

Chapitre 5 :

Etude de la viscosité

Viscosity study



I. Etude de la viscosité

1. Définition: *Definition*

La viscosité est une grandeur physico-chimique qui caractérise les frottements internes du fluide, autrement dit sa capacité à s'écouler.

Viscosity is a physicochemical quantity which characterizes the internal friction of the fluid, in other words its ability to flow.

Elle caractérise la résistance d'un fluide à son écoulement lorsqu'il est soumis à l'application d'une force tangentielle au sens de son écoulement. C'est à dire, les fluides de grande viscosité résistent à l'écoulement et les fluides de faible viscosité s'écoulent facilement.



La viscosité est déterminée par la capacité d'entraînement que possède une couche en mouvement par rapport aux autres couches adjacentes. Donc les forces de résistance qui dépendent de la nature du fluide et qui apparaissent lors des déplacements entre les différentes couches de fluide (analogie avec les frottements des solides) sont dues à la viscosité du fluide.

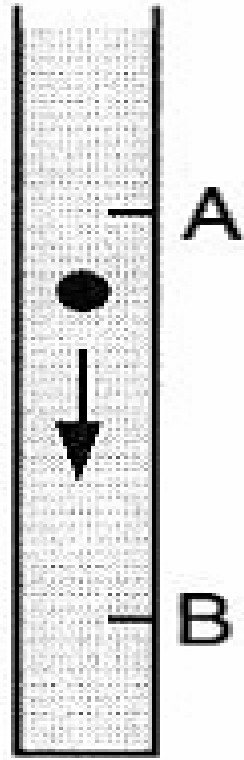
A ce stade, on donne l'expression du module de cette force s'exerçant sur une surface **S** parallèlement à la vitesse du fluide mais en sens contraire (signe -):

$$F = -\mu S \frac{dV}{dy}$$

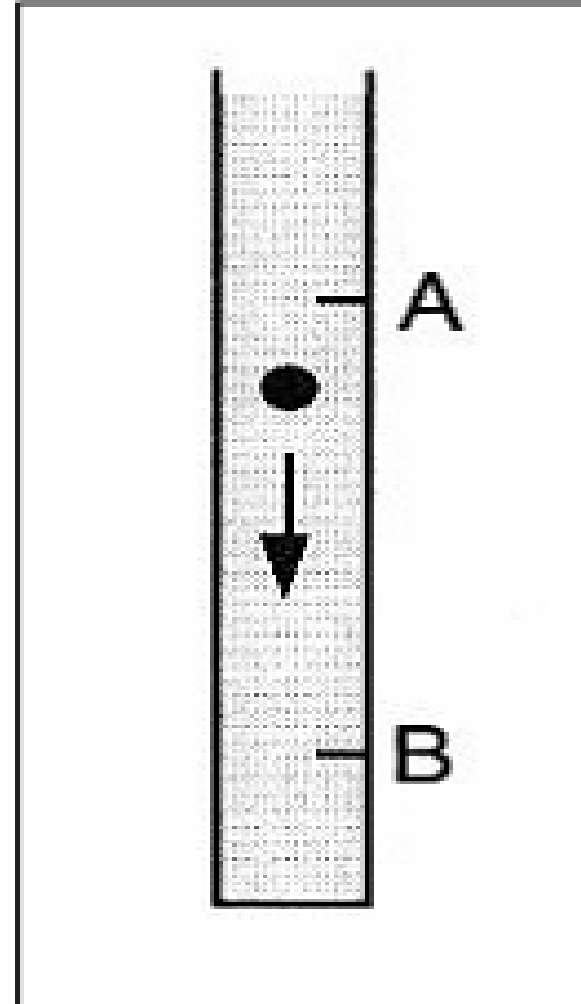
2. Mesure de la viscosité : *Viscosity measurement*

Dans l'intérêt de déterminer la valeur de la viscosité de n'importe quel fluide, il est commode d'utiliser l'appareil appelé *Viscosimètre à chute de bille*. Le principe de cet appareil est de faire tomber une sphère de rayon r dans un tube vertical transparent contenant le liquide à étudier (de masse volumique ρ).

The principle of this device is to drop a sphere of radius r into a transparent vertical tube containing the liquid to be studied (of density ρ).



Lorsqu'on laisse tomber la sphère, elle atteint très vite une vitesse limite V_L (lorsque les forces de frottement compensent la résultante du poids et de la poussée d'Archimède). On mesure alors le temps que met la sphère pour parcourir à vitesse constante la distance entre deux points **A** et **B**. (voir figure suivante)



Enfin avec un simple calcul, la viscosité dynamique (elle est dite dynamique car elle est calculée pendant un mouvement) du liquide à étudier est donnée par :

$$\mu = k \frac{(\rho_s - \rho) \cdot r^3}{V} = k \frac{(\rho_s - \rho) \cdot r^3}{L} \Delta t$$

Où : k est un coefficient déterminé par un calcul ou par un étalonnage.

ρ_s est la masse volumique de la sphère

Remarque :

On note ici, que la force de frottement que subit la sphère lors de son mouvement est donnée par la relation de Stokes:

$$F = 6\pi\mu rV$$

Avec r est le rayon de la sphère, V sa vitesse et μ la viscosité dynamique du liquide

Classifications des fluides *Fluid classifications*

les fluides peuvent être classés en deux grandes familles selon leur viscosité:

- La famille des fluides "*newtoniens*" -*The family of "Newtonian" fluids*- (comme l'eau, l'air et la plupart des gaz) ayant une viscosité constante et qui ne peut varier qu'en fonction de la température
- la famille des fluides "**non newtoniens**" -*the family of "non-Newtonian" fluids*- (quasiment tout le reste. le sang, les gels, les boues, les pâtes, les suspensions, les émulsions) qui ont la particularité d'avoir une viscosité variable en fonction de la vitesse et des contraintes qu'ils subissent durant leur écoulement

Nous pouvons différencier les types de fluides, par analogie avec celles des gaz, tels que:

➤ **Fluide parfait** : *Perfect fluid* Un fluide est dit parfait s'il est possible de décrire son mouvement sans prendre en compte les effets de frottement,

➤ **Fluide réel** : *Real fluid* Dans un fluide réel, les forces tangentielles de frottement interne qui s'opposent au glissement relatif des couches du fluide sont prises en considération. Ce phénomène de frottement visqueux apparaît lors du mouvement du fluide.

On peut aussi utiliser une autre classification selon la réaction à la pression :

➤ **Fluide compressible:** *Compressible fluid*

Un fluide est dit compressible lorsque le volume occupé par une masse donnée varie en fonction de la pression extérieure. Les gaz sont des fluides compressibles. Tels que: l'air, l'hydrogène, le méthane à l'état gazeux...etc

➤ ***Fluide incompressible: Incompressible fluid***

Un fluide est dit incompressible lorsque le volume occupé par une masse donnée ne varie pas en fonction de la pression extérieure (masse volumique constante).
Exemple, les liquides peuvent être considérés comme des fluides incompressibles (eau, huile, etc.)

1- Les Propriétés des Fluides - *Properties of Fluids*-

a- La masse volumique : The density

La masse volumique d'une substance est la quantité de matière contenue dans une unité de volume de cette substance :

$$\rho = \frac{m}{V} ; \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

b- Densité relative : Relative density

La densité relative représente la masse spécifique d'un corps exprimée par rapport à celle d'un corps de référence :

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{référence}}}$$

(sans unité)

d- Théorème de Pascal : Pascal's theorem

Dans un fluide incompressible en équilibre, toute variation de pression en un point entraîne la même variation de pression en tout autre point

e- Théorème D'Archimède: Archimedes' Theorem

Tout corps plongé dans un fluide reçoit de la part de ce fluide une force (poussée) verticale π_A vers le haut dont l'intensité est égale au poids du volume de fluide déplacé (ce volume est donc égal au volume immergé du corps):

$$\pi_A = \rho_{\text{fluide}} \cdot g \cdot V_{\text{corps}}$$

Statique des fluides *Fluid Statics*

On dit qu'un fluide est en équilibre, si quel que soit le volume de fluide considéré, la résultante des forces agissant sur ce volume est nulle. Ces forces sont :

- ✓ Les forces de pression. *Pressure forces*
- ✓ Le poids du volume du fluide étudié.

The weight of the volume of the fluid studied

On conclut que la statique des fluides est basée principalement sur les résultats suivants:

✓ La différence de pression entre deux points est proportionnelle à leur différence d'hauteur ; cette condition doit être vraie pour tout volume infinitésimal dv autour d'un point M . On va appliquer le principe fondamental de la dynamique à une particule fluide (référentiel galiléen, il n'y a pas de forces d'inertie). Ainsi, comme la particule fluide est au repos:

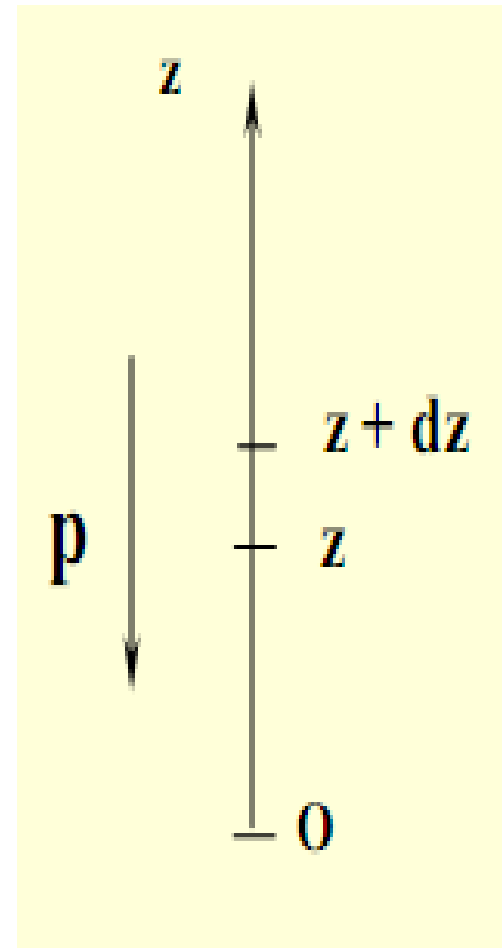
$$\vec{dF}_{poids} + \vec{dF}_{pression} = \vec{0}$$

$$\rho g dv \vec{k} - \frac{dp}{dz} dv \vec{k} = \vec{0}$$

On projette les vecteurs sur l'axe (Oz) orienté vers la verticale montante et on obtient:

La loi de la statique des fluides :

$$\frac{dP}{dZ} = -\rho g$$



Par intégral, on obtient la loi finale de la statique des fluides incompressibles et homogènes comme :

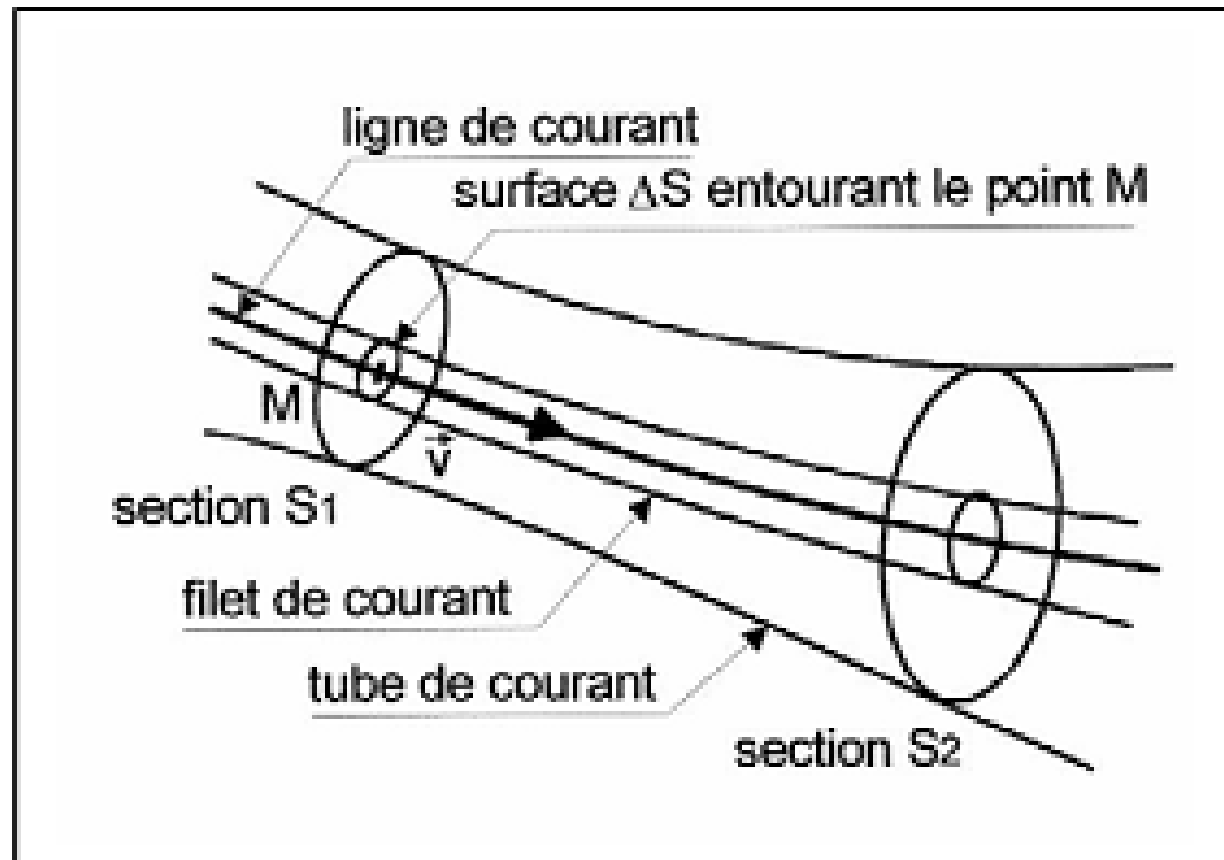
$$\rho \cdot g \cdot z + p = \text{constante}$$

3- Dynamique des fluides incompressibles

Dynamics of incompressible fluids

1- Définitions :

Le principe de continuité exprime la conservation de masse, ce qui signifie qu'aucune matière de fluide ne peut être créée ni disparaître dans un volume donné :



✓ **Le Débit** : *The flow*

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

✓ **Débit masse** : *Mass flow*

Si dm est la masse élémentaire de fluide qui a traversé une section droite de la conduite pendant l'intervalle de temps dt , le débit-masse s'écrit :

$$Q_m = \frac{dm}{dt} \quad [\text{kg} \cdot \text{S}^{-1}]$$

✓ **Débit volume** : *Volume flow*

Si dV est le volume élémentaire de fluide qui a traversé une section droite de la conduite pendant l'intervalle de temps dt , le débit-volume s'écrit :

$$q_v = \frac{dV}{dt} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{S}^{-1}]$$

✓ **Relation entre q_m et q_v : Relationship between q_m and q_v**

La masse volumique ρ est donnée par la relation :

$$\rho = \frac{dm}{dv}$$

De cela on tire que : $q_m = \rho \cdot q_v$

Etant donné que le débit d'écoulement reste toujours constant dans un régime permanent), l'équation de continuité s'écrit comme suit:

$$Q = S_1 \cdot V_1 = S_2 \cdot V_2$$

Remarques :

- Les liquides sont incompressibles et peu dilatables (masse volumique constante) ; on parle alors d'écoulements iso-volumes.
- Pour les gaz, la masse volumique dépend de la température et de la pression. Pour des vitesses faibles (variation de pression limitée) et pour des températures constantes, on retrouve le cas d'un écoulement iso-volume (vérifiant l'équation de continuité).

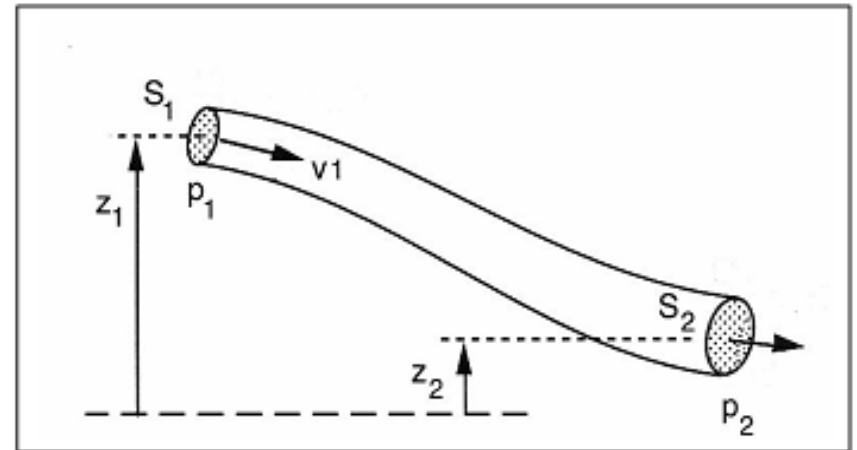
2- Equation Générale d'Écoulement ou Equation de Bernoulli

General Flow Equation or Bernoulli Equation

Un régime d'écoulement est dit permanent ou stationnaire si les paramètres qui le caractérisent (pression, température, vitesse, masse volumique, ..), ont des valeurs constantes au cours du temps

a. Cas des Fluides Parfaits (non visqueux) *non-viscous*

L'équation de Bernoulli exprime que, tout le long d'un filet fluide en mouvement permanent (stationnaire), l'énergie totale par unité de poids du fluide reste constante, elle s'écrit :



$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} = H = \text{constante}$$

b. Cas des Fluides réels (visqueux) viscous

Dans le cas des fluides réels, l'énergie diminue dans la direction de l'écoulement. Ceci est dû à la nature visqueuse du fluide qui dissipe une partie de l'énergie: cette perte d'énergie est appelée *Perte de charge* et l'équation s'écrit :

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2}{2g} + h$$

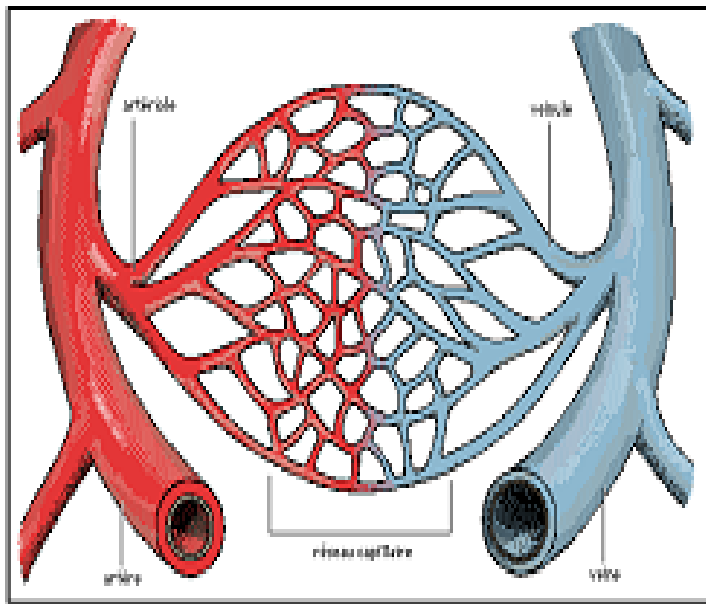
h : est du fait de la viscosité du fluide et de la rugosité des parois de la section d'écoulement

3- Application biologique de la mécanique des fluides: Vitesse de circulation sanguine

Le système circulatoire est composé de vaisseau de différents diamètres. D'après l'équation de continuité, le débit sanguin restera constant dans tout le réseau ce qui implique un changement de vitesse de circulation du sang.

D'après l'équation de continuité lorsque le sang passe de la veine de l'aorte à la veine puis au capillaire, la vitesse du sang devrait augmenter. Or lorsque l'on se coupe au bout du doigt, le sang coule plutôt lentement alors qu'un capillaire a été touché

Ce paradoxe s'explique par le fait que l'équation de continuité s'applique à l'ensemble des capillaires et non pas à chacun d'entre eux. Ainsi la somme des sections de surfaces de tous les capillaires est supérieure à celui de l'aorte, si bien que le sang y circulera plus lentement.



	aorte	capillaire	veinules
Diamètre	2,5 cm	0,0008 cm	0,25 cm
Section totale	3-4 cm ²	2500 cm ²	30 cm ²
Vitesse	30 cm. sec ⁻¹	0,02-0,1 cm. sec ⁻¹	15 cm. sec ⁻¹

Lorsqu'un vaisseau sanguin se bouche, son diamètre diminue. En fonction de cette diminution, un médecin prendra la décision d'intervenir ou non. La question est donc de pouvoir mesurer la taille du rétrécissement sans avoir à ouvrir chaque vaisseau sanguin

Pour mesurer le diamètre du vaisseau bouché, on mesure la vitesse de circulation. L'échographie permet de mesurer la taille du vaisseau en amont du rétrécissement. Le Doppler permet de mesurer la vitesse du sang. Grâce à l'équation de continuité, il devient alors facile de déterminer le diamètre du rétrécissement.

Le théorème de Bernoulli permet de calculer la différence de pression à l'endroit du rétrécissement. La pression totale étant constante, on a:

$$h + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1}{2g} = h + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2}{2g}$$

En réorganisant cette équation on obtient :

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2)$$

D'après cette équation, on déduit que plus la sténose n'est pas serrée, plus la vitesse du sang à cet endroit sera élevée et plus la pression artérielle ne sera pas grande. C'est cela qui déclenchera la décision d'opérer ou non

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Site web:

Viscosité

Viscosité et mesure de la viscosité

<https://www.malvernpanalytical.com/fr/products/measurement->

FALEK Mokhtar, Biophysique

Cours, Exercices et Travaux Pratiques, polycopie, 2016,

Université de Biskera