ANNEE 2007-2008

FACULTE DE PHARMACIE

DATE : MARDI 04 MARS 2008

SEMINAIRE DE PHYSIQUE N°2

PROGRAMME :

- ✓ DYNAMIQUE DES FLUIDES.
- ✓ ELECTROSTATIQUE.

Constantes universelles de physique

Constante	Valeur exacte	Approximation
Célérité de la lumière dans le vide	$c = 299\ 792\ 458\ m.s^{-1}$	$c = 3.10^{8}\ m.s^{-1}$
Constante de Plank	$h = 6{,}626176.10^{-34}\ J.s$	$h = 6{,}6.10^{-34}\ J.s$
Charge élémentaire	$e = 1{,}6021892.10^{-19}\ C$	$e = 1{,}6.10^{-19}\ C$
Masse au repos de l'électron	$m_e = 9{,}109534.10^{-31}\ Kg$	$m_e = 9{,}11.10^{-31}\ Kg$
Masse au repos du neutron	$m_n = 1{,}675.10^{-27}\ Kg$	$m_n = 1{,}68.10^{-27}\ Kg$
Masse au repos du proton	$m_p = 1{,}6726485.10^{-27}\ Kg$	$m_p = 1{,}67.10^{-27}\ Kg$
Nombre d'Avogadro	$N_A = 6{,}022045.10^{23}\ mol^{-1}$	$N_A = 6{,}023.10^{23}\ mol^{-1}$
Le Rydberg	$R = 10973732\ m^{-1}$	$R = 1{,}097.10^{7}\ m^{-1}$
Constante des gaz parfaits	$R = 8{,}314\ J.mol^{-1}.K^{-1}$	$R = 8{,}31\ J.mol^{-1}.K^{-1}$
Constante de Boltzmann	$K_B = \frac{R}{N_A} = 1{,}3805941.10^{-23}\ J.K^{-1}$	$K_B = \frac{R}{N_A} = 1{,}38.10^{-23}\ J.K^{-1}$
Permittivité du vide	$\varepsilon_0 = 8{,}85419.10^{-12}\ F.m^{-1}$	$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi 10^{-7} c^2} = 9.10^{-12}\ F.m^{-1}$
Perméabilité du vide	$\mu_0 = 1{,}3.10^{-6}\ H.m^{-1}$	$\mu_0 = 1{,}3.10^{-6}\ H.m^{-1}$

DYNAMIQUE DES FLUIDES

I – Dynamique des fluides parfaits :

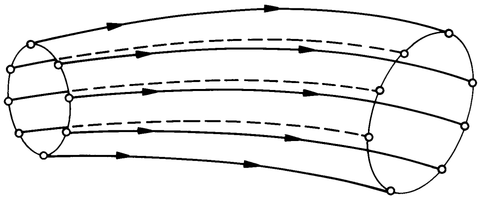
1) Définitions :

- ✓ Un fluide est dit parfait si sa viscosité est rigoureusement nulle c'est-à-dire s'il n'y pas de perte d'énergie mécanique par frottements internes au fluides (frottements entre les molécules constituant le fluide).

- ✓ Un régime d'écoulement est dit **permanent ou stationnaire** si les paramètres qui le caractérisent (pression, température, vitesse, masse volumique) ont une valeur constante au cours du temps.

- ✓ **Ligne de courant** : en régime stationnaire, on appelle ligne de courant la courbe suivant laquelle se déplace un élément de fluide.

- ✓ **Tube de courant** : ensemble de lignes de courant s'appuyant sur un contour fermé.



Dans la plupart des exercices, on suppose que :

- ✓ Le régime est permanent, c'est-à-dire que la vitesse d'écoulement du fluide est constante au cours du temps.
- ✓ Le fluide est incompressible (P = cste).
- ✓ les parois limitant le fluide sont fixes (pas de travail fourni) et adiabatiques (pas d'échange de chaleur avec le milieu extérieur).

2) Le débit :

Le débit est la quantité de matière qui traverse une section droite pendant l'unité de temps.

Débit massique D_m ($Kg.s^{-1}$)

$$\boxed{D_m = \frac{dm}{dt}}$$

Débit volumique D_V ($m^3.s^{-1}$)

$$\boxed{D_V = \frac{dV}{dt}}$$

A partir de la relation entre la masse et le volume $m = \rho \times V$, on peut écrire :

$$\boxed{D_m = \rho \times D_V}$$

En tout point d'un tube de courant, le débit D se conserve :

$$\boxed{\mathbf{D_V = v \times S}}$$

v est la vitesse d'écoulement en tout point du fluide (en $m.s^{-1}$).
S est la section du tube en m².
D_V est le débit volumique dans le tube en $m^3.s^{-1}$.

3) Théorème de Bernoulli :

Dans un fluide parfait, incompressible en écoulement permanent, la charge du fluide E (ou énergie mécanique par unité de volume) est constante tout au long d'un tube de courant.

$$\boxed{E = P + \rho.g.z + \frac{1}{2}.\rho.v^2 = cste}$$

✓ P : pression statique exercée par le fluide sur la section S.

✓ $\rho.g.z$ est la pression de pesanteur, où ρ est la masse volumique du fluide, g l'accélération du champ de pesanteur et z la hauteur du fluide (l'axe Ox est orienté vers le haut).

✓ $\frac{1}{2}.\rho.v^2$ est la pression cinétique, où v est la vitesse d'écoulement en tout point du fluide.

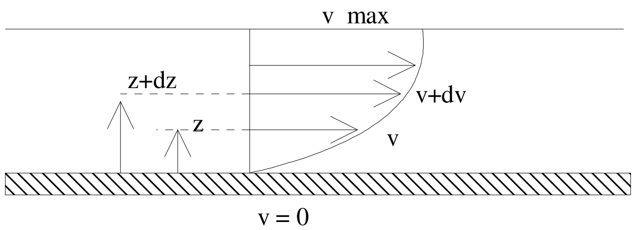
Remarque : En différenciant cette relation, on retrouve la loi de la statique des fluides (où v = 0).

II – Dynamique des fluides réels :

1) Notion de viscosité :

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 a 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 courbe lieu des extrémités de ces vecteurs représente le profil de vitesse.
Le mouvement du fluide peut être considéré comme résultant du glissement des couches de fluide les unes sur les autres.

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

a) Viscosité dynamique :

En considérant 2 couches parallèles distantes de dz, 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 dv, à leur surface S et inversement proportionnelle à dz :

$$\boxed{\vec{F} = -\eta S \frac{d\vec{v}}{dz}}$$ **Loi de Newton**

✓ η est le coefficient de viscosité dynamique du fluide. Il s'exprime en Pa.s ou en Poiseuille Pl. Il existe une ancienne unité, le Poise (Po), où 1 Pl = 10 Po.

✓ $\frac{d\vec{v}}{dz}$ est le gradient de vitesse ou taux de cisaillement.

Il existe deux types de fluides :

- ✓ **Les fluides newtoniens** qui satisfont à la loi de Newton. Ces fluides ont un coefficient de viscosité indépendant du taux de cisaillement. C'est le cas des gaz, des vapeurs, des liquides purs de faible masse molaire.

- ✓ **Les fluides non-newtoniens.** Ces fluides ont un coefficient de viscosité dépendant du taux de cisaillement. Ce sont les solutions de polymères, les purées, les gels, les boues, le sang, la plupart des peintures, etc…

b) Viscosité cinématique :

Certaines formules font apparaître la viscosité cinématique ν ($L^2.T^{-1}$) :

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

Dans le système SI, il arrive de trouver comme unité le Stoke (St) : 1 $m^2.s^{-1}$ = 104 St

c) Influence de la température sur la viscosité :

La viscosité des liquides diminue beaucoup lorsque la température augmente.

Exemple de l'eau : $\eta = 1,3 \times 10^{-3}$ Pl à 10 °C.
$\eta = 1,0 \times 10^{-3}$ Pl à 20 °C.
$\eta = 0,3 \times 10^{-3}$ Pl à 90 °C.

Contrairement à celle des liquides, la viscosité des gaz augmente avec la température.

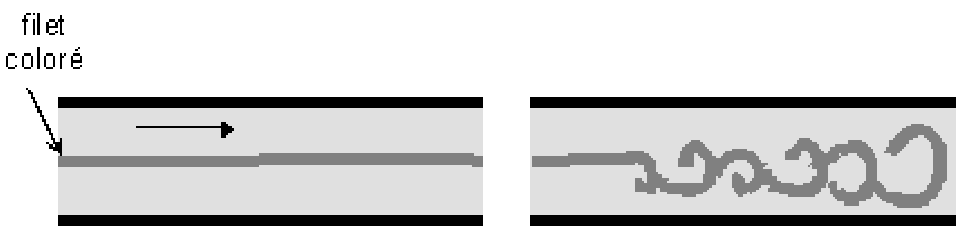
2) Le nombre de Reynolds :

En utilisant des fluides de 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** :

$$\boxed{R = \frac{\rho\, v\, d}{\eta} = \frac{v\, d}{\nu}}$$

ρ est la masse volumique du fluide ; v est la vitesse moyenne ; d est le diamètre de la conduite
η est la viscosité dynamique du fluide ; ν est la viscosité cinématique

Si R < 2000, le régime est LAMINAIRE Si 2000 < R < 10000 : le régime est intermédiaire si R > 10000 : le régime est TURBULENT



écoulement laminaire

écoulement turbulent
vue instantanée

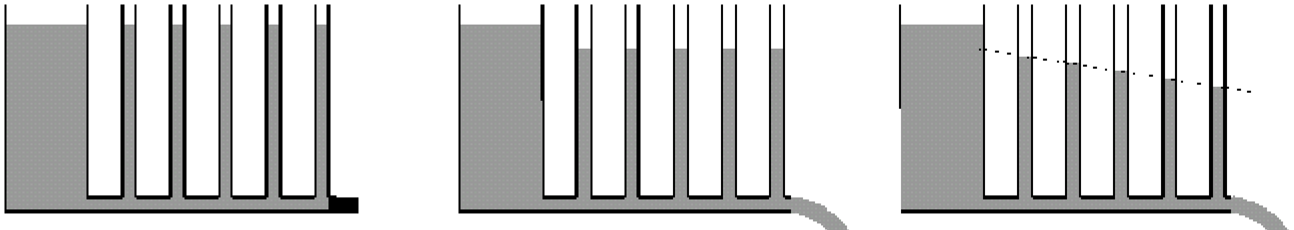
3) Loi de Poiseuille :

Un fluide s'écoule dans une conduite horizontale de section constante avec un débit déterminé, à l'aide d'un robinet.

Des colonnes verticales placées régulièrement sur la conduite repèrent les pressions à différentes abscisses.

Si le liquide était parfait, on observerait une hauteur de liquide constante dans les colonnes manométriques comme pour un liquide au repos.

Pour un liquide réel, on observe une diminution régulière de la pression tout au long de la conduite. On a une perte de charge.



Pour un écoulement permanent et laminaire, dans une conduite cylindrique horizontale, de longueur L, de rayon R, le débit volumique D_V du fluide est donné par **la loi de Poiseuille** :

$$\boxed{\Delta P = \frac{8.\eta.L}{\pi.r^4} D_V}$$

ΔP est la perte de charges en Pa.
η est la viscosité du fluide.
L est la longueur de la conduite.
r est le rayon de la conduite.
D est le débit volumique en $m^3.s^{-1}$

Dans le cas d'une conduite cylindrique non horizontale, la loi de Poiseuille devient :

$$\boxed{\Delta E = \Delta P + \rho g h = \frac{8.\eta.L}{\pi.r^4} D_V}$$

III – Exercices d'application :

1) Artère :

Une artère horizontale de 3 mm de rayon est partiellement obstruée par une plaque d'athérome.

Dans la région rétrécie, le rayon effectif est de 2 mm et la vitesse moyenne du sang est de 50 cm.s^{-1}. On considérera le sang comme un fluide parfait de masse volumique égale à celle de l'eau.

1. Quelle est la vitesse du sang dans la partie normale ?

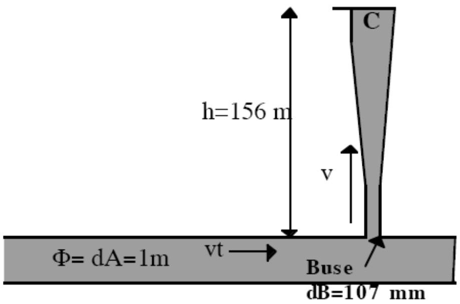
Réponse : $v_1 = 22{,}2\ cm.s^{-1}$

2. Quelle est la variation de pression entre les deux parties ?

Réponse : $\Delta P = 100{,}3\ Pa$

2) Jet d'eau de Genève :

Le jet d'eau de diamètre initial 107 mm s'élève verticalement à une hauteur de 156 m.



En négligeant les pertes par frottement et à partir d'une hypothèse quant à la vitesse en A (amont du tube) et en supposant que $P_B = P_C = 1$ atm, calculer :

1. La vitesse en B à la base du jet.

Réponse : $v_B = 55{,}32\ m.s^{-1}$

2. La vitesse en A dans le tuyau d'amenée de diamètre 1 m.

Réponse : $v_A = 0{,}63\ m.s^{-1}$

3. La pression en A.

Réponse : $P_A = 16{,}3.10^5\ Pa$

4. Le débit.

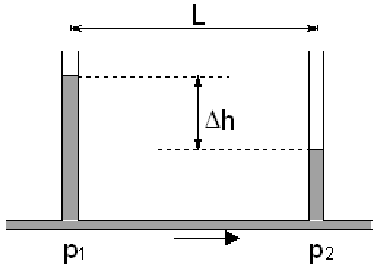
Réponse : $D = 0{,}500\ m^3.s^{-1} = 500\ L.s^{-1}$

5. L'énergie nécessaire pour alimenter le jet d'eau.

Réponse : $E = 7{,}6.10^5\ J$

3) Viscosité de l'huile :

Pour mesurer la viscosité d'une huile, on utilise le dispositif schématisé ci-dessous. On fait couler l'huile dans un tube horizontal de 7,0 mm de diamètre et comportant deux tubes manométriques verticaux situés à L = 600 mm de l'un de l'autre. On règle le débit volumique de cet écoulement à $4{,}0\times10^{-6}$ $m^3.s^{-1}$. La dénivellation de l'huile entre ces deux tubes est alors Δh = 267 mm. La masse volumique de l'huile est de 910 kg/m^3. On suppose que l'écoulement est de type laminaire.



1. Calculer la viscosité dynamique de l'huile.

Réponse : $\eta = 5{,}85.10^{-2}$ Pl

2. Calculer le nombre de Reynolds de cet écoulement ; justifier l'hypothèse initiale

Réponse : $R = 113$

4) Perte de charge du sang :

On considère que, pour un débit moyen de 105 $mL.s^{-1}$, l'écoulement sanguin dans une aorte de 13 mm de diamètre reste laminaire.

1. Quelle est dans ces conditions, en $m.s^{-1}$, la vitesse moyenne du sang dans l'aorte ?

Réponse : $v = 0{,}79\ m.s^{-1}$

2. La viscosité du sang étant de 2,084.10-3 Pa.s, quelle est la perte de charge sur une longueur de 10 cm d'aorte ?

Réponse : $\Delta P = 31{,}23$ Pa

ELECTROSTATIQUE

I – Le champ électrostatique :

Dans le vide, une charge ponctuelle q crée en tout point M distant de r un champ électrostatique ayant pour expression :

$$\boxed{\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\vec{u}}$$

Dans un autre milieu que le vide, il faut considérer la permittivité du milieu $\varepsilon = \varepsilon_r \times \varepsilon_0$.
ε_r est la permittivité relative du milieu (pour l'eau, $\varepsilon_r = 80$).

Principe de superposition :

Dans les milieux continus, en un point M de l'espace, le champ électrostatique résultant est la somme vectorielle des n différents champs créés par les n charges présentes.

II – La force électrostatique :

Loi de Coulomb :

Si on place une charge q' dans un champ électrostatique E (crée par une charge q) alors cette charge q' subit une force électrostatique F appelée force de Coulomb d'expression :

$$\boxed{\vec{F} = q' \times \vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q.q'}{r^2}\vec{u}}$$

La force électrostatique étant colinéaire au champ électrostatique, le principe de superposition s'applique aussi à cette force.

III – Le potentiel électrostatique :

Le champ électrostatique E est liée au potentiel électrostatique V par la relation :

$$\boxed{\vec{E} = -\overrightarrow{\mathrm{grad}}V}$$

Le gradient est un opérateur de dérivation. En coordonnées cartésiennes, on dérive par rapport à chacune des variables de l'espace x, y et z. Attention, le résultat une grandeur vectorielle !

$$\boxed{\overrightarrow{\mathrm{grad}}V = \vec{\nabla}V = \begin{pmatrix} \frac{\partial V}{\partial x} \\ \frac{\partial V}{\partial y} \\ \frac{\partial V}{\partial z} \end{pmatrix}}$$

En appliquant cette relation au champ électrostatique créé par une charge ponctuelle, on en déduit l'expression du potentiel électrostatique créée par une charge ponctuelle :

$$\boxed{V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r} + cste = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}}$$

A l'infini ($r \to +\infty$), le potentiel électrostatique tend vers zéro : cste = 0.

On montre que le principe de superposition est également applicable au potentiel électrostatique.

L'énergie potentielle électrostatique d'un système de deux charges q_1 et q_2 en interaction s'écrit :

$$\boxed{E_p = q_1 V_2 = q_2 V_1}$$

IV – Le dipôle électrique :

1) Approche théorique :

Un dipôle électrostatique est un ensemble de deux charges opposées +q et -q situées respectivement en A et en B séparés d'une distance a.

Moment dipolaire :

On appelle **moment dipolaire** le vecteur $\vec{p} = q.\overrightarrow{AB}$.

L'unité SI est le C.m. On utilise plutôt le Debye avec 1 Debye = $3{,}336.10^{-30}$ C.m.

Le vecteur moment dipolaire est orienté par convention de la charge (-) vers la charge (+).

Potentiel électrostatique de ce dipôle à grande distance :

$$\boxed{V = \frac{p.\cos\theta}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{r^2}}$$

Expression du champ électrostatique en coordonnées polaires :

$$\boxed{\begin{array}{l} \vec{E_r} = \dfrac{p.\cos\theta}{2\pi\varepsilon_0}\dfrac{1}{r^3}\vec{e_r} \\ \vec{E_\theta} = \dfrac{p.\sin\theta}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{1}{r^3}\vec{e_\theta} \end{array}}$$

Cependant, sous l'action d'un champ électrostatique extérieur imposé, le dipôle s'aligne dans le sens du champ électrostatique imposé.

2) Application à la matière :

a. Atomes électronégatifs :

Les atomes qui attirent facilement des électrons sont dit très électronégatifs. Ils se situent plutôt en haut et à droite du tableau des éléments (sauf les gaz rares de la dernière colonne).

b. Atomes électropositifs ou peu électronégatifs :

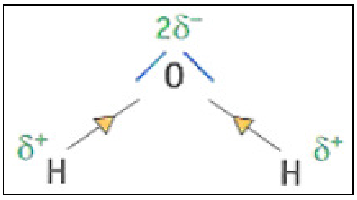
Les atomes qui perdent facilement un ou plusieurs électrons sont dits peu électronégatifs ou électropositifs. Ils se situent plutôt à gauche et en bas dans le tableau des éléments.

c. Liaison polarisée :

Si les atomes qui composent la molécule sont différents du point de vue électronégativité, les liaisons sont polarisées, l'atome le plus électronégatif attirant les électrons de la liaison.

Il porte alors un excès de charge notée δ^-.

Exemple pour la molécule d'eau :



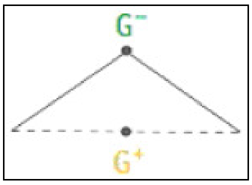
d. Molécule polaire :

C'est une molécule :

- ✓ Qui contient des liaisons polarisées.
- ✓ Dont les barycentres des charges + et des charges – ne coïncident pas.

Exemple :

- ✓ L'eau est une molécule polaire.



- ✓ Le chlorure d'hydrogène H - Cl est une molécule polaire.

- ✓ Le dioxyde de carbone n'est pas polaire : elle est dite apolaire.

$$\begin{matrix} \delta^- & 2\delta^+ & \delta^- \\ O & = C = & O \end{matrix}$$

V – Exercices d'applications :

1) Anneau électrisé (annale de mai 1994) :

Un anneau de rayon R et de centre O est constitué d'un fil chargé dans le vide. Sa densité linéïque de charge λ = dq/dl est considéré comme uniforme.
Soit M un point de son axe situé à la distance x du centre O.

1. Faire un schéma de l'expérience.

2. Etablir, en fonction de R et de x, l'expression du potentiel électrique V au point M. Pour simplifier l'écriture, on notera K à la place de $1/4\pi\varepsilon_0$.

Réponse : $V = 2\pi K\lambda \dfrac{R}{\sqrt{(R^2 + x^2)}}$

3. Quelle est l'expression de la différence de potentiel U_{OM} entre le centre O et le point M ?

Réponse : $U_{OM} = \dfrac{\lambda}{2\varepsilon_0}\left(1 - \dfrac{R}{\sqrt{(R^2 + x^2)}}\right)$

4. Représenter sur le schéma le vecteur champ électrique $\vec{E}$ créé en M par l'anneau chargé lorsque $\lambda>0$.

5. A partir de l'expression de V établie dans la deuxième question, déduire l'expression de la norme du champ électrique au point M.

Réponse : $E = \dfrac{\lambda.R}{2\varepsilon_0}\dfrac{x}{(x^2 + R^2)^{3/2}}$

6. Calculer les valeurs de V, U_{OM} et $\|\vec{E}\|$

   lorsque R = 10 cm, x = 10 cm, λ = + 10 $nC.cm^{-1}$ et K = 9.10^9 unités SI.

Réponses : $V = 400\ V$, $U_{OM} = 162{,}7\ V$ et $E = 2.10^3\ V.m^{-1}$

7. Un positon (de charge +e) supposé isolé se déplace sur (Ox) de l'infini vers O avec une énergie cinétique initiale E_0 de 35 keV. A quelle distance de O sera-t-il stoppé ?

Réponse : x = 0,13 m

8. Calculer la vitesse initiale minimale du positon pour qu'il puisse atteindre le point P de l'axe (Ox) tel que OP = 30 cm.

Réponse : $v_0 = 7{,}93.10^6\ m.s^{-1}$

2) Polarité de molécules :

1. Quelle serait l'action d'un objet électrisé (par frottements par exemple) sur un filet d'eau ?

2. Même question avec du tétrachlorure de carbone ? On indique que le chlore est plus électronégatif que le carbone et que le tétrachlorure de carbone a la même géométrie que la molécule de méthane.