

QUATRIEME PARTIE:

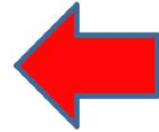
Principes et
description des
différents
rhéomètres

4. Principe et description des différents rhéomètres

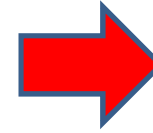
VISQUEUX



Propriétés d'écoulement
viscosimétrie



VISCO
ELASTIQUE



ELASTIQUE



Comportement viscoélastique
à faible déformation

3 grandes classes de rhéomètres:

1- Les rhéomètres à régime permanent,
pour déterminer les viscosités et les rhéogrammes τ - $\dot{\epsilon}$
de substances liquides;

2- Les rhéomètres à régime transitoire,
pour déterminer les propriétés viscoélastiques
des matériaux;

3- Les rhéomètres dynamiques,
fonctionnant en sinusoïdal et fournissant une description
très complète des propriétés rhéologiques

4. Principe et description des différents rhéomètres

4.1. Les rhéomètres à régime permanent

→ **Mouvement laminaire de cisaillement indépendant du temps**: pas de modification de la vitesse et de la contrainte de cisaillement au cours du temps;

→ Uniquement pour les **substances liquides** : écoulement permanent;

→ 2 types de rhéomètres à régime permanent:

Les rhéomètres de type Couette: substance cisailée entre deux surfaces solides, l'une fixe, l'autre mobile.

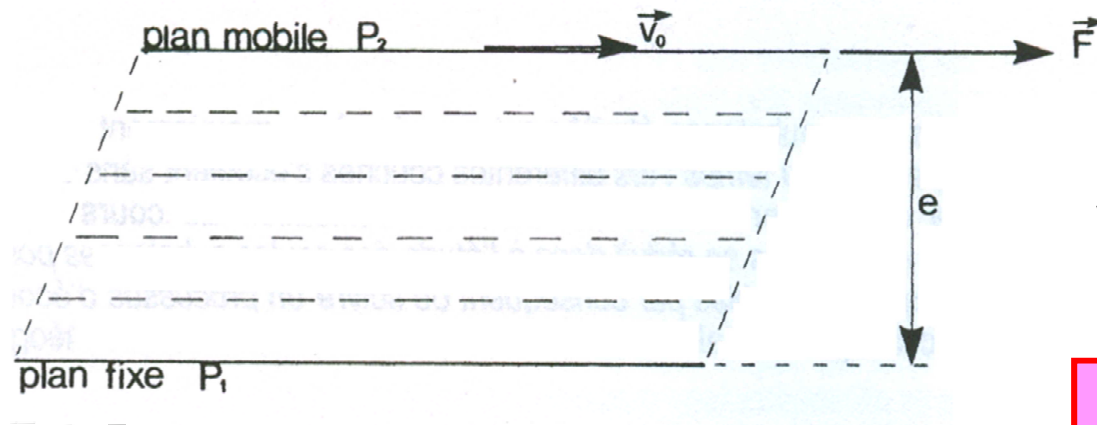
Les rhéomètres de type Poiseuille: écoulement dans un tube, mouvement de cisaillement engendré par l'action de la pesanteur ou une différence de pression.

4. Principe et description des différents rhéomètres

4.1. Les rhéomètres à régime permanent – type Couette

Rhéomètres plans à translation

Substance placée entre deux plans solides parallèles et de même surface S ;
Application d'une force F constante tangentiellement à P_2



e = distance entre P_1 et P_2

v_0 = vitesse plan P_2

$$\tau = \frac{F}{S}$$

$$\dot{\epsilon} = \frac{v_0}{e}$$

Appareils peu nombreux, peu précis;
Utilisés pour contrôles grossiers;

Appareils à lames : viscosité $< 3 \cdot 10^3$ Pa.s
Appareils à plaques : viscosité $< 10 \cdot 10^{10}$ Pa.s

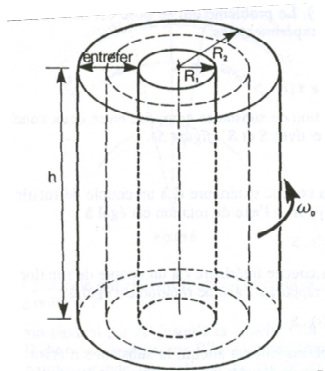
4. Principe et description des différents rhéomètres

4.1. Les rhéomètres à régime permanent – type Couette

Rhéomètres rotatifs cylindriques

Rhéomètres les plus utilisés !

Substance placée entre deux cylindres coaxiaux;
Application d'un mouvement de rotation uniforme de vitesse ω_0

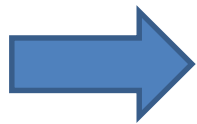


h = hauteur du cylindre
 M = couple résistant
 K = constante liée à l'instrument

$$\frac{R_2}{R_1} < 0,1$$

$$\tau(r) = \frac{M}{2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h} \quad \dot{\epsilon} = \left(\frac{\omega \bar{R}}{R_2 - R_1} \right)$$

$$\bar{R} = \frac{R_2 + R_1}{2}$$



$$\eta = \frac{K \cdot M}{\omega_0}$$

avec

$$K = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot h} \left(\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_2^2} \right)$$

Avantages

Très bonne précision de mesure
Adapté aux fluides de faible viscosité

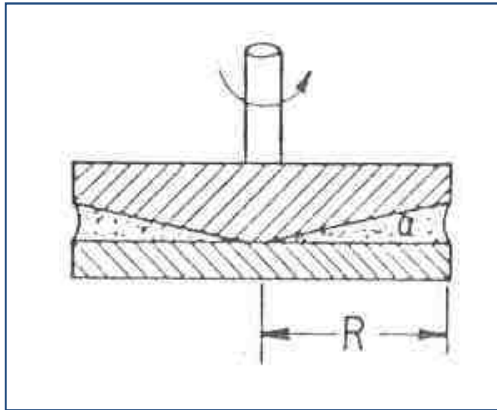
Désavantages

Volume d'échantillon important
Inadapté aux fluides de forte viscosité

4. Principe et description des différents rhéomètres

4.1. Les rhéomètres à régime permanent – type Couette

Rhéomètres rotatifs Cône / plateau



Substance emprisonnée entre un plateau et un cône de révolution de rayon R;
Application d'un mouvement de rotation au cône uniforme et de vitesse ω_0

α = angle cône/plateau

M = couple résistant

K = constante liée à l'instrument

$$\tau = \frac{3M}{2 \cdot \pi \cdot R^3} \quad \dot{\varepsilon} = \frac{\omega_0}{\alpha}$$

$$\eta = \frac{K \cdot M}{\omega_0}$$

avec

$$K = \frac{3 \cdot \alpha}{2 \cdot \pi \cdot R^3}$$

$$\alpha < 5^\circ$$

Avantages

Faible quantité de produit
Gamme viscosité assez large
Déformation homogène
Facilité chargement

Désavantages

Ejection produit faible viscosité et écoulement secondaire à haute vitesse de cisaillement

4. Principe et description des différents rhéomètres

4.1. Les rhéomètres à régime permanent – type Couette

Rhéomètres rotatifs cylindriques

Deux procédures expérimentales:

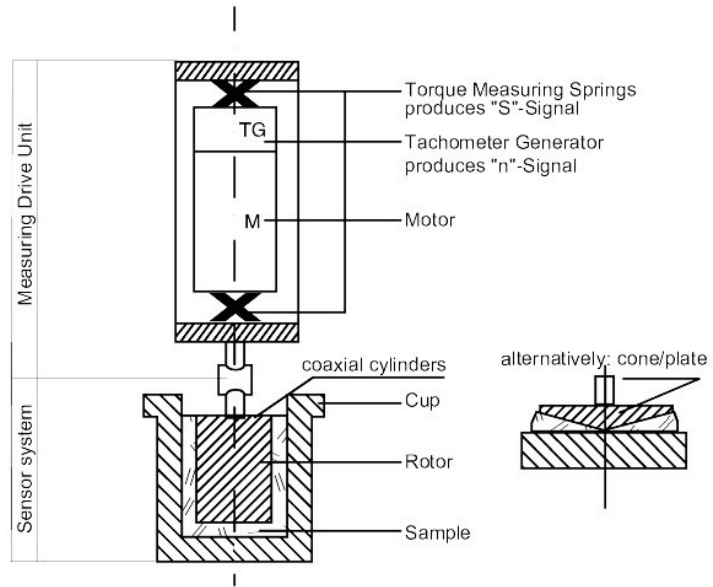
- Soit on impose à la partie mobile un couple de rotation connu M et on mesure la vitesse angulaire ω_0 .
- Soit on impose à la partie mobile une vitesse angulaire de rotation ω_0 connue on mesure le couple M qu'il faut appliquer au cylindre fixe pour qu'il demeure immobile.

Dans les deux cas, les mesures expérimentales dont on dispose:

- La vitesse de rotation de la partie mobile
- Le couple de rotation M imposé

→ Je peux alors calculer la valeur de $\tau(r)$ en n'importe quel point de l'entrefer.

4. Principe et description des différents rhéomètres

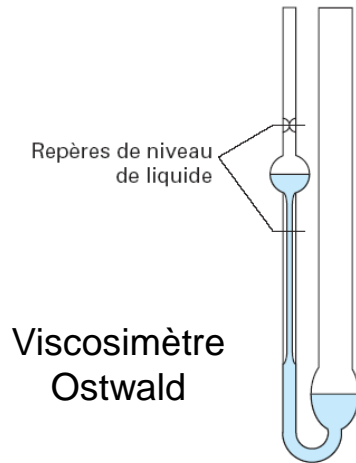


4. Principe et description des différents rhéomètres

4.1. Les rhéomètres à régime permanent – type Poiseuille

Viscosimètre capillaire

*Viscosimètres pour des mesures rapides
de la viscosité absolue de liquides newtoniens*



Viscosimètre
Ostwald

Substance s'écoulant dans un capillaire de rayon r
La différence de pression (pesanteur ou imposée) entraîne un
mouvement du liquide contrarié par les frottements aux parois

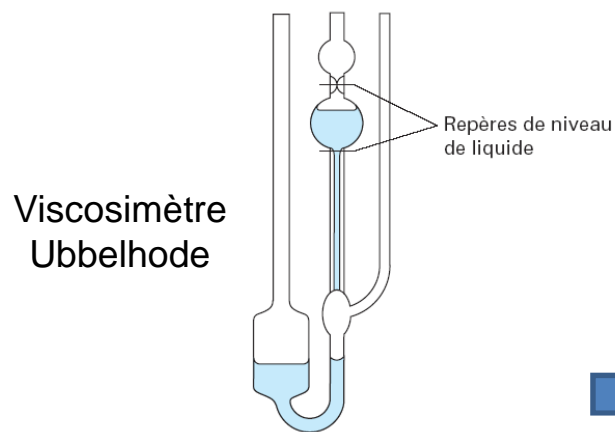
$$\eta = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot t \cdot \Delta P}{8 \cdot L \cdot V}$$

r = rayon du capillaire

t = temps pour que le fluide s'écoule dans le capillaire

ΔP = pression

L et V = longueur et volume du capillaire



Viscosimètre
Ubbelohde

Si ΔP = pesanteur = $h \cdot g \cdot \rho$

avec h = hauteur de liquide dans le capillaire

g = accélération due à la pesanteur

ρ = masse volumique du liquide

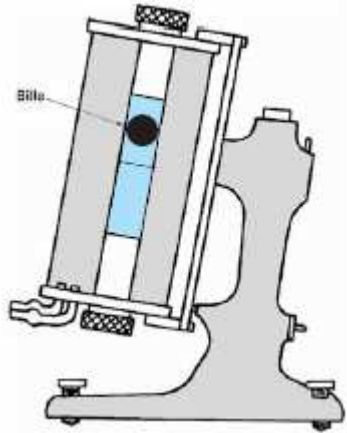


$$\eta = k \cdot \rho \cdot t$$

Avec k constante propre à
chaque appareil

4. Principe et description des différents rhéomètres

4.1. Les rhéomètres à régime permanent – Chute de bille



Viscosimètre d'Hoeppler

*Viscosimètres pour des mesures rapides
de la viscosité absolue de liquides newtoniens*

Mesure du temps de chute libre d'une bille
immergée dans la substance

Viscosité donnée par l'équation de Stokes

R = rayon de la bille

V = vitesse limite de chute

ρ_s = masse volumique de la bille

ρ = masse volumique du liquide

$$\eta = \frac{2 \cdot g \cdot R^2 \cdot (\rho_s - \rho)}{9 \cdot V}$$

4. Principe et description des différents rhéomètres

4.2. Les rhéomètres à régime transitoire

**Détermination du comportement viscoélastique
des matériaux linéaires solides ou liquides;**

**Echantillon soumis à une sollicitation instantanée, qui est maintenue
constante: on étudie son comportement dans les instants qui suivent;**

*Pendant un certain temps qui précède l'établissement du régime permanent, le matériau
manifeste un comportement dépendant du temps : l'étude de ce régime transitoire permet
la détermination de ses propriétés viscoélastiques*

Deux types de rhéomètres transitoires:

Rhéomètres à fluage

Rhéomètres à relaxation



4. Principe et description des différents rhéomètres

4.3. Les rhéomètres dynamiques ou oscillants

**Détermination du comportement viscoélastique
des matériaux linéaires solides ou liquides;**

**Echantillon soumis à des mouvements laminaires de cisaillement
d'amplitude variant sinusoïdalement dans le temps**

Deux types de rhéomètres dynamiques:



Rhéomètres à oscillations forcées:
fonctionnent dans toute une gamme de fréquences

Rhéomètres à relaxation:
étude de l'amortissement