



EXERCICES

- Mesurer les durées de chute d'une bille dans une solution aqueuse de glycérine en fonction de la température.
- Déterminer la viscosité dynamique et comparer avec les données bibliographiques.
- Comparer la dépendance de la viscosité dynamique vis-à-vis de la température à l'aide de l'équation d'Arrhénius et Andrade et déterminer l'énergie d'activation.

OBJECTIF

Déterminer la viscosité dynamique d'une solution aqueuse de glycérine

RESUME

La viscosité dynamique, c'est-à-dire le facteur de proportionnalité entre le gradient de vitesse et la contrainte de cisaillement dans un liquide, caractérise la ténacité d'un liquide. Elle peut être mesurée avec le viscosimètre Höppler à chute de bille. Un thermostat à circulation permet également d'effectuer des mesures en fonction de la température. Dans l'expérience, ces mesures sont réalisées sur une solution aqueuse de glycérine. La dépendance de la viscosité vis-à-vis de la température peut être décrite avec l'équation d'Arrhénius et Andrade.

DISPOSITIFS NECESSAIRES

Nombre	Appareil	Référence
1	Viscosimètre à chute de bille	1012827
1	Chronomètre numérique	1002811
1	Bains thermostatiques et circulation (230 V, 50/60 Hz)	1008654 ou
	Bains thermostatiques et circulation (115 V, 50/60 Hz)	1008653
2	Tuyau flexible en silicone 6 mm	1002622
1	Glycérine, 85 %, 250 ml	1007027
1	Entonnoir	1003568
En plus recommandé :		
1	Jeu de 10 béchers, forme basse	1002872
2	Cylindre de mesure, 100 ml	1002870
	Eau distillée, 5 l	

2

GENERALITES

La ténacité d'un liquide résulte de la liaison réciproque des particules de liquide entre elles. Plus cette liaison augmente, plus la mobilité des particules diminue. La formation d'un gradient de vitesse dans un profil d'écoulement nécessite alors une contrainte de cisaillement plus élevée. Décrivant la ténacité du liquide, le facteur de proportionnalité entre le gradient de vitesse et la contrainte de cisaillement est une grandeur appelée « viscosité dynamique ». Les liquides dont la viscosité dynamique ne dépend pas de la contrainte de cisaillement sont appelés « liquides de Newton ».

La viscosité dynamique η de la plupart des liquides diminue au fur et à mesure que la température augmente. Cette diminution peut souvent être décrite avec l'équation d'Arrhénius-Andrade.

$$(1) \quad \eta = \eta_0 \cdot \exp\left(\frac{E_A}{R \cdot T}\right)$$

E_A : énergie d'activation des particules de liquide
 T : température absolue

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} : \text{constante des gaz}$$

Pour mesurer la viscosité dynamique, on observe souvent une bille qui, sous l'effet de la gravitation, descend dans le liquide. Sa chute est freinée par la force de frottement de Stokes

$$(2) \quad F_1 = \eta \cdot 6\pi \cdot r \cdot v$$

r : rayon de la bille

C'est pourquoi elle diminue à vitesse constante v . L'influence de la force gravitationnelle est réduite par la poussée de la bille dans le liquide :

$$(3) \quad F_2 = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3 \cdot (\rho_0 - \rho) \cdot g$$

ρ_0 : densité de la bille
 ρ : densité du liquide étudié
 g : accélération de la pesanteur

Il résulte de l'équilibre entre les forces F_1 et F_2 :

$$(4) \quad \eta = \frac{2}{9} \cdot r^2 \cdot g \cdot (\rho_0 - \rho) \cdot \frac{t}{s}$$

s : parcours de mesure

t : temps de chute pour le parcours de mesure

En réalité, l'équation (2) décrit la force de frottement exercée sur la bille uniquement pour les cas où le diamètre du tube de mesure rempli du liquide d'essai est sensiblement supérieur à celui de la bille. Toutefois, cela exigerait une grande quantité de liquide d'essai. Dans la pratique, pour mesurer la viscosité, on utilise un viscosimètre Höppler à chute de bille avec un tube de mesure incliné par rapport à la verticale, dans lequel la bille glisse et roule sur la paroi. Dans ce cas, l'équation pour déterminer la viscosité dynamique est la suivante :

$$(5) \quad \eta = t \cdot (\rho_0 - \rho) \cdot K$$

Le facteur de calibration K est indiqué par le fabricant pour chaque bille livrée. Pour éviter d'éventuelles erreurs systématiques, on peut tourner le tube de mesure et mesurer le temps de chute pour le chemin retour. Dans l'expérience, on étudie de la glycérine normale qui, regardée de plus près, est une solution aqueuse contenant une part de glycérine d'env. 85 %. On utilise délibérément la dilution, car la viscosité de la glycérine pure est

très élevée pour de nombreuses applications. La viscosité est mesurée en fonction de la température. À cet effet, le viscosimètre à chute de bille est relié à un thermostat de circulation. La dilution ciblée de la solution de glycérine avec de l'eau distillée permet également d'étudier la dépendance de la concentration vis-à-vis de la viscosité.

EVALUATION

Une comparaison de la viscosité mesurée avec les données bibliographiques confirme les indications du fabricant sur la concentration. On peut réécrire l'équation (1) de la manière suivante :

$$\ln \eta = \ln \eta_0 + E_A \cdot \frac{1}{R \cdot T}$$

C'est pourquoi on applique $y = \ln \eta$ à $x = \frac{1}{R \cdot T}$ et on détermine l'énergie

d'activation E_A à partir de la pente de la droite qui en résulte.

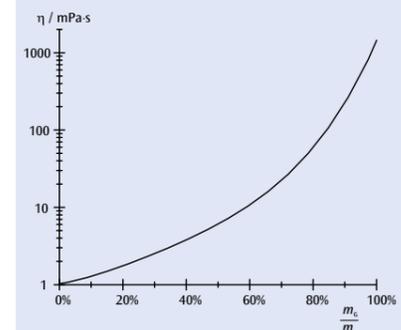


Fig. 1 Viscosité dynamique d'une solution aqueuse de glycérine à 20 °C en fonction de la concentration de masse (données bibliographiques interpolées)

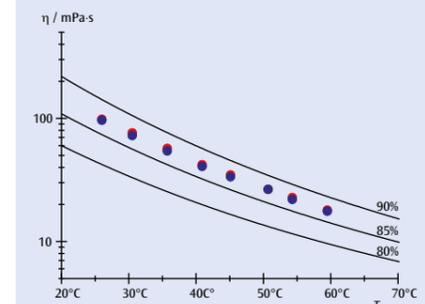


Fig. 2 Viscosité dynamique d'une solution aqueuse de glycérine à 20 °C en fonction de la température (comparaison entre les données de mesure et les données bibliographiques interpolées)

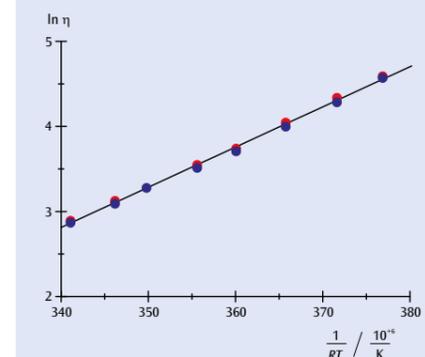


Fig. 3 Représentation pour confirmer l'équation d'Arrhénius et Andrade et déterminer l'énergie d'activation ($E_A = 47 \text{ kJ/mol}$)