

# Chapitre 2 : Viscosité

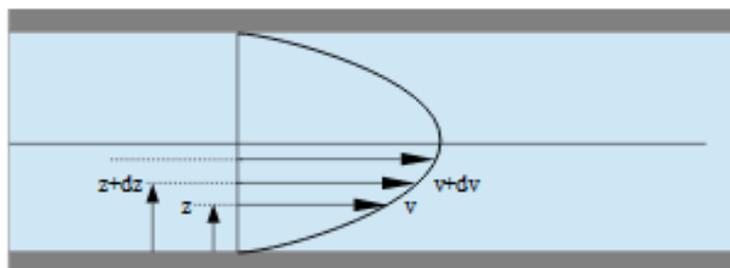
## 1. Phénomène de viscosité

L'eau, l'huile, le miel coulent différemment : l'eau coule vite, mais avec des tourbillons, le miel coule lentement, mais de façon bien régulière. La chute d'un parachutiste se fait à vitesse constante, contrairement à la loi de la chute libre. 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 [5].

Dans un fluide réel, les forces de contact ne sont pas perpendiculaires aux éléments de surface sur lesquelles elles s'exercent. La viscosité est due à ces frottements qui s'opposent au glissement des couches fluides les unes sur les autres [5].

Les phénomènes dus à la viscosité des fluides ne se produisent que lorsque ces fluides sont en mouvement.

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 **Fig 2.1**. On dit qu'il existe un profil de vitesse.



**Fig 2.1** Schéma montrant la formation d'un profil de vitesse à cause des forces de frottement [5]

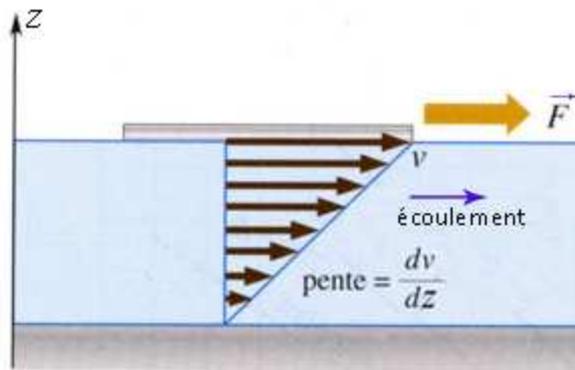
La représentation par un vecteur, la vitesse de chaque particule située dans une section droite perpendiculaire à l'écoulement d'ensemble, la courbe des extrémités de ces vecteurs représente le profil de vitesse. Le mouvement du fluide peut être considéré

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 courbe au plan fixe ( $v = v(z)$ ).

## 2. Viscosité dynamique - Viscosité cinématique

### 2.1 Viscosité dynamique

On considère deux couches de fluide adjacentes distantes de  $z$  **Fig 2.2** La force de frottement  $\vec{F}$  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  $\Delta v$ , à leur surface  $S$  et inversement proportionnelle à  $\Delta z$ .



**Fig 2.2** Schéma montrant la relation entre la force de glissement et le coefficient de viscosité [5]

Le facteur de proportionnalité  $\eta$  est le coefficient de viscosité dynamique du fluide et la relation entre la force de glissement  $F$  et  $\eta$  est donnée par

$$F = \eta S \frac{dv}{dz} \quad (2.1)$$

$\eta$  : 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) :

$$1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 1 \text{ Pl} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}.$$

- Dans le système (CGS) : l'unité est le Poise (Po) ;  $1 \text{ Pl} = 10\text{Po}$ .

## 2.2 Viscosité cinématique

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

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2.2)$$

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

Unité:

- Dans le système international (SI), l'unité de viscosité cinématique n'a pas de nom particulier :  $(\text{m}^2/\text{s})$ .
- Dans le système CGS, l'unité est le Stokes (St) :  $1\text{m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St}$ .

## 2.3 Ordre de grandeur : influence de la température

La viscosité des liquides diminue beaucoup lorsque la température augmente

**Tableau 2.1.** Il n'existe pas de relation rigoureuse liant  $\eta$  et T, mais nous pouvons écrire :

$$\eta = k \cdot T$$

K : Constante quelconque [5]

Fluide	$\eta$ (Pa.s)
eau (0 °C)	$1,787 \times 10^{-3}$
eau (20 °C)	$1,002 \cdot x 10^{-3}$
eau (100 °C)	$0,2818 \cdot x 10^{-3}$
H <sub>2</sub> (20 °C)	$0,860 \cdot x 10^{-5}$
O <sub>2</sub> (20 °C)	$1,95 \cdot x 10^{-5}$

**Tableau 2.1** Variation de la viscosité en fonction de la température [6]

### 3. Mesurage de viscosités

On présente dans cette partie les différents instruments permettant de mesurer la viscosité *Voir le TP.*

#### 3.1 Viscosimètre d'Ostwald

L'appareil comporte : Un capillaire bien calibré, Une ampoule A portant deux repères  $R_1$  et  $R_2$ . Un réservoir en U contenant le liquide étudié.

On aspire le liquide jusqu'à  $R_1$  et on mesure la durée  $\Delta t$  qu'il met pour s'écouler jusqu'au repère  $R_2$ . Ce temps d'écoulement est proportionnel à la viscosité dynamique du liquide et inversement proportionnel à la pression motrice. On montre que  $K$  étant une constante caractéristique de l'appareil. Les constructeurs délivrent avec chaque tube, un certificat d'étalonnage où intervient plutôt  $K$  :  $\eta = K \cdot \rho \cdot t$  [6].

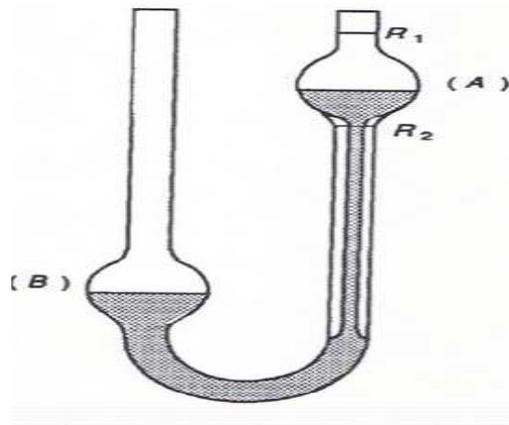


Fig 2.3 Viscosimètre d'Ostwald [7]

Le principe de l'appareil consiste à faire écouler de l'eau, dont on veut mesurer la viscosité, à travers un tube capillaire avec une vitesse débitante assez petite pour que la loi de Poiseuille puisse s'appliquer :

$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta p}{\eta L} \quad (2.3)$$

$Q$  : Débit volumique

$\Delta p/L$  : La chute de pression par unité de longueur, qui est due à la viscosité.

$R$  : le rayon du tube capillaire.

### 3.2 Viscosimètre à chute de bille ou viscosimètre d'Hoepler

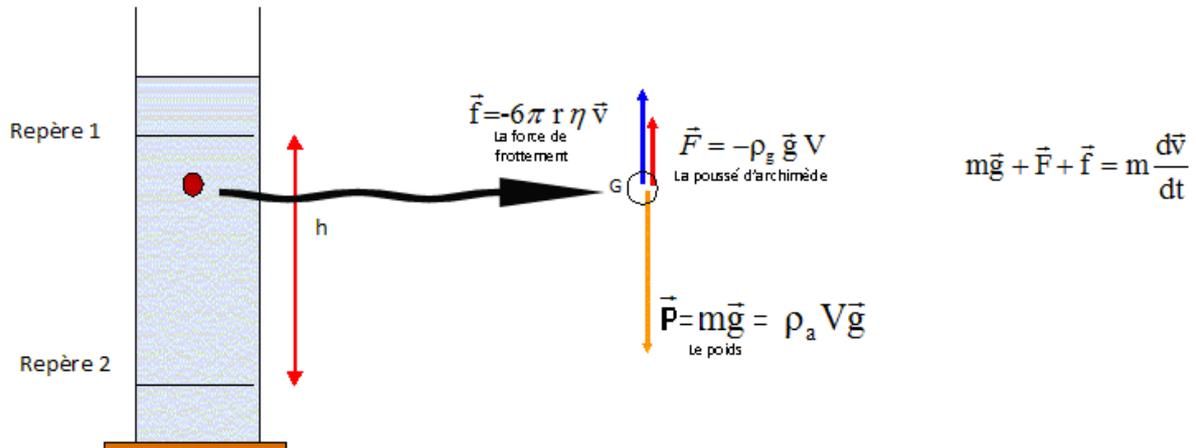


Fig 2.4 Viscosimètre d'Hoepler [7]

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. Si la viscosité est suffisante, la bille atteint très rapidement une vitesse limite de chute constante  $v_{lim}$  et cette vitesse est assez faible pour que la force de frottement soit décrite par la loi de Stokes :  $F = 6\pi R.\eta.v_{lim}$

La bille est en outre soumise à son poids et à la poussée d'Archimède. La 2<sup>ème</sup> loi de Newton se traduit donc, lorsqu'il n'y a plus d'accélération, par :

$$6\pi R.\eta.v_{lim} = 4/3 . \pi R^3 . (\rho_{bille} - \rho_{liq})g$$

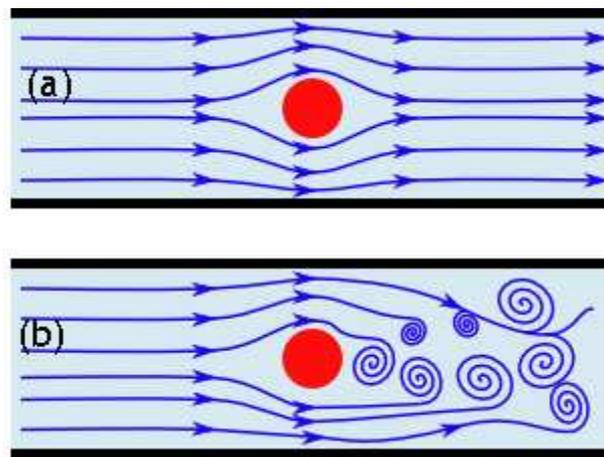
En on déduit :

$$\eta = \frac{2R^2}{9v_{lim}} (\rho_{bille} - \rho_{liq})g \quad (2.4)$$

#### 4. Les différents régimes d'écoulement : nombre de Reynolds

Tous les liquides ne s'écoulent pas de la même manière. Si vous observez l'eau d'un fleuve, vous pouvez voir que son écoulement est en permanence le siège de multiples tourbillons. Au contraire, l'huile qui s'écoule hors d'une bouteille ne tourbillonne pas du tout. Étonnamment, la frontière entre ces deux situations est assez mince, et on peut la percevoir au moyen d'une quantité appelée nombre de Reynolds. Quand l'écoulement d'un liquide est le siège de multiples tourbillons, on dit que cet écoulement est *turbulent*. Au contraire si l'écoulement semble se faire de manière bien parallèle, on parle d'écoulement *laminaire*. Les écoulements turbulents se repèrent particulièrement au voisinage d'obstacles, par exemple les piles d'un pont. La différence entre les deux situations est schématisée sur la figure III.5. Ce qui fait la différence, c'est que dans un écoulement turbulent **Fig 2.5.b**, les petites perturbations donnent naissance à des tourbillons. Au contraire dans un écoulement laminaire **Fig 2.5.a**, les perturbations se résorbent rapidement et l'écoulement reprend son cours tranquille [7].

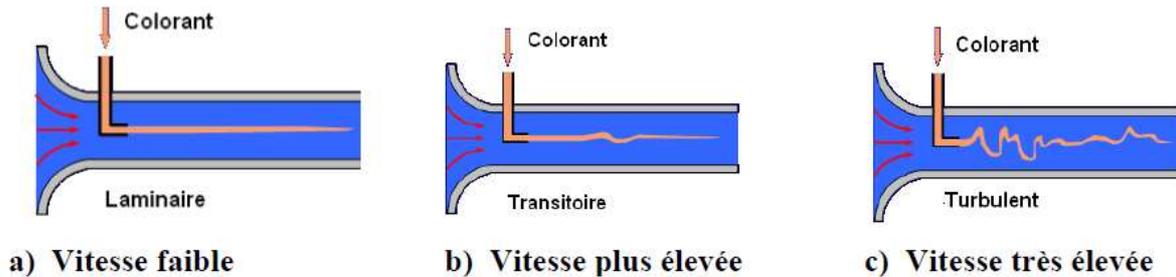
Comment savoir à l'avance si un écoulement va être le siège de turbulence ? Cela dépend principalement de la viscosité du liquide, car celle-ci agit comme un frottement qui va freiner les perturbations et empêcher les tourbillons d'apparaître.



**Fig 2.5** (a) régime d'écoulement laminaire, (b) régime turbulent [7]

• **Expérience**

Soit un courant d'eau qui circule dans une conduite à section circulaire. On introduit un filet de colorant dans l'axe de cette conduite **Fig 2.6**. Suivant la vitesse d'écoulement de l'eau, on peut observer les phénomènes suivants :



**Fig 2.6** Expérience montrant les 3 régimes d'écoulement [7]

- (a) **Régime laminaire** : le fluide s'écoule en couches cylindriques coaxiales ayant pour axe le centre de conduite.
- (b) **Régime transitoire (intermédiaire)** : c'est une transition entre le régime laminaire et le turbulent.
- (c) **Régime turbulent** : formation de mouvement tourbillonnant dans le fluide.

Cette expérience est faite par Reynolds en faisant varier le diamètre de la conduite, la température, le débit, etc..., pour des divers fluides [7].

La détermination du régime d'écoulement est par le calcul d'un paramètre sans dimension appelé nombre de Reynolds  $Re$  :

$$Re = \frac{\rho v D}{\eta} \quad (2.5.a)$$

$$Re = \frac{v D}{\nu} \quad (2.5.b)$$

Avec:

$\rho$  : masse volumique du fluide

$v$  : vitesse moyenne

$D$  : diamètre de la conduite

$\eta$  : viscosité dynamique du fluide

$\nu$  : viscosité cinématique  $\nu = \frac{\eta}{\rho}$

L'expérience montre que :

Nombre de Reynolds (Re)	Type de régime
$Re < 2000$	laminaire
$2000 < Re < 3000$	intermédiaire
$Re > 3000$	turbulent

**Tableau 2.2** Les différents régimes d'écoulement [7]

Ces valeurs de nombre de Reynolds doivent être considérées comme des ordres de grandeur, le passage d'un type d'écoulement à un autre se fait progressivement.