Unité d'Enseignement Intégré :

Appareil Cardio-vasculaire / Respiratoire.

Matière fondamentale **:**

Biophysique

I. Propriétés mécaniques des fluides :

I.1. Introduction générale

La mécanique des fluides étudie les lois liées à l'écoulement des liquides, elle est aussi un outil particulièrement précieux en physiologie permettant de mieux comprendre les aspects physiques du système cardio-vasculaire.

En effet le sang est un liquide visqueux s'écoulant dans des canalisations représentées par les vaisseaux et dont l'écoulement obéit aux lois de la mécanique des fluides. Le sang est loin d'être un liquide parfait, il s'agit en effet d'un liquide de viscosité complexe, néanmoins les lois de l'écoulement des liquides constituent assez souvent une bonne approximation pour décrire certains aspects de la circulation sanguine.

Notion de fluide :

On regroupe sous le terme fluide les gaz et les liquides. En outre, la mobilité des molécules, et par conséquent le caractère fluide, dépend de l'intensité respective des forces d'interaction entre elles : agitation thermique contre forces de cohésion (Van der Waals notamment). Avant de définir le mot fluide, il convient donc de faire la distinction entre solide, liquide et gaz.

Un fluide apparaît donc comme un milieu continu (lorsqu'il est observé à l'échelle macroscopique) et sans rigidité (il peut facilement se déformer, même sous l'action de forces faibles).

Le mot "fluide" est généralement défini comme suit : "milieu continu, déformable et qui peut s'écouler". Tout d'abord, cette définition convient bien aux liquides et aux gaz. Ensuite il nous faut revenir pas à pas sur cette définition. Le terme "continu" devrait être précisé par "à l'échelle macroscopique", ce qui signifie que le nombre de molécules contenues dans un volume élémentaire doit être suffisamment grand pour que l'on puisse négliger toute fluctuation de ce nombre. Le mot "déformable" implique que les distances entre molécules sont variables : lors d'une déformation, les molécules changent de voisines ; il n'y a pas de "rigidité" et un fluide peut subir de grandes déformations non élastiques. Enfin l'expression "qui peut s'écouler" signifie que l'effort à fournir pour déformer un fluide est très faible par rapport à celui qu'il faudrait fournir pour déformer de la même façon un solide. Pour résumer, un fluide épouse la forme du récipient qui le contient.

Densité

La densité est le rapport entre la masse volumique du fluide étudié et celle d'un corps de référence.

Ce corps de référence peut être :

- L'eau dans le cas où le fluide étudié est un liquide ;
- L'air si le fluide étudié est un gaz (1,205 $kg.m^{-3}$ à 20°C sous 1 atm ; 1,293 $kg\ m^{-3}$ à 0°C sous 1 atm).

Compte tenu de sa définition, la densité est évidemment une grandeur sans dimension.

STATIQUE DES FLUIDES

(HYDROSTATIQUE)

I- Introduction :

L'hydrostatique est la science qui étudie l'équilibre des liquides. Elle étudie en particulier la transmission des pressions.

En hydrostatique, le fluide étant au repos, les lois établies pour un fluide parfait s'appliqueront à un fluide réel.

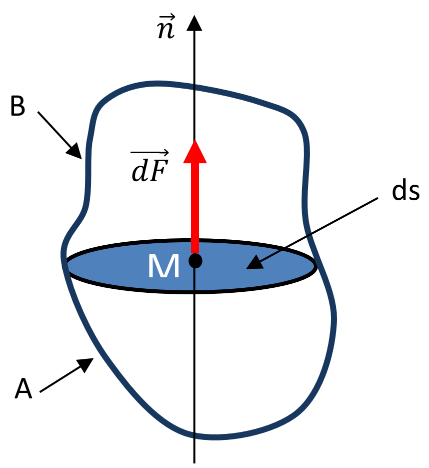
Un fluide réel diffère du fluide idéal par sa viscosité .Or celle-ci ne manifeste ses effets que s'il y a un déplacement.

II- Notion sur les pressions :

1) Définition :

Dans un milieu quelconque, entre autre le milieu fluide, la force que le volume élémentaire ***(A)*** exerce sur le volume élémentaire ***(B)*** à travers un élément de surface ***(ds)*** est: $\overrightarrow{\boldsymbol{dF}}(\boldsymbol{A} \rightarrow \boldsymbol{B})$

et soit $\vec{\boldsymbol{n}}$ la normale à ***(ds)*** passant par un point $\boldsymbol{M}$.



En fait, la force qu'exerce ***(A)*** sur ***(B)*** est composée d'une composante tangentielle et une composante normale.

La composante tangentielle est nulle (fluide au repos).

La composante normale est la force de pression.

Par définition on appelle pression la contrainte normale

$$\boldsymbol{p} = \frac{\boldsymbol{dF}}{\boldsymbol{ds}}$$

et par intégration

$$p = \frac{F}{s}$$

p est la pression au point ***M*** qui ne dépend pas de l'orientation de la surface ***ds*** et qui est exprimée dans le **S.I** en Pascal ***(Pa)*** avec

1 Pa = 1 N/m²

On trouve comme autres unités :

1 bar = 10^5 Pa

1 atm =1,013 10^5 Pa = 10 m de colonne d'eau.

2) Pression atmosphérique, pression absolue et pression relative :

· La pression atmosphérique : est la pression de l'air en un lieu donné.

Au niveau de la mer :

p_{atm} = 1 atm ≈1,013 bar = 760 mmHg

La pression d'un fluide peut être donnée en absolue ou en relative.

La référence pour la pression absolue est le zéro et pour l'effective c'est la pression atmosphérique.

· La pression absolue : est toujours positive. Elle est nulle dans le cas du vide (pas de matière)

· La pression relative (manométrique) : peut être positive, négative ou nulle. La pression effective minimale correspond au cas du vide (p_{atm}= 0)

$$p_{rel} = p_{abs} - p_{atm}$$

III- Equation générale de l'hydrostatique :

Etudiant l'équilibre d'une partie de fluide en forme de cylindre vertical de section droite très petite **ds** et d'une hauteur h.

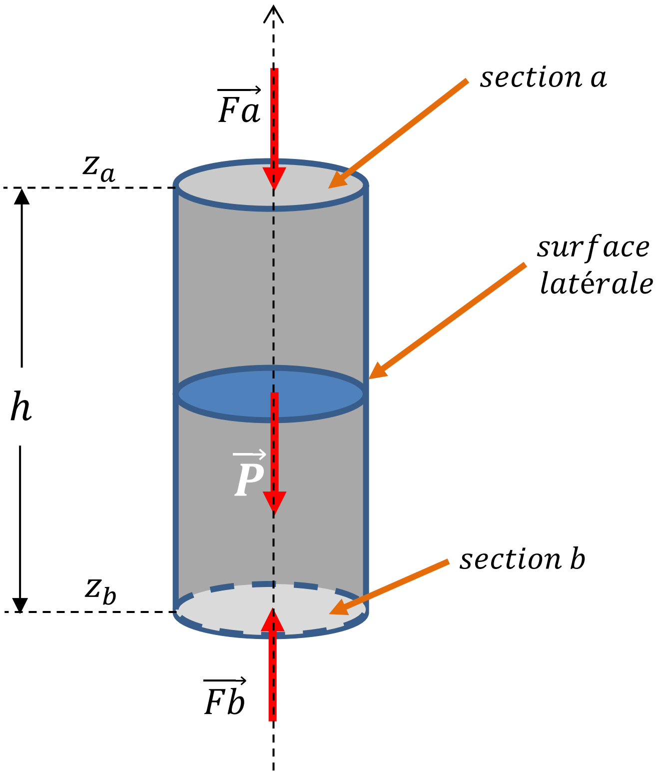
Le cylindre est soumis à l'action de son poids et à l'action des forces de pression du milieu liquide extérieur.

- Poids :

P = m.g or ***m = ρ.V***

Donc ***P = ρ.V.g*** ***(avec V = h . ds)***

$\overrightarrow{OZ}$

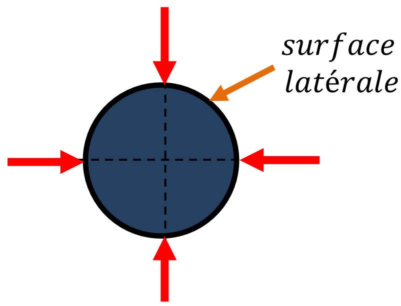


- <u>Forces de pression:</u>

section A : **Fa = Pa . ds**

section B : **Fb = Pb . ds**

surface latérale : **FL = 0**



(Les forces de pression à l'axe du cylindre s'opposent et s'annulent)

A l'équilibre :

$$\vec{P} + \overrightarrow{Fa} + \overrightarrow{Fb} = \vec{0}$$

On projette l'équation sur l'axe OZ :

$$\mathbf{-P - Fa + Fb = 0}$$

$$-\rho . V . g - p_a . ds + p_b . ds = 0$$

$$-\rho.h.ds.g - p_a.ds + p_b.ds = 0$$

$$-\rho.h.g - p_a + p_b = 0$$

or :

$$h = Z_a - Z_b \Rightarrow p_a + \rho.g.Z_a = p_b + \rho.g.Z_b$$

Conclusion:

Pour tout point i quelconque, dans un liquide au repos, défini par son altitude Z_i par à rapport à un plan de référence, on a :

$$p_i + \rho.g.Z_i = Cte$$

C'est l'équation générale de l'hydrostatique.

NB : L'équation générale de l'hydrostatique peut s'écrire en pression absolue ou en pression effective si ***Pa*** est effective alors ***Pb*** est effective, si ***Pa*** est absolue alors ***Pb*** est absolue.

APPLICATIONS :

- ***BAROMETRE DE TORICELLI :***

Déterminons la pression atmosphérique ?

h = 76 cm

Principe de la statique entre a et b :

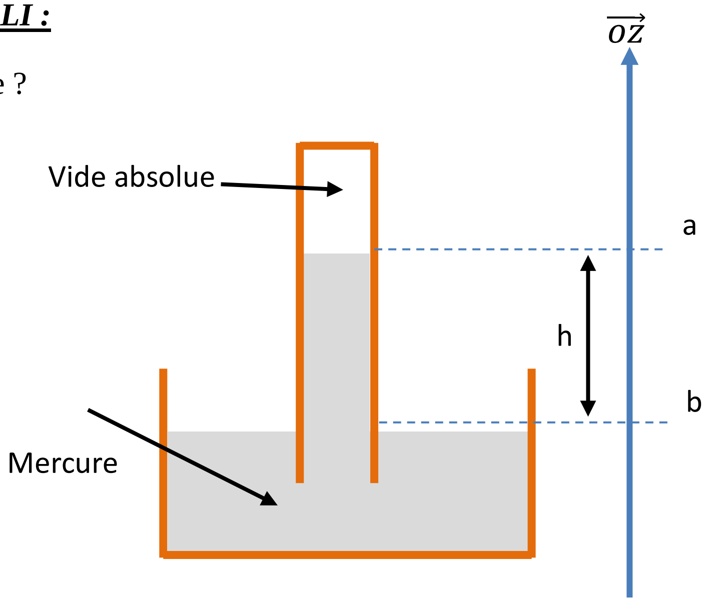
$$p_a + \rho.g.Z_a = p_b + \rho.g.Z_b$$

$$p_{atm} = p_{vide} + \rho.g.(Z_a - Z_b)$$

$$= p_{vide} + \rho.g.h$$

= 0 + 13600 * 9,8* 0,76

= 101292 Pa



- ***MANOMETRE EN U :***

Soit un réservoir contenant un liquide 1 de masse volumique $\boldsymbol{\rho 1}$, un tube en U est relié à celui-ci contenant un liquide 2 (appelé liquide manométrique) de masse volumique $\boldsymbol{\rho 2}$ .Déterminer la pression effective en ***a*** ?

Principe de la statique entre a et b :

$$p_a + \rho_1 . g . Z_a = p_b + \rho_1 . g . Z_b$$

$$p_a = p_b + \rho_1 . g . h_1$$

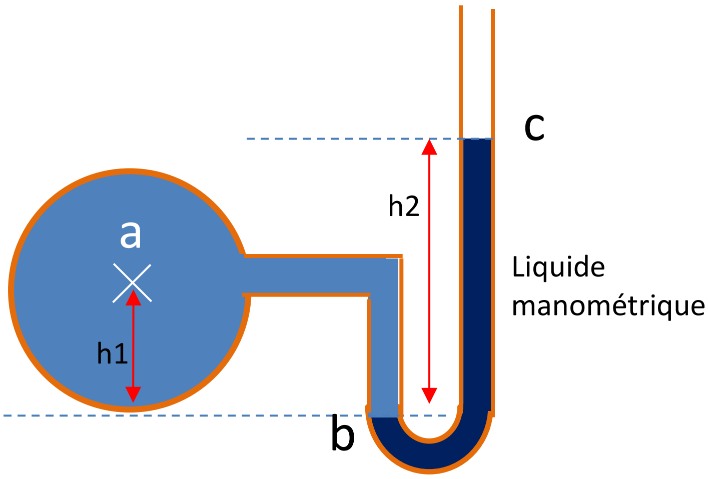
Principe de la statique entre B et C :

$$p_b + \rho_2 . g . Z_b = p_c + \rho_2 . g . Z_c$$

$$p_b = p_c + \rho_2 . g . h_2$$

Et

$$p_b = p_{atm} \quad \Rightarrow \quad p_a = p_{atm} + \rho_2 . g . h_2 - \rho_1 . g . h_1$$

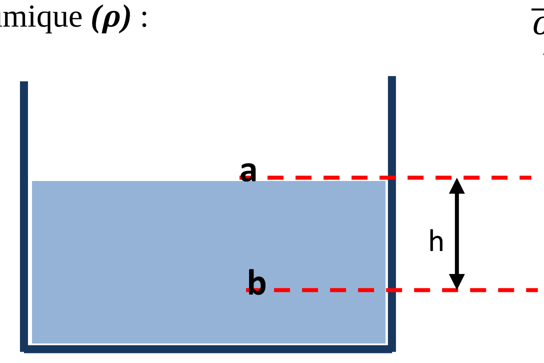


IV- Principe de Pascal :

Soit un liquide incompressible de masse volumique ***(ρ)*** :

Principe de la statique entre ***a*** et ***b*** :

$$p_b = p_a + \rho . g . h$$



Si on exerce une force sur la surface, on provoque une surpression ΔP :

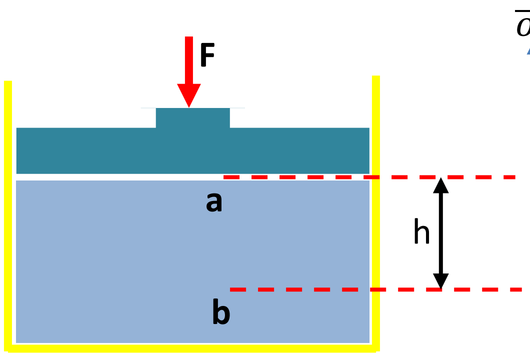
$$p'_a = p_a + \Delta p$$

Principe de la statique :

$$p'_b = p'_a + \rho . g . h$$

$$p'_b = p_a + \Delta p + \rho . g . h$$

$$p'_b = p_b + \Delta p$$



- ***Conclusion :***

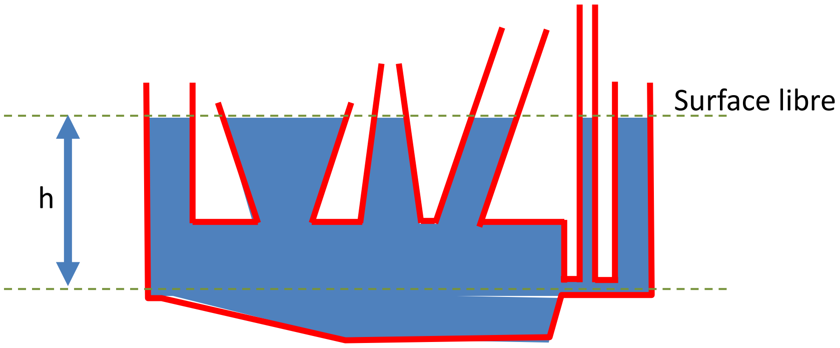
Pour tout fluide incompressible en équilibre, la variation

de la pression en un point se transmet intégralement en tout point du fluide.

Conséquences de la loi de Pascal :

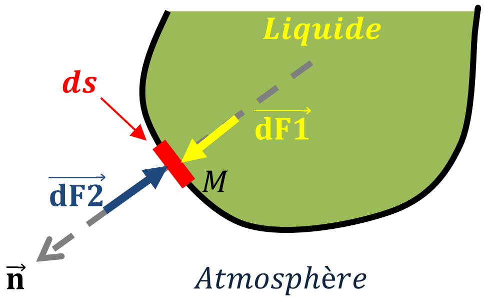
Pour des liquides incompressibles, on a :

$\Delta \boldsymbol{p} = \boldsymbol{\rho}.\boldsymbol{g}.\boldsymbol{h}$



- Quel que soit la géométrie des surfaces libres; le niveau du liquide dans des vases communicantes est le même.
- Tous les points du liquide sur le même niveau ont la même valeur de pression P.

V- Force de pression :



Soit un point ***M*** d'un fluide à la pression statique P et entouré d'une surface élémentaire ***ds*** de normale extérieure ***n***. Le fluide exerce sur la surface ds une force élémentaire ***dF1*** telle que :

$$\overrightarrow{\mathbf{dF1}} = \mathbf{P}\,.\,\mathbf{ds}.\vec{\mathbf{n}}$$

Du côté de l'atmosphère, il s'exerce une force $\overrightarrow{\mathrm{dF2}}$ telle que :

$$\overrightarrow{\mathbf{dF2}} = \mathbf{P_{atm}}\,.\,\mathbf{ds}.\vec{\mathbf{n}}$$

La force élémentaire de pression sur la surface ***ds*** sera donc:

$$\overrightarrow{\mathrm{dF}} = \overrightarrow{\mathrm{dF1}} + \overrightarrow{\mathrm{dF2}}$$

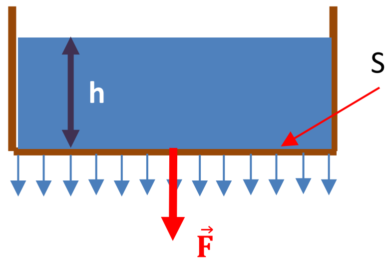
$$\overrightarrow{\mathrm{dF}} = (\mathrm{P} - \mathrm{P_{atm}}).\mathrm{ds}.\vec{\mathrm{n}}$$

$$dF = \mathrm{P_r}\,.\,\mathrm{ds}$$

Si la surface est plane, le vecteur normal n a une direction constante et nous pourrons sommer directement

$$F = \int \mathrm{P_r}\,.\,\mathrm{ds}$$

1) ***Force de pression sur une surface horizontale:***



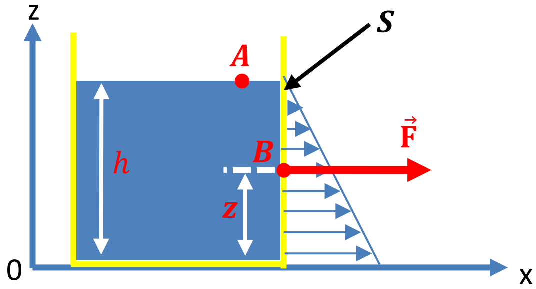
On considère un réservoir ouvert à l'air libre de surface de base ***S*** contenant une hauteur h de liquide de masse volumique $\boldsymbol{\rho}$.

$$p_r = \rho.g.h \;\text{ et }\; F = \int p_r.ds$$

$$F = \int \rho.g.h.ds \Rightarrow F = \rho.g.h \int ds$$

$$F = \rho.g.h.S$$

2) ***Force de pression sur une surface verticale:***



La pression en un point (B) quelconque de la surface est :

$$\boldsymbol{p_B = p_A + \rho.g.(h - z) = p_{atm} + \rho.g.(h - z)}$$

D'où

$$\boldsymbol{p_{B,r} + \rho.g.(h - z)}$$

$$F = \int p_{B,r}.ds = \int \rho.g.(h - z).ds$$

$$F = \int\int \rho.g.(h - z).dy.dz$$

$$F = \int_0^L dy \int_0^h \rho.g.(h - z).dz$$

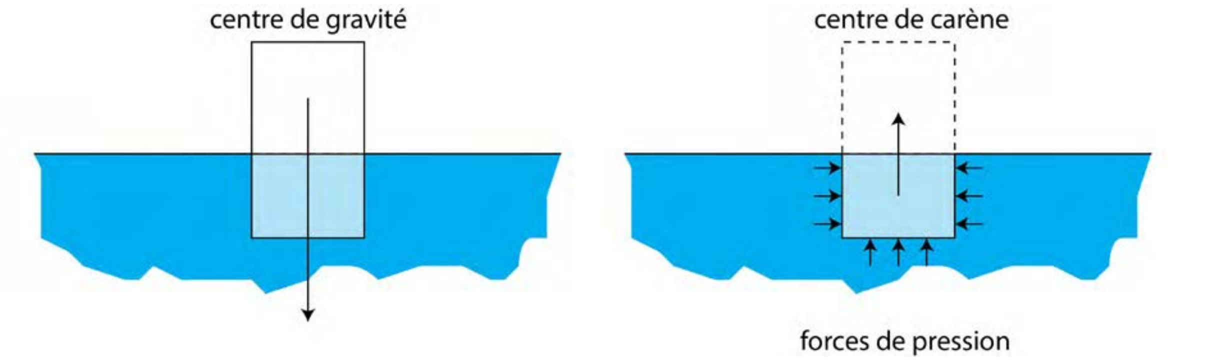
$$F = \rho.g.L.h^2/2 \quad \text{et} \quad S = h.L$$

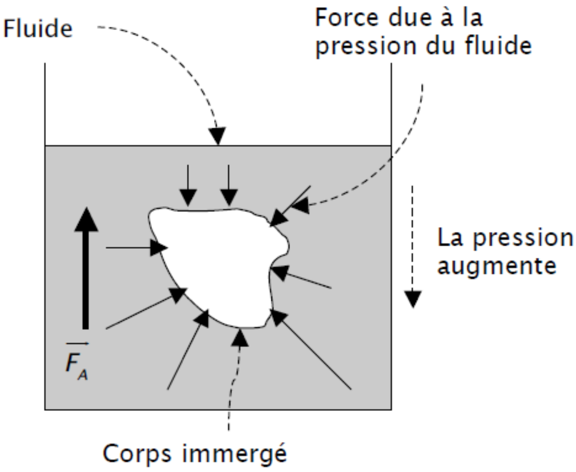
$$F = \rho.\mathrm{g}.\mathrm{S}.h/2$$

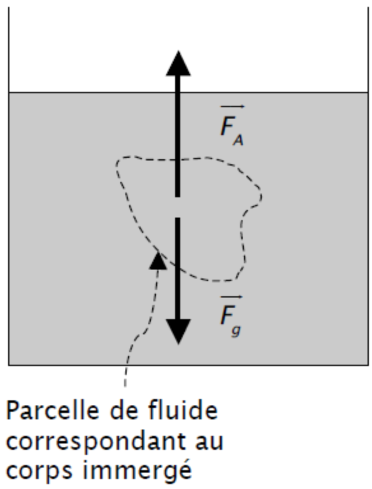
VI - Poussée d'Archimède :

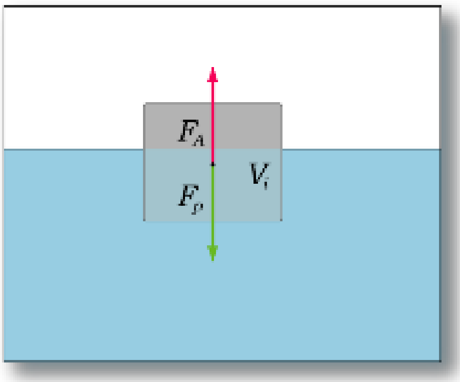
Le principe d'‘Archimède (287-212 avant Jésus-Christ) :

< Tout corps immergé dans un fluide au repos est soumis de la part du fluide a une poussée verticale, opposée a la force de gravité, égale au poids du volume de fluide déplacé et appliquée au centre de masse de ce fluide (centre appelé centre de carène pour les bateaux).









$$\overrightarrow{F_A} = -\,m_f\,.\;\vec{g}$$

$$\overrightarrow{F_p} = +\,m_s\,.\;\vec{g}$$

m_f : masse du fluide contenu dans le volume *V* déplacé.

$$\overrightarrow{F_A} = -\rho L.\,Vi\,.\;\vec{g}$$

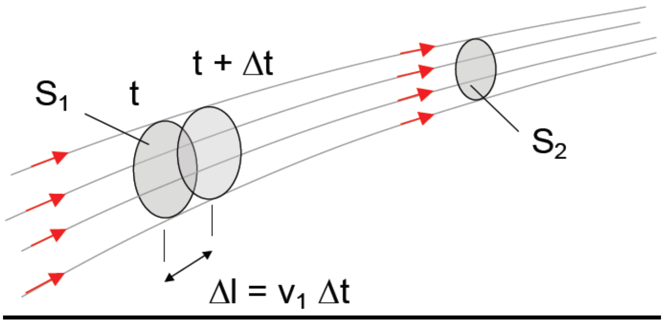
$$\overrightarrow{F_p} = \rho s.\,VT.\;\vec{g}$$

$$F_A = F_p \;\Rightarrow\; \rho_L\; V_i\, g = \rho_S\;\; V_T\;\, g$$

$$V_i = (\rho_S / \rho_L)\;\; V_T$$

DYNAMIQUE DES FLUIDES PARFAITS

I. *Conservation de débit:*



Pendant l'intervalle de temps Δt, la masse de fluide Δm qui s'écoule à travers S_1 est :

$$\Delta m = \rho . S_1 . \Delta l = \rho . S_1 . v_1 . \Delta t$$

La quantité $D_m = \rho . S . v$ est appelé débit massique [kg/s]
D_m en On peut également définir le débit volumique :

$$D_m = \rho . D_V$$

Pour un écoulement stationnaire, la conservation du débit massique entre les surfaces S_1 et S_2 impose :

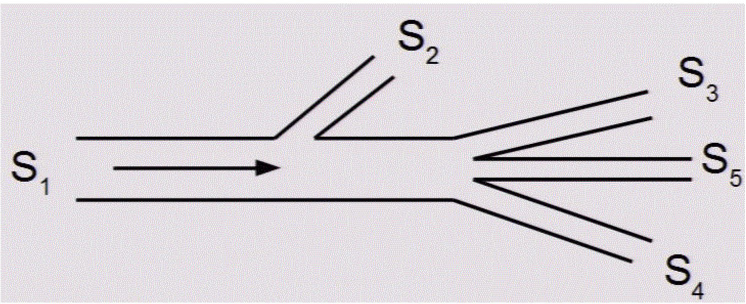
$$D_m(S_1) = D_m(S_2)$$

Pour un fluide incompressible : ρ = Cte, il s'ensuit que :

$$D_v(S_1) = D_v(S_2)$$

ou encore : $S_1 . v_1 = S_2 . v_2$ équation de continuité

- ***Ecoulement avec bifurcations***

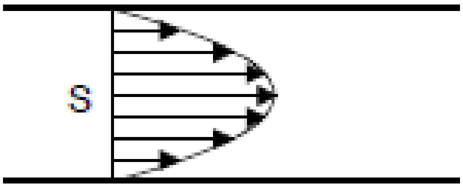


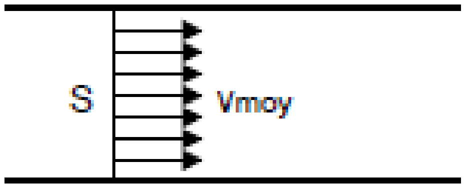
$$\sum Débits\ entrants = \sum Débits\ sortants$$

$$D_{S1} = D_{S2} + D_{S3} + D_{S4} + D_{S5}$$

$$S_1.v_1 = S_2.v_2 + S_3.v_3 + S_4.v_4 + S_5.v_5$$

2- Vitesse moyenne :





En général la vitesse v n'est pas constante sur la section S d'un tube de courant ; on dit qu'il existe un profil de vitesse (à cause des forces de frottement). Le débit s'obtient en intégrant la relation précédente :

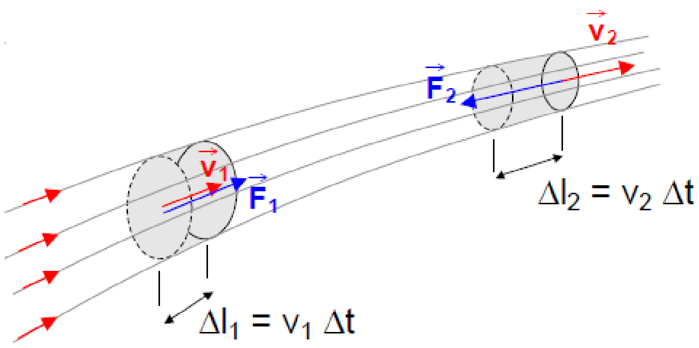
On appelle vitesse moyenne $\boldsymbol{v_{moy}}$ la vitesse telle que :

$$\boldsymbol{v_{moy}} = \frac{\boldsymbol{D_V}}{\boldsymbol{S}}$$

La vitesse moyenne v_{moy} apparaît comme la vitesse uniforme à travers la section S qui assurerait le même débit que la répartition réelle des vitesses.

Cette vitesse moyenne est inversement proportionnelle à l'aire de la section droite.

II. *Théorème de BERNOULLI :*



On considère un fluide parfait, incompressible et en écoulement stationnaire dans un champ de pesanteur uniforme.

L’énergie mécanique totale constituée de trois parties:

- Energie potentielle.
- Energie cinétique.
- Energie due aux forces de pression.

L’énergie totale est totalement conservée.

Travail des Forces pressantes: $W_1 = p_1.V_1 = p_1.S_1.\Delta l_1$
$W_2 = p_2.V_2 = p_2.S_2.\Delta l_2$

Energie cinétique: $K = \frac{1}{2}mv^2$

Energie potentielle: $U = m.g.z$

Pour un liquide parfait l’énergie totale est conservée:

Energie pressante + Energie potentielle + Energie cinétique = Cte

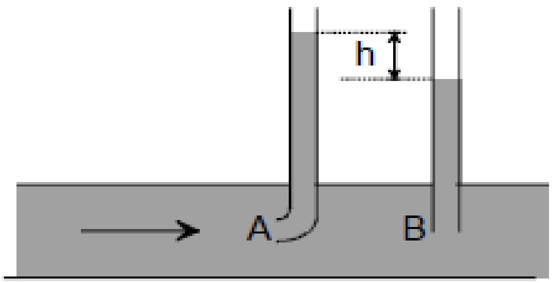
$$p.V + m.g.z + \frac{1}{2}mv^2 = Cte$$

Équation de Bernoulli:

$$\boldsymbol{p + \rho.g.z + \frac{1}{2}\rho v^2 = Cte}$$

III. Application du Théorème de Bernoulli :

a) Tube de Pitot:



On considère un liquide en écoulement permanent dans une canalisation et deux tubes plongeant dans le liquide, l'un débouchant en A face au courant, et l'autre en B est le long des lignes de courant, les deux extrémités étant à la même hauteur.

Au point B, le liquide a la même vitesse v que dans la canalisation. En A, point d'arrêt, la vitesse est nulle et la pression est p_A.

D'après le théorème de Bernoulli,

$$\boldsymbol{p_A + \rho.g.z + \frac{1}{2}\rho v_A^2 = p_B + \rho.g.z + \frac{1}{2}\rho v_B^2}$$

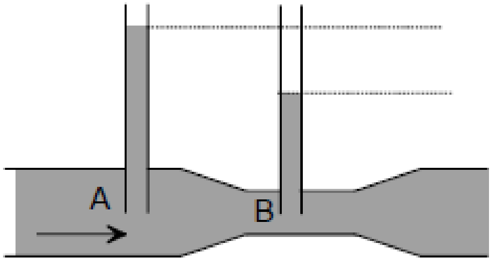
$$\boldsymbol{p_A + \rho.g.z + \frac{1}{2}\rho v_A^2 = p_B + \rho.g.z + \frac{1}{2}\rho v_B^2}$$

$$\boldsymbol{p_A = p_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2}$$

$$\boldsymbol{p_A - p_B = \frac{1}{2}\rho v_B^2}$$

$$\boldsymbol{\rho.g.h = \frac{1}{2}\rho v_B^2}$$

b) Tube de *Venturi*:



Un conduit de section principale SA subit un étranglement en B où sa section est S_B. La vitesse d'un fluide augmente dans l'étranglement, donc sa pression y diminue :

$$v_B > v_A \Rightarrow p_B < p_A$$

L'équation de Bernoulli

$$p_A + \rho . g . z + \frac{1}{2}\rho v_A^2 = p_B + \rho . g . z + \frac{1}{2}\rho v_B^2$$

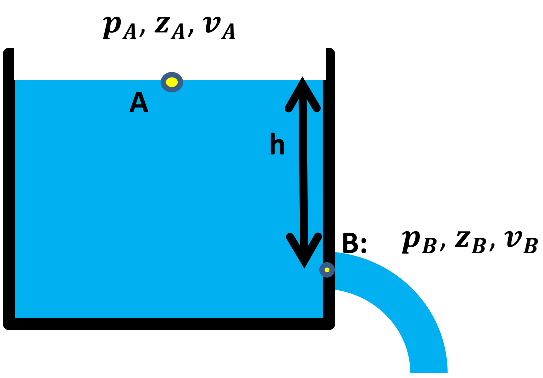
$$p_A + \frac{1}{2}\rho v_A^2 = p_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2$$

L'équation de continuité

$$v_A . S_A = v_B . S_B = D_V$$

$$p_A - p_B = \frac{1}{2}\rho\left(\frac{1}{S_B^2} - \frac{1}{S_A^2}\right) . D_V^2 = k . D_V^2$$

c) Vidange d'un réservoir:



On suppose le réservoir très grand VA >> 0

En A : p_A = p_{atm}, z = z_A, v= v_A = 0

En B : P_B = P_{atm}, z = z_B, v= v_B

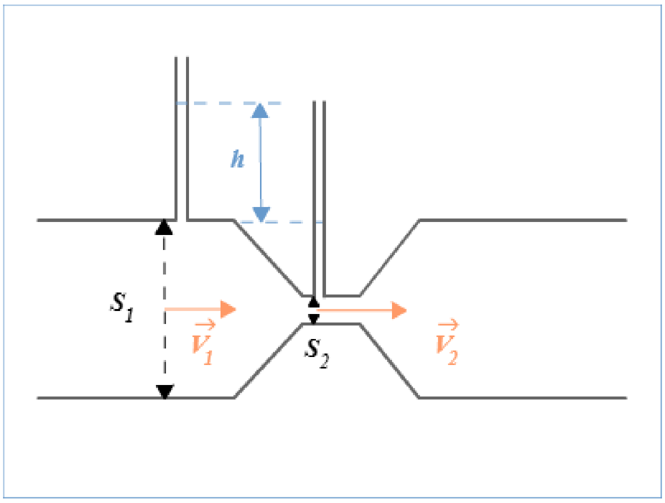
La relation de Bernoulli appliquée de A à B :

$$p_A + \rho.g.z_A + \frac{1}{2}\rho v_A^2 = p_B + \rho.g.z_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2$$

- D'où $v_B = \sqrt{2g(z_A - z_B)} = \sqrt{2gh}$ **Formule de Torricelli**

IV. *Exercices d'application :*

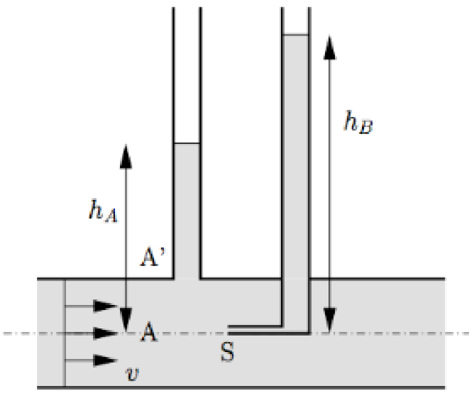
1 Tube de Venturi :



Un tube de Venturi est intercalé dans une tuyauterie dont on veut mesurer le débit. De l'eau (fluide parfait incompressible) s'écoule dans le Venturi et on appel *h* la dénivellation dans les tubes indiquant la pression. Les vitesses dans S_1 et S_2 sont uniformes.

1- Calculer la vitesse v_2 du fluide dans la section contractée en fonction des sections S_1 et S_2 et de la différence de pressions P_1 au niveau de S_1 et P_2 au niveau de S_2.
2- Exprimer le débit volumique de la conduite.

2) Tube de Pitot :



On considère deux tubes disposés sur un écoulement comme suit : le tube piezométrique est disposé sur la paroi de la conduite, et le tube de Pitot consiste en un orifice (au niveau de S) très petit faisant face à l'écoulement. Les deux extrémités hautes des tubes sont en contact avec l'atmosphère de pression uniforme p_0. On mesure la montée de fluide dans les deux tubes h_A et h_B. L'écoulement est supposé stationnaire, parfait et incompressible.

1. Quelles grandeurs mesurent les hauteurs h_A et h_B ?
2. Calculer la vitesse du fluide dans le conduit.

DYNAMIQUE DES FLUIDES REELS

Observations sur les liquide réels:

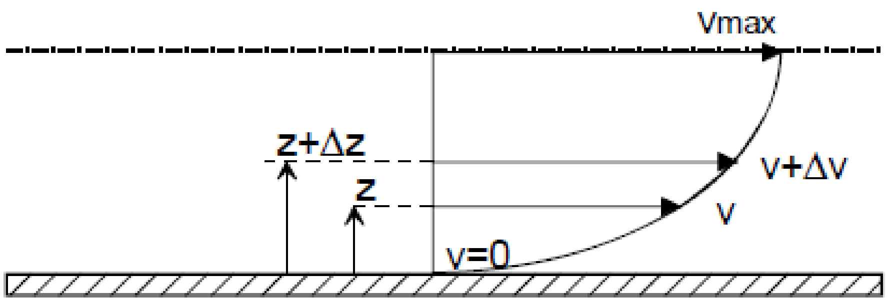
• La pression d'un liquide réel diminue tout au long d'une canalisation dans laquelle il s'écoule, même si elle est horizontale et de section uniforme, contrairement au théorème de Bernoulli.
• La pression d'un fluide réel diminue après le passage à travers un coude, une vanne ou un rétrécissement.
Conclusion
• Un fluide réel, en mouvement, subit des pertes d'énergie dues aux frottements sur les parois de la canalisation (pertes de charge systématiques) ou sur les "accidents" de parcours (pertes de charge singulières).

I. ***Viscosité:***

a) ***Définition:***

Sous l'effet des forces d'interaction entre les molécules de fluide et des forces d'interaction entre les molécules de fluide et celles de la paroi, chaque molécule de fluide ne s'écoule pas à la même vitesse. **On dit qu'il existe un *profil de vitesse***.

Si on représente par un vecteur, la vitesse de chaque particule située dans une section droite perpendiculaire à l'écoulement d'ensemble, la vitesse aura le profil suivant:



Le mouvement du fluide peut être considéré comme résultant du glissement des couches de fluide les unes sur les autres.

La vitesse de chaque couche est une fonction de la distance z de cette courbe au plan fixe : $v = v(z)$.

b) ***Viscosité dynamique :***

Considérons deux couches de fluide parallèles distantes de Δz. La force de frottement F qui s'exerce à la surface de séparation de ces deux couches s'oppose au glissement d'une couche sur l'autre.

Elle est proportionnelle à la différence de vitesse des couches soit Δv, à leur surface S et inversement proportionnelle à Δz :

$$\boldsymbol{F = \eta . S . \frac{\Delta v}{\Delta z}}$$

Le facteur de proportionnalité **η est le coefficient de viscosité dynamique** du fluide.

Dimension : $[\eta] = M.L^{-1}.T^{-1}$

Unité : Dans le système international (SI), l'unité de viscosité dynamique est **le Pascal seconde** (Pa·s) ou **Poiseuille** (Pl) : 1 Pa·s = 1 Pl = 1 kg/m·s

Autres unités :

Système d'unités (CGS) : l'unité est le Poise (Po) ; 1 Pl=10 Po.

c) ***Viscosité cinétique***

Dans de nombreuses formules apparaît le rapport de la viscosité dynamique η et de la masse volumique ρ.

Ce rapport est appelé **viscosité cinématique** ν :

$$\boldsymbol{\nu = \frac{\eta}{\rho}}$$

Dimension : $[\nu] = L^2.T^{-1}$

Unité : Dans le système international (SI), l'unité de viscosité n'a pas de nom particulier: $(\frac{m^2}{s})$.

Dans le système CGS , l'unité est le Stokes (St) :

$$1\left(\frac{m^2}{s}\right) = 10^4\ St$$

d) ***Ordre de grandeur ; influence de la température***

La viscosité des liquides diminue beaucoup lorsque la température augmente.

Il n'existe pas de relation rigoureuse liant η et T. Contrairement à celle des liquides, *la viscosité des gaz augmente avec la température*.

e) Viscosimètre d'Ostwald

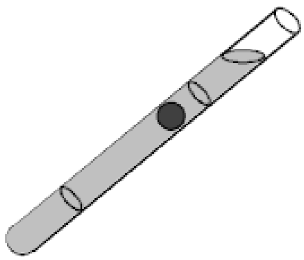
On mesure la durée d'écoulement t d'un volume V de liquide à travers un tube capillaire. On montre que la viscosité cinématique ν est proportionnelle à la durée t.

Si on connaît la constante de l'appareil (K) fournie par le constructeur :

$$\nu = K \cdot t$$

Si on ne connaît pas cette constante, on la détermine préalablement à l'aide de l'eau.

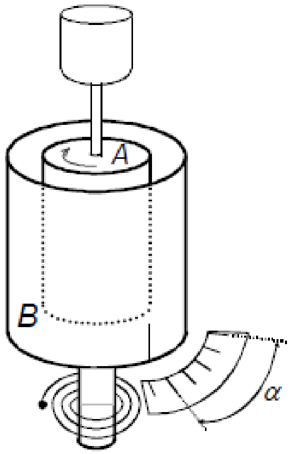
f) Viscosimètre à chute de bille ou viscosimètre d'Hoepler :



Une bille sphérique tombe lentement dans un tube bien calibré renfermant le liquide visqueux. On mesure la durée t que met la bille pour parcourir une certaine distance. On montre que la viscosité dynamique η est proportionnelle à la durée t :

$$\eta = K \cdot t$$

g) ***Viscosimètre rotatif ou viscosimètre de Couette :***

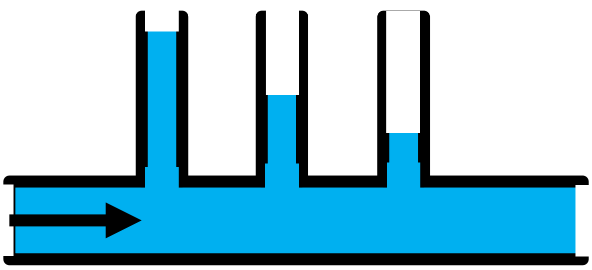


Un cylindre plein (A) tourne à vitesse constante dans un liquide contenu dans un récipient cylindrique (B) ; celui-ci, mobile autour de son axe de révolution, est entraîné par le liquide. Un ressort, exerçant un couple de torsion après avoir tourné d'un angle α, retient (B) en équilibre.

On montre que la viscosité dynamique η est proportionnelle à l'angle α :

$$\eta = K \cdot \alpha$$

II. ***PERTES DE CHARGE :***



Observations

• La pression d'un liquide réel diminue tout au long d'une canalisation dans laquelle il s'écoule, même si elle est horizontale et de section uniforme, contrairement au théorème de Bernoulli.

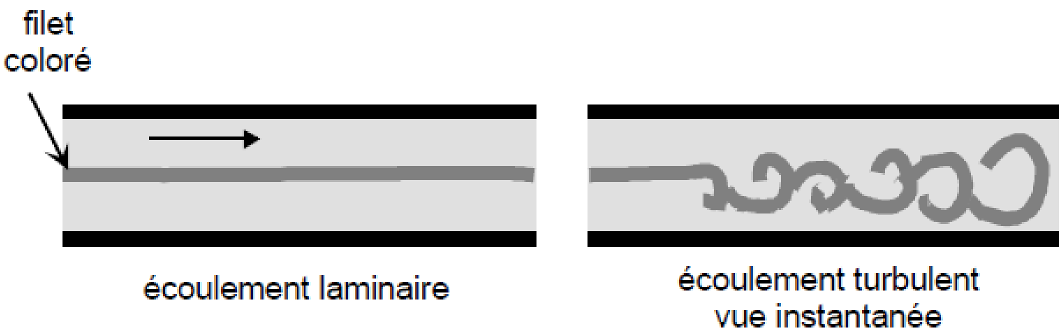
• La pression d'un fluide réel diminue après le passage à travers un coude, une vanne ou un rétrécissement.

Conclusion

• Un **fluide réel**, en **mouvement**, subit des **pertes d'énergie** dues aux frottements sur les parois de la canalisation

(Pertes de charge *systématiques*) ou sur les "accidents" de parcours (pertes de charge *singulières*).

III. Les différents régimes d'écoulement : nombre de Reynolds :



Les expériences réalisées par ***Reynolds*** (1883) lors de l'écoulement d'un liquide dans une conduite cylindrique rectiligne dans laquelle arrive également un filet de liquide coloré, ont montré l'existence de deux régimes d'écoulement : **laminaire et turbulent**.

En utilisant des fluides divers (viscosité différente), en faisant varier le débit et le diamètre de la canalisation, Reynolds a montré que le paramètre qui permettait de déterminer si l'écoulement est laminaire ou turbulent est un nombre sans dimension appelé **nombre de Reynolds** et donné par :

$$\boldsymbol{R_e = \frac{\rho.v.r}{\eta}} \quad \text{ou} \quad \boldsymbol{R_e = \frac{v.r}{\nu}}$$

avec :

$\boldsymbol{\rho}$ = masse volumique du fluide, $\boldsymbol{v}$ = vitesse moyenne, $\boldsymbol{r}$ = Rayon de la conduite, $\boldsymbol{\eta}$ = viscosité dynamique du fluide, $\boldsymbol{\nu}$ = viscosité cinématique.

L'expérience montre que :

- *si Re < 1100 le régime est* ***LAMINAIRE***
- *si Re > 1100 le régime est* ***TURBULENT***

Pour l'aorte, le régime est laminaire pour les vitesses inférieures à 40 cm/s alors que la vitesse sanguine moyenne est 30 cm/s.

IV. *Viscosité du sang :*

La viscosité relative du sang par rapport à l'eau est normalement proche de 6.

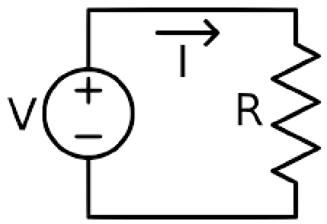
$$\eta_r = \frac{\eta_{sang}}{\eta_{eau}}$$

Des valeurs extrêmes sont observées dans les anémies aigues ($\eta_r = 1{,}75$) et les polyglobulies aigues ($\eta_r = 25$).

Dans ce dernier cas la viscosité importante du sang est responsable des accidents Trombo-emboliques.

Dans le sang, la viscosité augmente avec le rapport: $\frac{\text{Globuline}}{\text{Albumine}}$

V. *Rappel des notions de l'électricité:*



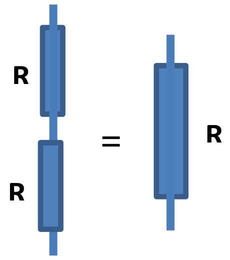
$$\Delta U = R.I$$

ΔU: Différence de potentiel entre ***A*** et ***B***;

R: Résistance;

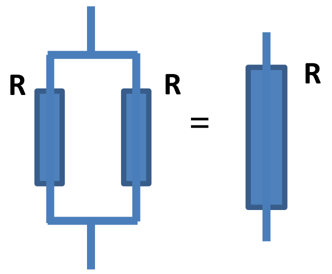
I: Courant (Débit d'électron)

Somme des résistances (en série):



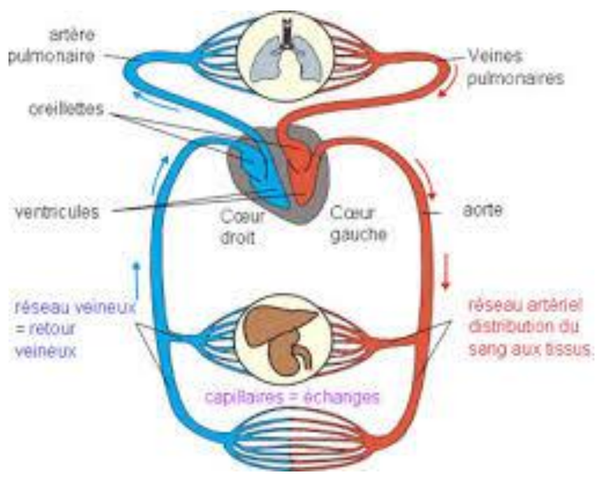
$$R = R1 + R2$$

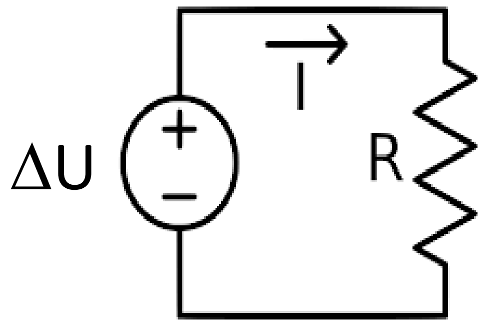
Somme des résistances (en parallèle):



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}$$

VI. ***Ressemblance entre le circuit électrique et le circuit sanguin hydraulique:***

<table>
<tr>
<td>


</td>
<td>


</td>
</tr>
<tr>
<td>Dans un circuit hydraulique circule des liquides.
• Le cœur est une pompe qui augmente la pression sang injecté dans l'aorte.
• Le sang subit une résistance lors de son passage dans les organes et perd de son énergie (pression).</td>
<td>Dans un circuit électrique circule des électrons.
• Le générateur est une pompe qui porte les électrons à un potentiel élevé injectés dans A.
• Les électrons subissent une résistance dans le circuit et perdent de leurs énergies (potentiel).</td>
</tr>
</table>

VII. ***Résistances vasculaires (Loi de Poiseuille):***

Par analogie Hémodynamique-Electrocinétique, pour un **écoulement laminaire**, dans une conduite cylindrique horizontale, la relation entre la différence de pression et le débit volumique d'un fluide est donné par :

$$P_1 - P_2 = \frac{8\eta . l}{\pi r^4} . D_V$$

- ***Application à la grande circulation:***

La résistance Périphérique Totale (RPT) est définie par:

$$\frac{Préssion\ ventriculaire\ gauche - Pression\ oreillette\ droite}{débit\ cardiaque}$$

$$R = \frac{P_{v.g} - P_{o.d}}{D_c}$$

R s'exprime en unité de résistance périphérique (U.R.P) si P est exprimé en mmHg et D en ml/s.

R résulte de la somme de plusieurs termes.

$$R = R_{artères} + R_{artérioles} + R_{capilaires} + R_{veines}$$

- ***Exercice d'application:***

Les conditions de repos et d'exercices modérés chez un sujet sont définies dans le tableau suivant:

	P ventricule gauche	P oreillette droite	Débit cardiaque
Repos	100 mmHg	5 mmHg	5,4 l/mn
Exercices modérés	140 mmHg	5 mmHg	16,2 l/mn

- Calculer la RPT en URP, en Unités SI.