

LA VISCOSITE

1. Généralités

1.1 Définition

La viscosité est une grandeur qui caractérise la résistance d'un fluide à l'écoulement. Elle est notée η et s'exprime en pascal.seconde (Pa.s). On utilise également une autre unité : le poiseuille (Pl)

Exemple : Le miel ou le sirop de glucose s'écoulent plus lentement que l'eau. Leur viscosité est donc plus importante.

Valeurs de viscosités à 20°C et 1 bar

Produits	Viscosité dynamique η en Pa.s (poiseuille)
H ₂	$8,9 \times 10^{-6}$
CO ₂	$14,8 \times 10^{-6}$
N ₂	$17,5 \times 10^{-6}$
air	$18,5 \times 10^{-6}$
hexane	$0,3 \times 10^{-3}$
aniline	$0,47 \times 10^{-3}$
toluène	$0,59 \times 10^{-3}$
benzène	$0,652 \times 10^{-3}$
eau	$1,005 \times 10^{-3}$
éthanol	$1,20 \times 10^{-3}$
mercure	$1,554 \times 10^{-3}$
lait	$2,0 \times 10^{-3}$
sang de l'homme à 37°C	$4,0 \times 10^{-3}$
huile d'olive	84×10^{-3}
glycérol	1.49
miel (liquide après agitation)	6
gels /crèmes	1 à 100
vernis /peintures	10 à 1000

1.2 Origine de la viscosité

La viscosité est liée aux interactions existant au sein des fluides.

Si on compare l'eau et l'hexane, on sait que l'eau présente des interactions moléculaires fortes (liaisons hydrogènes) alors que pour l'hexane elles sont très faibles. On observe effectivement que la viscosité de l'hexane est beaucoup plus faible que celle de l'eau

1.3 Influence de la température sur la viscosité

La viscosité peut varier beaucoup avec la température (de l'ordre de 0,5 à 10 % par °C)

Exemples :

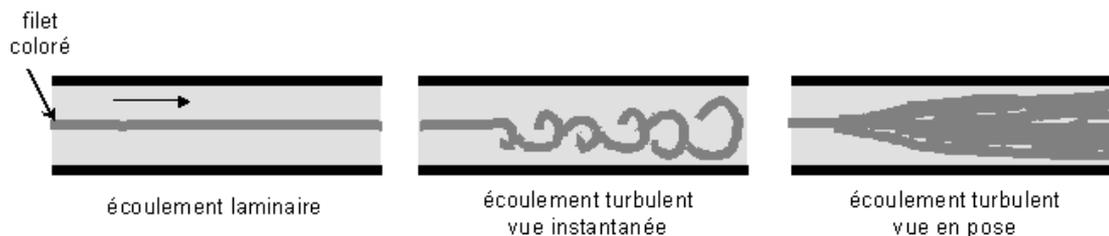
- eau : $\eta = 1,008 \times 10^{-3}$ Pa.s à 20°C et $\eta = 0,660 \times 10^{-3}$ Pa.s à 40°C
- miel : si on augmente la température de 1°C, la viscosité est divisée par 10

Expérimentalement, il est donc très important de réguler la température lorsqu'on veut faire une mesure précise de viscosité. La plupart des appareils permettent de travailler à 0,01°C près.

2. Loi de Stokes et de Poiseuille

2.1 Les différents régimes d'écoulement

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.



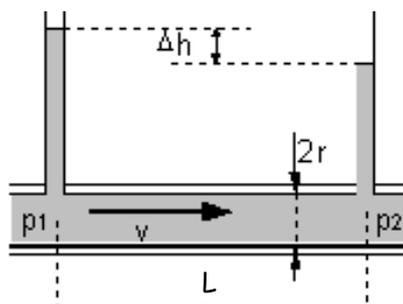
2.2 Force de frottement fluide (loi de Stokes)

On cherche ici à déterminer quelles sont les forces qui s'appliquent sur une sphère de rayon r en mouvement rectiligne uniforme dans un fluide visqueux en régime laminaire. Ces forces de frottement fluide ont pour expression :

$$F = 6\pi r \eta V_{lim} \text{ (loi de Stokes)}$$

- V_{lim} vitesse limite de chute (en $m.s^{-1}$)
- r rayon de la sphère (en m)
- η viscosité du fluide (en Pa.s)

2.3 Loi de Poiseuille



Pour un écoulement laminaire, dans une conduite cylindrique horizontale, le débit volumique d'un fluide est donné par :

$$Q_v = \frac{\pi r^4}{8\eta L} (P_1 - P_2) \quad (\text{loi de Poiseuille})$$

avec :

Q_v : débit volumique ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),

r : rayon intérieur (m),

η : viscosité dynamique du fluide (Pa·s),

L : longueur entre les points (1) et (2) (m),

P_1 et P_2 : pression du fluide aux points (1) et (2) (Pa).

3. Mesure du coefficient de viscosité dynamique pour des liquides

On peut déterminer le coefficient de viscosité dynamique d'un liquide à l'aide de deux appareils :

- viscosimètre à chute de bille
- viscosimètre à capillaire (d'Ostwald)

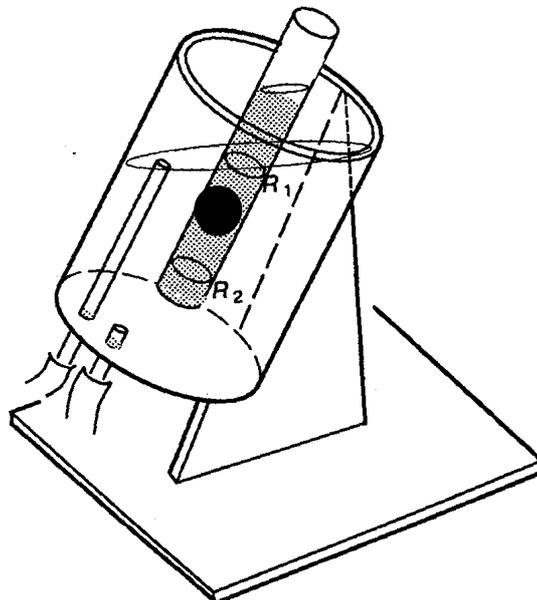
3.1. Viscosimètre à chute de bille ou viscosimètre d'Hoepler

a) Montage expérimental

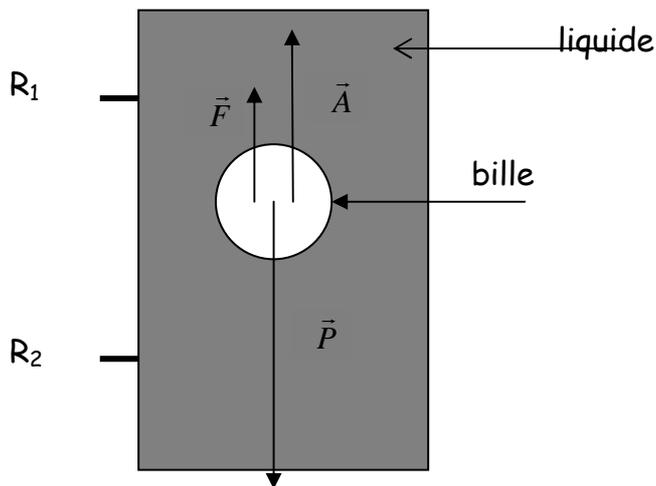
On lâche une bille sphérique en aluminium dans une tube rempli d'un liquide visqueux thermostaté dont on veut connaître le coefficient de viscosité dynamique η . On mesure la durée t qu'elle met à parcourir la distance connue entre les repères R_1 et R_2 (de l'ordre de 10 cm). La bille ayant un mouvement rectiligne uniforme (vitesse constante), on montre que la viscosité dynamique est proportionnelle à cette durée t . On a donc la relation : $\eta = k \times t$

avec k coefficient de proportionnalité dépendant de :

- masse volumique du liquide : ρ_{liq}
- masse volumique de la bille : ρ_{par}
- Volume de la bille : V (rayon r)
- Distance entre les deux repères : d



b) Aspect théorique



La bille est soumise à trois forces :

- Le poids : \vec{P}
- La poussée d'Archimède : \vec{A}
- La force de frottement fluide : \vec{F}

Poids : \vec{P} $P = m_{bille} \times g = \rho_{bille} \times V \times g$

Poussée d'Archimède : \vec{A} $A = m_{liq(déplacé)} \times g = \rho_{liq} \times V \times g$

Force de frottement fluide : \vec{F} $F = 6\pi r \eta V_{lim}$ (loi de Stokes)

Le mouvement de la particule étant rectiligne uniforme, la somme des forces appliquées à la particule est nulle donc :

$$\vec{P} + \vec{A} + \vec{F} = \vec{0}$$

$$-\rho_{bille} V g + \rho_{liq} V g + 6\pi r \eta V_{lim} = 0$$

$$(-\rho_{bille} + \rho_{liq}) V g + 6\pi r \eta V_{lim} = 0$$

$$\text{D'où } \eta = \frac{(\rho_{bille} - \rho_{liq}) \times V \times g}{6\pi r V_{lim}}$$

Sachant que le volume d'une sphère de rayon r est égal à $V = 4/3 \pi r^3$

$$\text{D'où } \eta = \frac{2(\rho_{bille} - \rho_{liq}) \times r^2 \times g}{9 \times V_{lim}}$$

Sachant que $V_{lim} = d/t$

$$\eta = \frac{2(\rho_{bille} - \rho_{liq}) \times r^2 \times g \times t}{9 \times d}$$

3.2. Viscosimètre à capillaire ou viscosimètre d'Ostwald

a) Montage expérimental

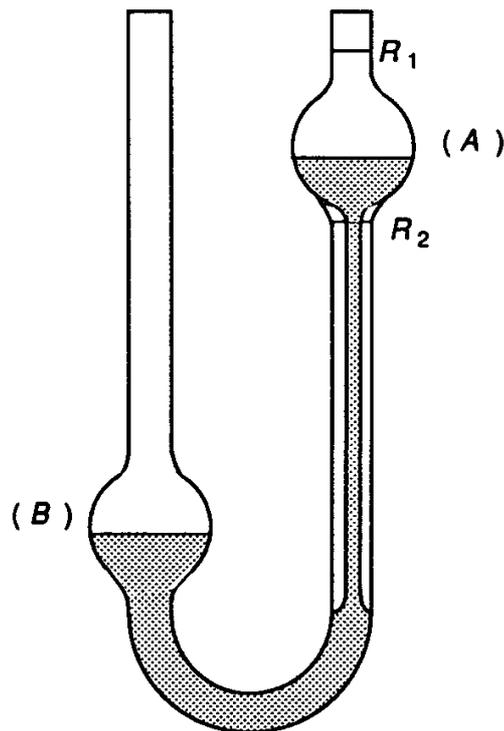


Figure 44.

L'appareil, très simple, comporte :

- un capillaire bien calibré (il n'est pas nécessaire de connaître sa longueur ni son rayon),
- une ampoule A surmontant le capillaire, portant deux traits de repère R_1 et R_2 ,
- un réservoir en U qui contient le liquide étudié.

L'ensemble **est thermostaté**.

b) Utilisation

L'utilisation est la suivante : on aspire le liquide jusqu'au repère R_1 et on mesure la durée t qu'il met pour s'écouler jusqu'au repère R_2 .

c) Aspect théorique

On montre que le coefficient de viscosité dynamique est proportionnel à la durée d'écoulement et à la masse volumique du liquide.

$$\eta = k \times t \times \rho_{liq}$$

k constante caractéristique de l'appareil