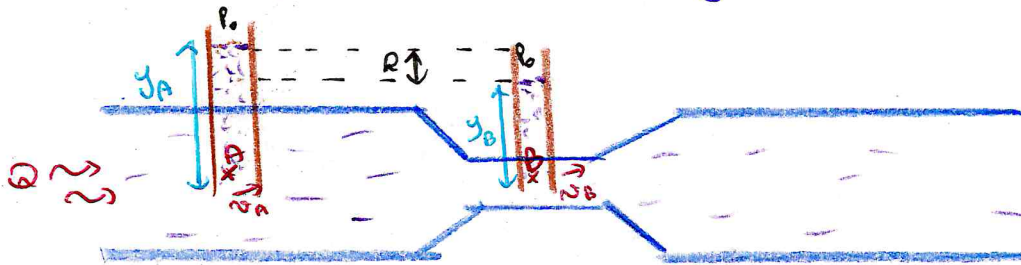
$$\begin{cases} P = P' = P_0 \\ v \neq 0 \end{cases}$$

$$v = \sqrt{2gz'}$$

mouvement parabolique.

* Les débit-mètres:

Tube de Venturi: liquide s'écoule le long d'un tube horizontal présentant un étranglement.



$$\Rightarrow S_A v_A = S_B v_B \Rightarrow (S \uparrow \Rightarrow v \downarrow) \text{ et } (v \uparrow \Rightarrow P \downarrow)$$

Théorème de Bernoulli entre A et B:

$$P_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 = P_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2 \Rightarrow P_A - P_B = \frac{1}{2} \rho (v_B^2 - v_A^2) = \frac{1}{2} \rho v_A^2 \left(\frac{v_B^2}{v_A^2} - 1 \right)$$

$$\Rightarrow S_A v_A = S_B v_B \Rightarrow v_B = \frac{S_A v_A}{S_B}$$

$$P_A - P_B = \frac{1}{2} \rho v_A^2 \left(\frac{S_A^2}{S_B^2} - 1 \right) = \frac{1}{2} \rho v_A^2 S_A^2 \left(\frac{1}{S_B^2} - \frac{1}{S_A^2} \right) = \frac{1}{2} \rho Q^2 \left(\frac{1}{S_B^2} - \frac{1}{S_A^2} \right)$$

\Rightarrow D'après Théorème de l'hydrostatique:

$$P_A = P_0 + \rho g y_A$$

$$P_B = P_0 + \rho g y_B$$

$$P_A - P_B = \rho g (y_A - y_B) = \rho g R$$

$$\textcircled{A} = \textcircled{B} \Rightarrow \frac{1}{2} \rho Q^2 \left(\frac{1}{S_B^2} - \frac{1}{S_A^2} \right) = \rho g h$$

$$Q^2 = 2gh \frac{1}{\left(\frac{1}{S_B^2} - \frac{1}{S_A^2} \right)} \Rightarrow Q^2 = 2gh \left(\frac{S_A^2 S_B^2}{S_A^2 - S_B^2} \right)$$

$$Q = \sqrt{2gh \left(\frac{S_A^2 S_B^2}{S_A^2 - S_B^2} \right)}$$

Effet de l'orientation de l'ouverture du tube sur la vitesse:

$$P_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 = P_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2$$

$$v_A = 0 \quad P_A = P_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2 \Rightarrow P_A - P_B = \frac{1}{2} \rho v_B^2$$

$$v_B = v \quad \boxed{P_A - P_B = \frac{1}{2} \rho v^2}$$

TR de l'Hydrostatique:

$$\left. \begin{array}{l} P_A = P_0 + \rho g y_A \\ P_B = P_0 + \rho g y_B \end{array} \right\} \Rightarrow P_A - P_B = \rho g (y_A - y_B)$$

$$\boxed{P_A - P_B = \rho g h}$$

Tube de Pitot:

$$\left. \begin{array}{l} P_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 \\ P_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2 \end{array} \right\} \Rightarrow P_A - P_B = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (v_A = 0 \text{ et } v_B = v)$$

$$P_c = P_0 \quad \text{avec} \quad \begin{cases} P_c = P_A + \rho g (x + h) \\ P_0 = P_B + \rho g x + \rho_m g h \end{cases}$$

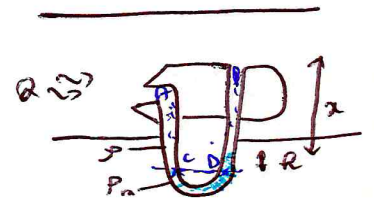
$$P_A + \rho g (x + h) = P_B + \rho g x + \rho_m g h$$

$$P_A + \cancel{\rho g x} + \rho g h = P_B + \cancel{\rho g x} + \rho_m g h$$

$$P_A - P_B = (\rho_m - \rho) g h$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_A - P_B = (\rho_m - \rho) g h \\ \text{ou } P_A - P_B = \frac{1}{2} \rho v^2 \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} \rho v^2 = (\rho_m - \rho) g h \Rightarrow \boxed{v^2 = \frac{2(\rho_m - \rho) g h}{\rho}}$$



⇒ La lecture du manomètre permet la mesure directe de la vitesse d'écoulement.

Chapitre 10: Écoulement des fluides visqueux.

Viscosité:

$$F = \eta \cdot s \cdot \frac{\Delta U}{\Delta y}$$

kg.m⁻¹.s⁻¹ ou Pa.s ou Pl

$$P_0 \text{ (poises)} = \frac{1}{10} \text{ Pl}$$

Viscosité relative:

$$\eta_r = \frac{\eta}{\eta_{\text{eau}}} = 10^3$$

Sans dimension

Viscosité cinématique:

$$\frac{\eta}{\rho} \quad \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

La fluïdité:

$$\frac{1}{\eta}$$

R! Pour les gazs: $\eta \downarrow$ quand $T \downarrow$

Pour les liquides: $\eta \downarrow$ quand $T \uparrow$ (agitation thermique dominante)

Loi de Poiseuille. elle donne: débit, viscosité du fluide, chute de pression (perte de charge) et dimensions du tube.

$$\bar{v} = \beta \frac{\Delta P}{l} R^a \eta^b$$

Annotations: \bar{v} (m/s), ΔP (kg/m.s²), l (m), R (m), η (kg/s.m)

$$\text{m.s}^{-1} = \frac{\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-2} \cdot (\text{m}^a) \cdot (\text{kg.s}^{-1}.\text{m}^{-1})^b}{\text{m}}$$

$$b = -1 \text{ et } a = 2$$

$$\bar{v} = \beta \cdot \frac{\Delta P}{l} \frac{R^2}{\eta}$$

$$\beta = \frac{1}{8} \text{ et } \bar{v} = \frac{v_{\text{max}}}{2}$$

$$Q = S \cdot \bar{v} = \pi R^2 \bar{v}$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta P R^2}{8 \eta l}$$

$$Q = \frac{\Delta P \cdot \pi \cdot R^4}{8 \eta l}$$

m³/sec

Loi de Poiseuille.

Démonstration de la Loi de Poiseuille:

$$\vec{F} + \vec{F}_p = \vec{0}$$

$$(|\vec{F}| = -\eta \cdot S_{\text{lat}} \cdot \frac{dv}{dr} \text{ et } |\vec{F}_p| = \Delta P \cdot S)$$

avec:
$$\begin{cases} S_{\text{lat}} = 2\pi r \cdot l \\ \Delta P = P_1 - P_2 \\ S = \pi r^2 \end{cases}$$

$$|\vec{F}| = |\vec{F}_p| \Rightarrow -\eta \cdot 2\pi r \cdot l \cdot \frac{dv}{dr} = \Delta P \cdot \pi r^2 \Rightarrow dv = \frac{-\Delta P}{2\eta l} r \cdot dr$$

$$\Rightarrow \int_0^v dv = \frac{-\Delta P}{2\eta l} \int_R^r r \cdot dr \Rightarrow v(r) = \frac{\Delta P}{4\eta l} (R^2 - r^2)$$

$$v_{\text{max}} = v(r=0) = \frac{\Delta P R^2}{4\eta l}$$

$$v(r) = v_{\text{max}} \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$$

Fonction
Parabolique

$$Q = \int v(r) \cdot ds = \int \frac{\Delta P}{4\eta l} (R^2 - r^2) \cdot 2\pi r \cdot dr \Rightarrow Q = \frac{\pi \cdot \Delta P \cdot R^4}{8\eta l}$$

Vitesse moyenne: $\bar{v} = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi R^2} = \frac{R^2 \Delta P}{8\eta l} = \frac{v_{\text{max}}}{2}$

Dissipation de l'énergie mécanique:

$$F = (P_1 - P_2) S = S \cdot \Delta P$$

Puissance $P = F \cdot \bar{v} = \Delta P \cdot S \cdot \bar{v} = \Delta P \cdot Q$

$$P = \Delta P \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \bar{v} \quad (\text{tube cylindrique}) : \text{vs sanguins}$$

Écoulement turbulent:

- Les lois de Poiseuille sont valables que pour: écoulement laminaire.
- Les règles empiriques qui déterminent la nature de l'écoulement:

Nombre de REYNOLDS (N_R)

$$N_R = \frac{2P\bar{v}R}{\eta} = \frac{\rho v d}{\eta}$$

Le sang

L'eau

$$N_R < 2000 \quad \text{Laminaire}$$

$$N_R < 1100 \quad \text{laminaire}$$

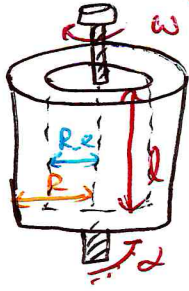
$$N_R > 3000 \quad \text{turbulent}$$

$$N_R > 1100 \quad \text{turbulent}$$

$$2000 < N_R < 3000 \quad \text{instable}$$

Viscosimètres:

Méthode de Couette: (Viscosimètre rotatif)



$$\omega = \frac{v}{R}$$

$$\sum \text{moments} = 0;$$

$$\vec{M}_c + \vec{M}_f = 0$$

Moment de couple de torsion M_c
Moment de force de viscosité M_f

Sait $\alpha \cdot C = |\vec{F}| \cdot R$ avec $|\vec{A}| = \eta \cdot S_{\text{lat}} \cdot \left| \frac{dv}{dr} \right| = \eta \cdot 2\pi R l \cdot \frac{v}{e}$

$$\Rightarrow \alpha \cdot C = \eta \cdot 2\pi R l \cdot \frac{v}{e} \cdot R \Rightarrow$$

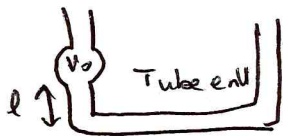
$$\eta = \frac{\alpha C e}{2\pi R^2 l v} = \frac{\alpha C e}{2V \omega} = K \frac{\alpha}{\omega}$$

Volume de cylindre

cte de viscosimètre

$$\text{avec } K = \frac{eC}{2V}$$

Viscosimètre d'OSTWALD:



$$t_0 = \frac{V_0}{Q_0}$$

Liquide indice 0.

$$t_0 = V_0 \cdot \frac{8\eta_0 l}{\pi r^4 \Delta P} \quad \text{avec } \Delta P_0 = \rho_0 g h$$

$$t_0 = \frac{8V_0}{\pi r^4 g} \cdot \frac{\eta_0}{\rho_0} = K_0' \cdot \frac{\eta_0}{\rho_0}$$

La viscosité cinématique: $\frac{\eta_0}{\rho_0} = \frac{t_0}{K_0'}$

" " absolue: $\eta_0 = \frac{t_0}{K_0} \cdot \rho_0$

Liquide quelconque:

$$t = \frac{V_0}{Q} = V_0 \cdot \frac{8\eta l}{\pi r^4 \rho g l} = K_0' \cdot \frac{\eta}{\rho}$$

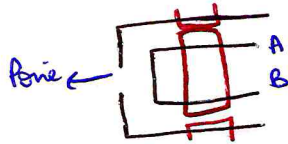
$$\eta = \frac{t}{K_0'} \cdot \rho$$

$$\eta_r = \frac{\eta}{\rho_0} = \frac{t}{t_0} \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right) = \frac{t}{t_0} \cdot d \quad \text{densité}$$

$\frac{t}{t_0}$: degré Engler.

Viscosimètre de HESS:

mesure simple et rapide



$$\eta_{\text{sang}} = \alpha \eta_{\text{eau}}$$

Viscosimètre de HOPPLER:

$$\frac{t_0}{t} = \frac{\nu l}{\nu l_0} = \frac{\eta_0}{\eta} \cdot \frac{f_s - f}{f_s - f_0} \quad (f_s, f_0 \text{ et } f_0 \text{ sont atteints rapidement le régime permanent)}$$

$$\eta_r = \frac{t}{t_0} \cdot \frac{f_s - f_0}{f_s - f}$$

L'écoulement du sang dans l'écoulement circulatoire:

Sang: constitué de divers éléments (GR, GB, P_g, P_r...)

• liquide uni forme.

• $\eta = 2.084 \times 10^3 \text{ Pl}$, $\rho = 1.0595 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ à T° normale.

Résistance à l'écoulement:

$$R_f = \frac{\Delta P}{Q} \quad (\text{Cas quelconque}).$$

Laminaire: $Q = \frac{\pi R^4}{8\eta l} \cdot \Delta P$

$$\Rightarrow R_f = \frac{8\eta l}{\pi R^4}$$

$$\text{Pa} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^3}$$

$$Q_1 = \frac{\Delta P}{R_{f1}}$$

$$Q = \frac{\Delta P}{R_{fT}} \Rightarrow R_{fT} = \frac{R_{f1} N}{N}$$

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \dots + \Delta P_N$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N$$

$$\Delta P = Q (R_{f1} + R_{f2} + \dots + R_{fN})$$

$$R_{fT \text{ serie}} = R_{f1} + R_{f2} + \dots + R_{fN}$$