



A. Partie théorique :

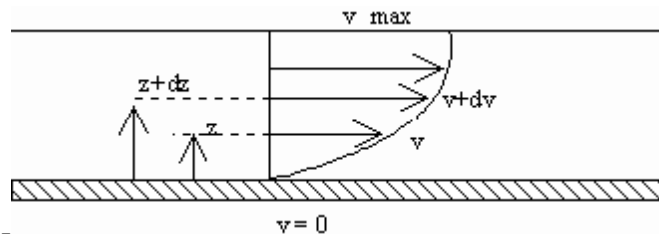
1. Définition :

La viscosité peut être définie comme la résistance à l'écoulement uniforme et sans turbulence se produisant dans la masse d'une matière. La viscosité dynamique correspond à la contrainte de cisaillement (tangentielle) qui accompagne l'existence d'un gradient de vitesse d'écoulement dans la matière. Lorsque la viscosité augmente, la capacité du fluide à s'écouler diminue. Le phénomène de viscosité des fluides n'apparaît que quand le fluide est en mouvement.

2. Viscosité dynamique et viscosité cinématique

2.1. Profil de vitesse

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.



Considérons 2 couches contiguës distantes de dz .

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

2.2. Viscosité dynamique

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 : $\vec{F} = -\mu \cdot S \cdot \frac{dv}{dz}$

Le facteur de proportionnalité μ (ou η selon les ouvrages) est le **coefficient de viscosité dynamique** du fluide.

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

Unité : Dans le système international (SI), l'unité de viscosité est le **Pa.s** ou **Poiseuille** :
 $1 \text{ Pl} = 1 \text{ kg/m.s}$

2.3. Viscosité cinématique :

Dans de nombreuses formules apparaît le rapport de la viscosité dynamique μ (ou η) et de la masse volumique ρ . Ce rapport est appelé viscosité cinématique (exemple, le nombre de

Reynolds). $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

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

Unité SI : m²/s, système cgs : le Stoke (St) ; 1 m²/s = 10⁶ cSt

3. Chute d'une bille dans un liquide

Georges Stokes s'est intéressé à la force de frottement qu'un écoulement visqueux produit autour d'une sphère. Il s'est placé dans le cas où l'écoulement est gouverné par la viscosité.

Stokes obtient qu'une sphère de rayon r , immobile, plongée dans un liquide visqueux en écoulement permanent, ressent une force de frottement, dite force de trainée $F = 6\pi\eta r v$

Où v représente la vitesse de l'écoulement par rapport à la sphère et loin de la sphère. Cette loi est vérifiée à condition que le régime d'écoulement soit gouverné par la viscosité. Il existe un nombre qui permet de mesurer le caractère plus ou moins visqueux de l'écoulement : le

nombre de Reynolds $Re = \frac{\rho V d}{\mu}$

- $Re < 1$ écoulement visqueux
- $Re > 1$ écoulement non visqueux

La formule de Stokes n'est valable que si $Re < 1$

Considérons le problème de la chute d'une bille dans un fluide au repos dans le référentiel du laboratoire. Effectuons le bilan des forces s'exerçant sur la bille.

Une bille de rayon r se tombe dans un fluide. Les forces qui agissent sont :

- le poids P de la bille : $P = m \cdot g = \rho_{bille} \cdot V_{bille} \cdot g$

Avec : m = masse de la bille

V = volume de la bille

ρ = masse volumique de la bille

- La poussée d'Archimède A : $A = \rho_{liquide} \cdot V_{bille} \cdot g$
- la force de frottement visqueuse F_f donnée par la formule de Stokes : $F_f = 6\pi r \cdot \mu \cdot v$

Avec : r = rayon de la bille

v = vitesse de chute de la bille

μ = viscosité dynamique du liquide

B. Partie expérimentale :

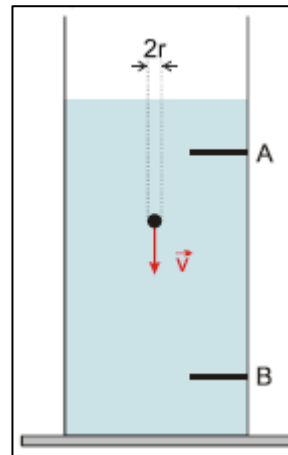
1. Matériel utilisé dans l'expérience :

- Un viscosimètre à chute de bille
- Un bain thermostaté
- Une résistance chauffante
- Deux thermomètres
- Chronomètre de poche

2. Déroulement de la manipulation

2.1.Principe

L'appareil comporte un long tube, mobile autour d'un axe horizontal perpendiculaire au plan de la figure. Le tube comporte deux traits repères a et b. On y a introduit un fluide et une bille de diamètre calibré, un peu inférieur au diamètre du tube



Le tube est muni d'une double enveloppe transparente dans laquelle est fixé un thermomètre ; on peut ainsi réaliser des expériences à température régulée. Le tube vertical est retourné bout pour bout ; la bille se retrouvant en haut tombe à travers le liquide. Le trait repère du haut est placé de façon telle que la bille lorsqu'elle passe à son niveau a atteint sa vitesse de chute limite : son mouvement est alors rectiligne uniforme : $\sum \text{forces} = 0$.

On mesure Le temps de chute de la bille entre les deux repères distant de L fixée

2.2 Manipulation

- Vérifier le niveau du viscosimètre
- Brancher les tuyaux du bain à circulation externe sur la double enveloppe du viscosimètre
- Mettre en marche le bain thermostaté à circulation externe et régler la température désirée
- Attendre que la température se stabilise dans la double enveloppe
- Retourner le tube en le plaçant un peu incliné par rapport à la verticale
- Le bloquer dans cette position
- Déclencher le chronomètre lorsque le bas de la bille est tangent au trait repère a
- Arrêter le chronomètre lorsque le bas de la bille affleure au trait repère b
- Régler le bain thermostaté en augmentant la température de quelques °C.
- Recommencer les mesures dès que la température est stabilisée dans le double enveloppe.
- Utiliser les températures suivantes : 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C

Comme le viscosimètre à chute de bille est incliné ou s'ajoute un mouvement rotatif de la

bille, donc pour plus de précision on utilise un facteur correctif. Le tableau suivant résume ces facteurs correctifs liés à l'appareil de mesure

N° de la bille	Masse volumique (g/cm ³)	Diamètre de la bille (mm)	Constante K (mPa.s.cm ³ /g.s)	La plage recommandée (mPa.s)
1	2.2	15.81	0.007	0.6-0
2	2.2	15.6	0.09	7-130
3	8.1	15.6	0.09	30-700
4	8.1	15.2	0.7	200-4800
5	7.7	14	4.5	800-10000
6	7.7	11	33	6000-75000

Donc, on écrit : $\mu = K. (\rho_1 - \rho_2). t$

C. Travail demandé :

1. En utilisant les équations de la chute d'une bille, déduisez l'expression de K.
2. En utilisant les facteurs correctifs, tracer la courbe de la variation de la viscosité en fonction de la température.
3. Selon des expériences réalisées sur la viscosité, une formule empirique exprimant la variation de la viscosité en fonction de la température a été élaboré :

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{1}{1 + \alpha.T + \beta.T^2} \right)$$

Avec: μ : viscosité dynamique du liquide à la température T°C ;

μ_0 : viscosité dynamique du liquide à la température 0°C.

Pour l'eau $\mu_0 = 1.79 \times 10^{-3}$ poise

$\alpha = 0.03368$

$\beta = 0.000221$.

Donc, il vous est demandé d'établir une comparaison entre les résultats expérimentaux et les résultats issus de la formule

4. Interprétez vos résultats et discutez.