

Étude de la viscosité

Projet tuteuré encadré par Thierry Guillet

FLPH 617

Groupe 16a

MILOUD MEZIAN

JÉRÉMY KESSOUS

JEAN-DAVID WURTZ

12-04-2011

Objectifs:

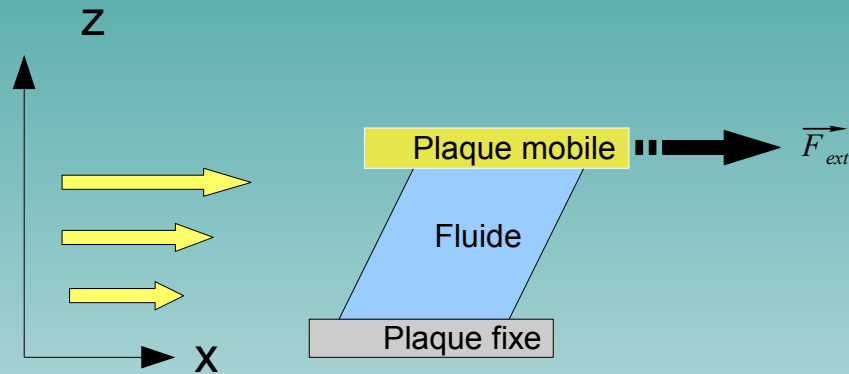
- Concevoir un viscosimètre
- Mesurer la viscosité d'un fluide
- Étudier le comportement de la viscosité en fonction de la température
- Comprendre l'origine microscopique de la viscosité

Plan:

- I) Définition macroscopique de la viscosité
- II) Viscosimètre à bille
- III) Étude de la viscosité de la glycérine et du miel
- IV) Proposition du modèle microscopique

Viscosité dynamique:

Définition: La viscosité dynamique d'un fluide peut se définir comme sa capacité à résister à une contrainte.



Écoulement de Couette plan.

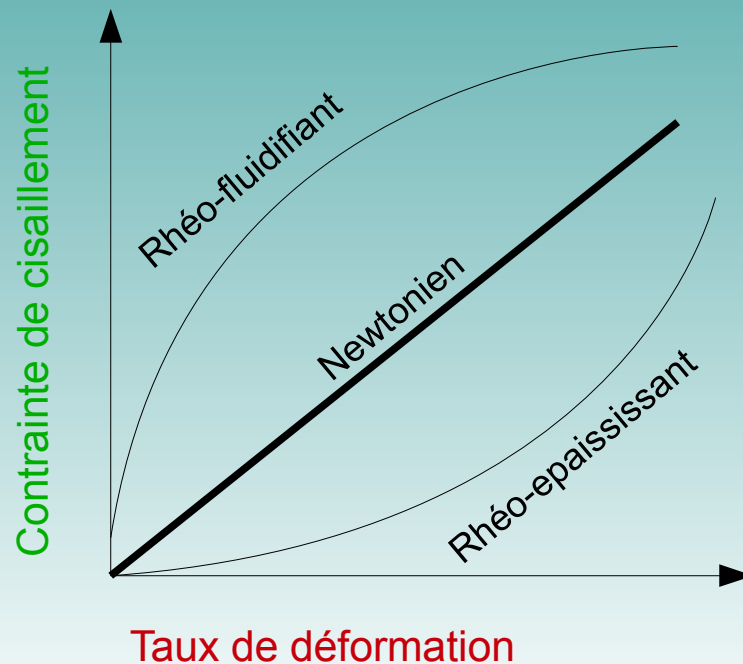
$$F_x = \eta S \frac{\partial v_x}{\partial z}$$

$$[\eta] = \frac{[Force][Temps]}{[Surface]} = ML^{-1}T^{-1}$$

Dans le système international (SI), l'unité de la viscosité est le Pa.s. Une autre unité souvent utilisé est le poiseuille (PI) : 1 PI = 1 Pa.s.

Fluide Newtonien:

Définition : Un fluide est dit newtonien si, à une température fixée, sa viscosité reste constante qu'elle que soit la contrainte qu'il subit.



$$\sigma = \frac{F_x}{S} = \eta \frac{\partial v_x}{\partial z}$$

Contraite de cisaillement

Viscosité

Taux de déformation

Nombre de Reynolds:

$$\underbrace{\rho \left[\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}) \vec{v} \right]}_{\text{terme inertiel}} = -\overrightarrow{\text{grad}} p + \underbrace{\eta \Delta \vec{v}}_{\text{terme visqueux}} + \rho \overrightarrow{f}_v$$

$\frac{\rho U^2}{R}$ $\frac{\eta U}{R^2}$

$$Re = \frac{[\text{terme inertiel}]}{[\text{terme visqueux}]} = \frac{\rho U R}{\eta}$$

$Re < 1$

Régime laminaire

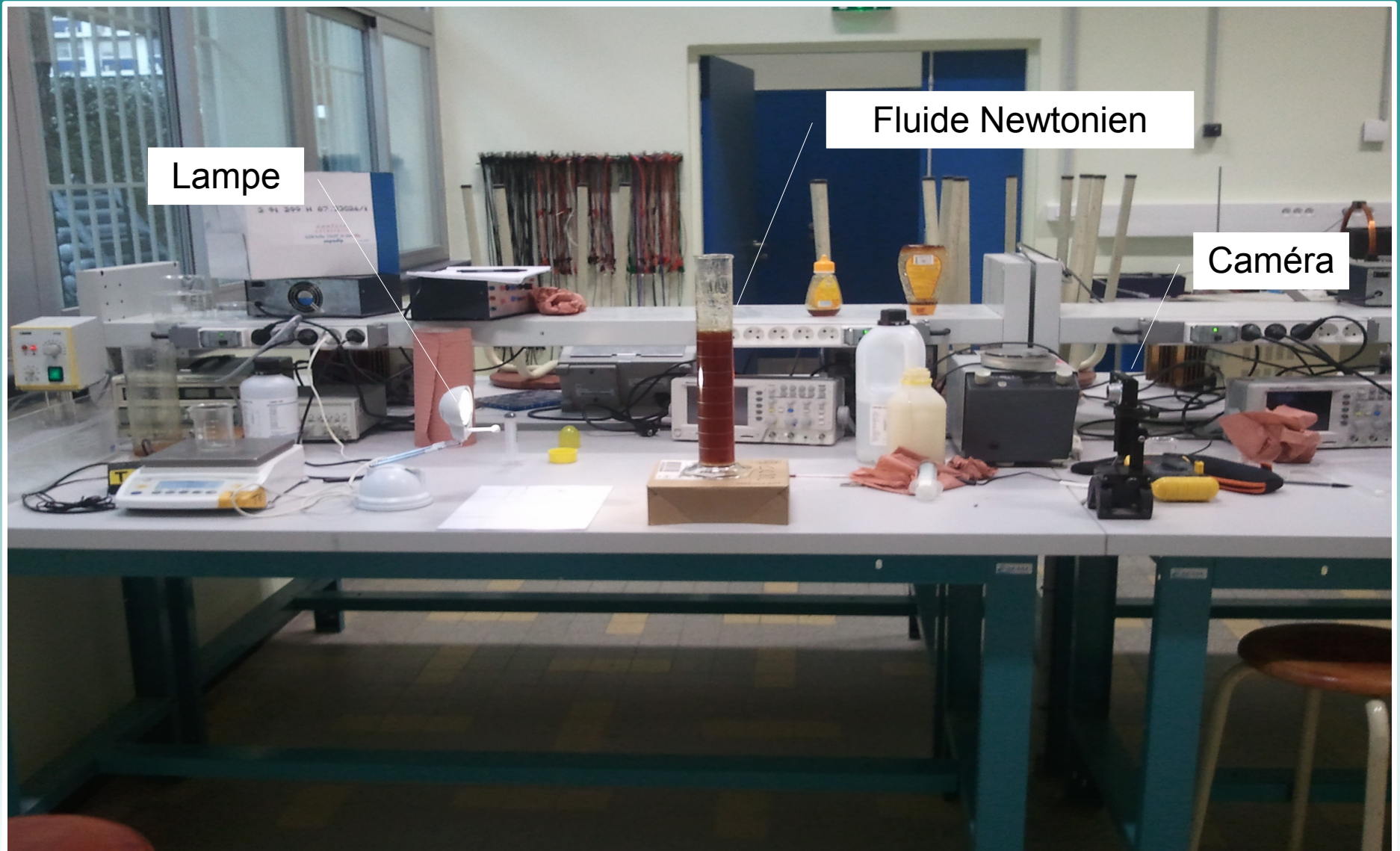
$Re > 1000$

Régime turbulent

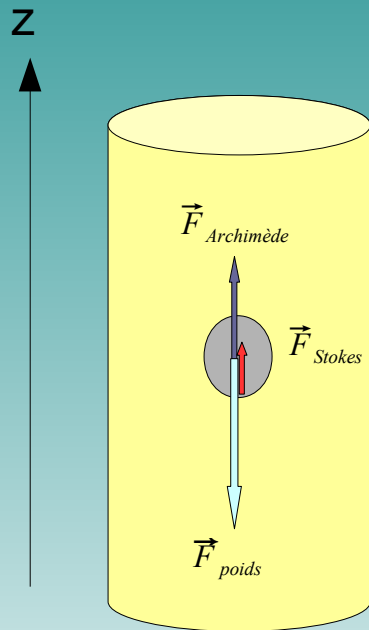
$30 < Re < 800$

Régime intermédiaire

Dispositif expérimental: viscosimètre à bille



Bilan des forces:



Poids:

$$\vec{P} = -\frac{4}{3}\pi R^3 \rho_b g \vec{e}_z$$

Poussée d'Archimède:

$$\vec{\Pi} = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho_f g \vec{e}_z$$

Force de Stokes:

$$\vec{F}_S = -6\pi\eta R\vec{v} = 6\pi\eta Rv\vec{e}_z$$

Détermination de la viscosité:

On applique le principe fondamentale de la dynamique:

$$\dot{v} + \frac{9\eta}{2R^2\rho_b} v = g \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_b} \right) \longrightarrow \text{Équation différentielle}$$

$$v(t) = \frac{2\rho_b R^2}{9\eta} g \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_b} \right) \left(1 - \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \right) \longrightarrow \text{Solution de l'équation}$$

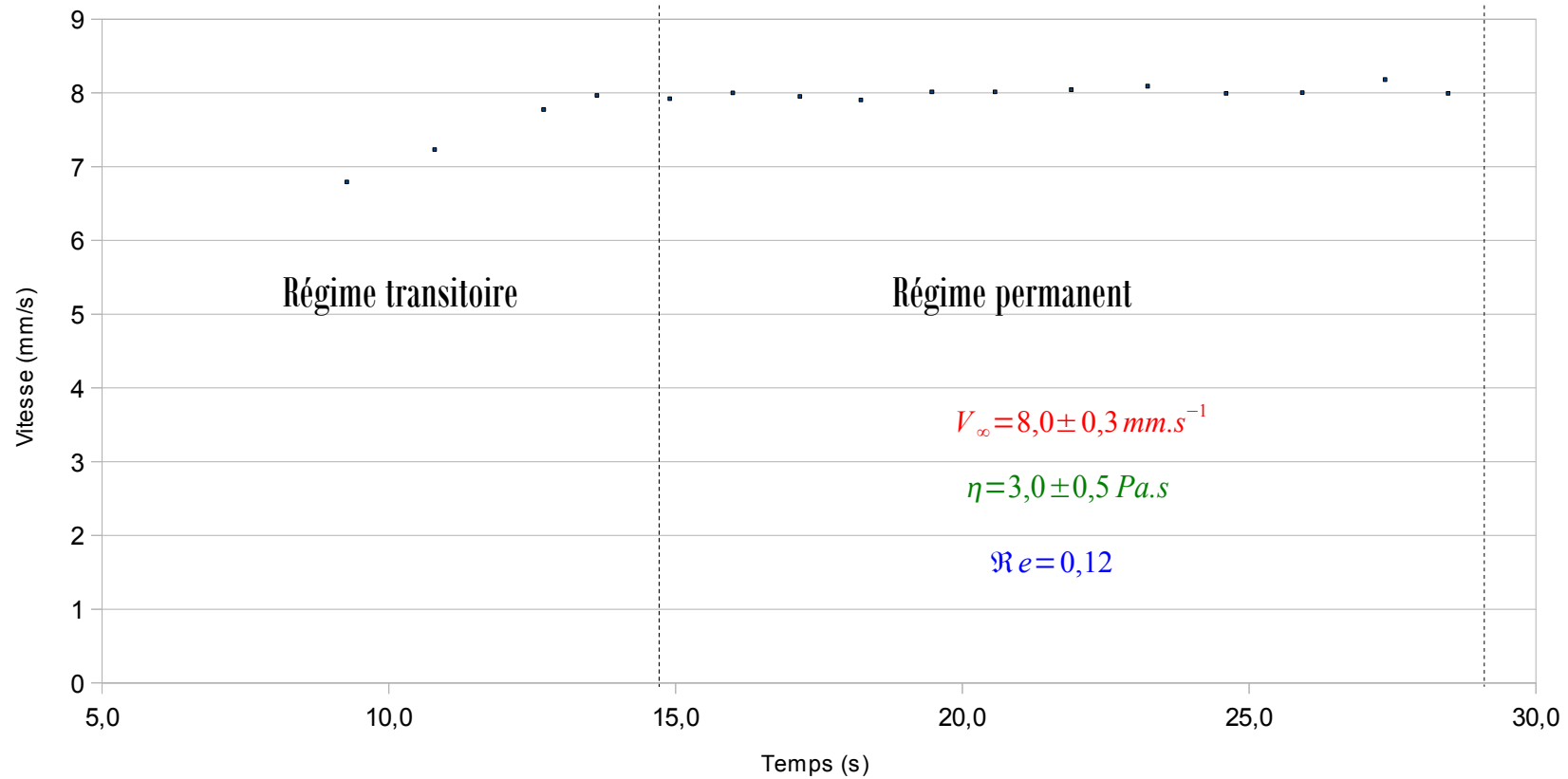
$$v_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} v(t) = \frac{2\rho_b R^2}{9\eta} g \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_b} \right) \longrightarrow \text{Solution stationnaire}$$

$$\eta = \frac{2\rho_b R^2}{9v_\infty} g \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_b} \right)$$

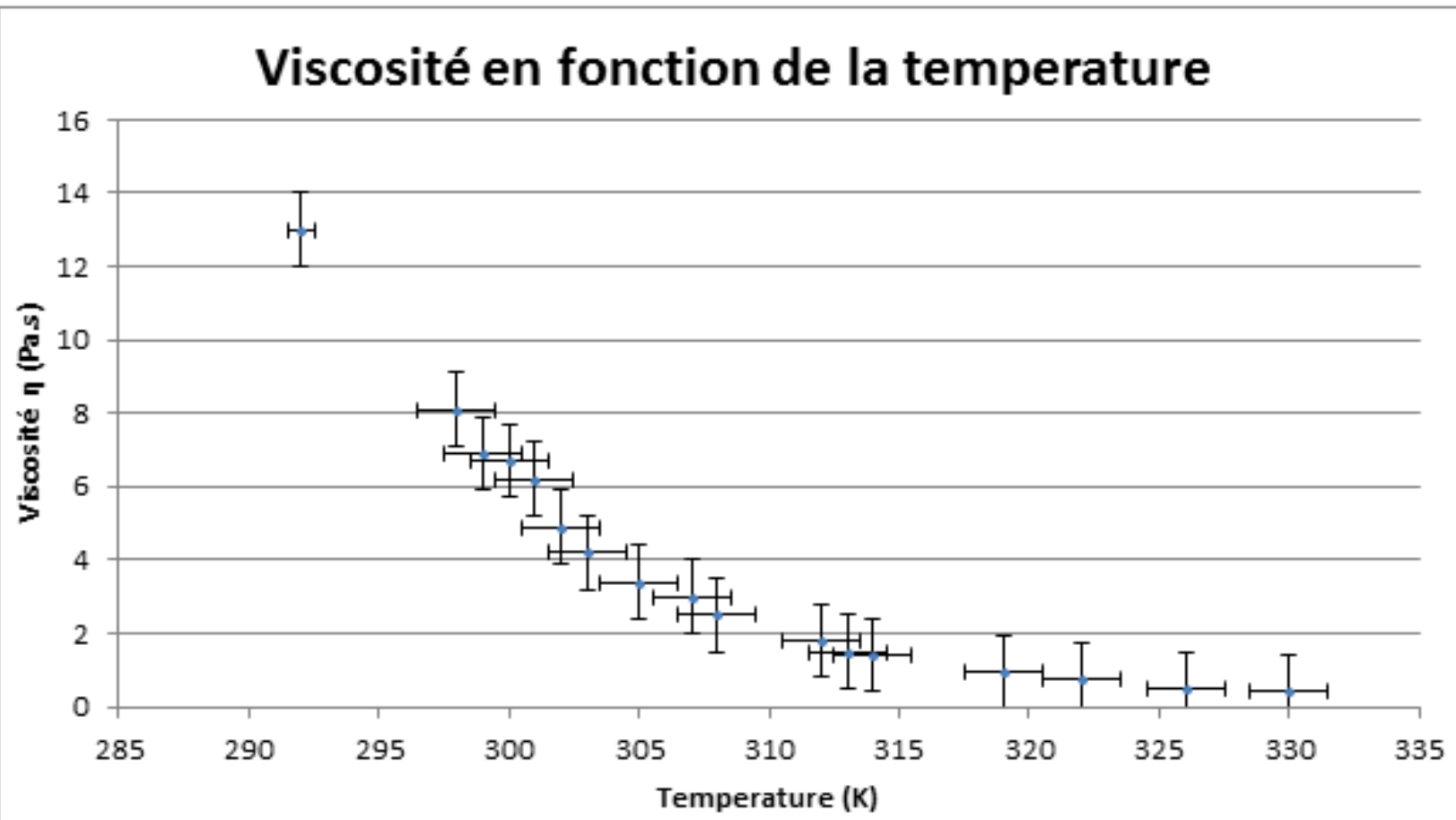
Miel 34°C



Vitesse en fonction du temps



Viscosité en fonction de la température:



Modélisation:

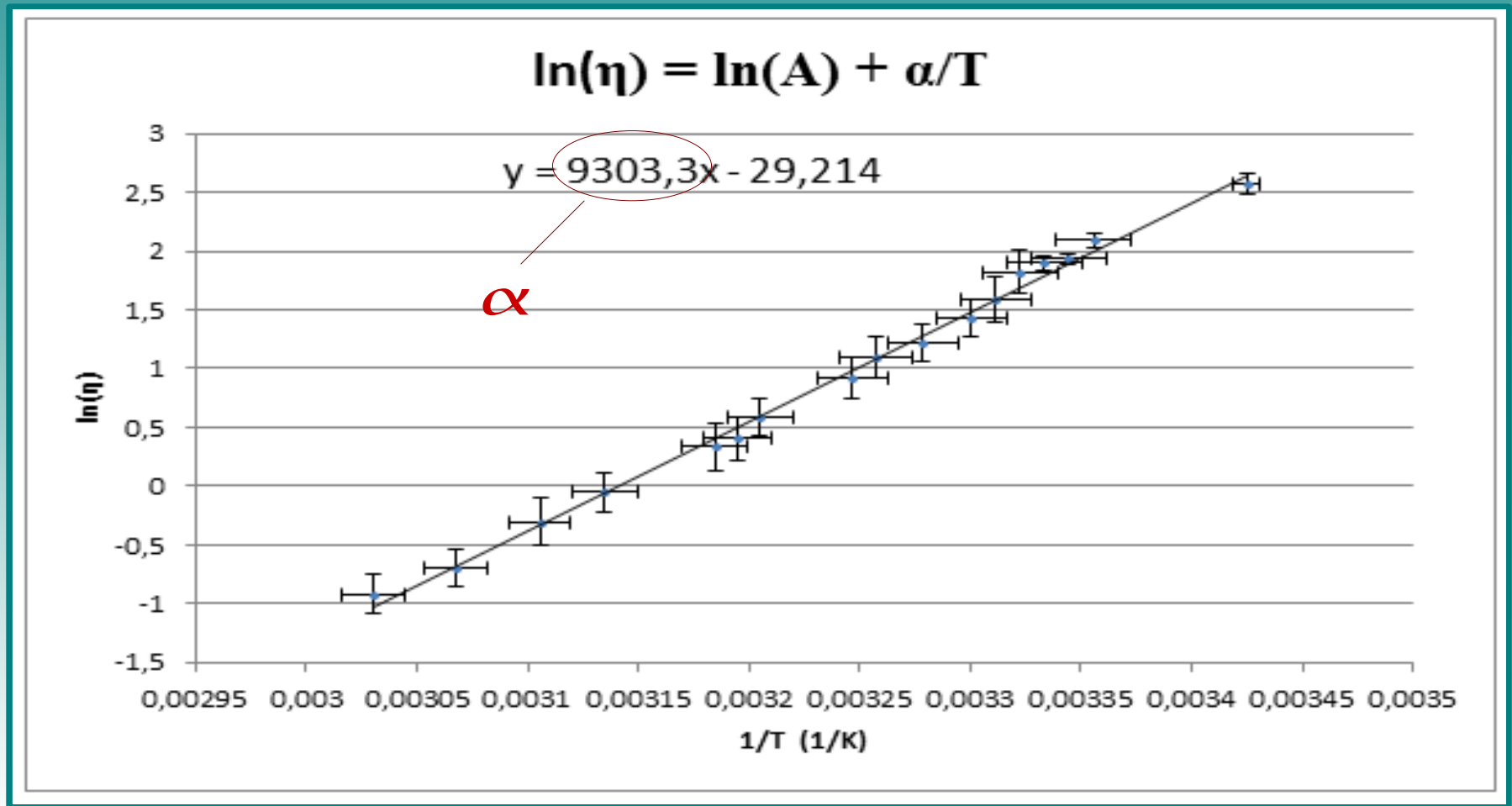
On postule :

$$\eta(T) = A \cdot \exp\left(\frac{\alpha}{T}\right)$$



$$\ln(\eta) = \ln(A) + \frac{\alpha}{T}$$

Vérification du modèle:



Modèle d'Andrade:

$$P(\epsilon) = A \exp\left(-\frac{\epsilon}{k_B T}\right)$$



Distribution de probabilité des énergies

$$\eta(T) = B \exp\left(\frac{\epsilon}{k_B T}\right)$$



Viscosité d'Andrade

$$\eta(T) = B \exp\left(\frac{N_A \epsilon}{N_A k_B T}\right) = B \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right)$$

E_a



Énergie d'activation

Interprétation:

Liquide : Ensemble de molécules liées entre elles

Énergie d'activation : représentative de l'intensité des liaisons

$$\eta(T) = A \exp\left(\frac{\alpha}{T}\right) = A \exp\left(\frac{N_a k_b \alpha}{RT}\right) \quad \text{avec} \quad E_a = N_a k_b \alpha$$

Miel :

$$E_a = 74 \pm 3 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

Glycérine :

$$E_a = 50 \pm 5 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

Conclusion:

Avantages du viscosimètre à bille :

- Très facile d'utilisation
- Peu coûteux

Inconvénients du viscosimètre à bille :

- Fluide newtonien uniquement
- Fluide « assez visqueux » uniquement
- Petite gamme de température

Énergie d'activation de la glycérine ~ Énergie de liaison hydrogène

Étudier la viscosité en fonction de la pression

Merci de votre attention...