

Cours rhéologie – Exercices session 4

Réponses numériques en bleu

4.1. Caractérisation expérimentale d'une loi de puissance

Les données du Tableau 4.1 ont été obtenues par N.D. Sylvester (PhD Thesis, Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh, Pa, 1968) à température ambiante pour une solution aqueuse à 1.10% de Sapran® AP-30. Il s'agit d'un polyacrylamide partiellement hydrolysé d'un poids moléculaire de 2 à 3 millions. Faites correspondre ces données avec un modèle et déterminez les constantes du modèle trouvé.

$$\kappa = 4.5 \text{ Pa.s}^{0.34} \text{ et } n = 0.34$$

Tableau 4.1. Contrainte en fonction de la vitesse de cisaillement d'une solution aqueuse de polyacrylamide.

τ [dyn/cm ²]	$\dot{\gamma}$ [1/s]
365	415
434	748
471	929
536	1360
566	1630
616	2110
653	2360
695	2710
748	3400

4.2. Loi puissance d'une solution de polymère

Une solution polymérique est représentée par l'équation suivante :

$$\tau = \kappa \cdot (\dot{\gamma})^n \quad \text{avec} \quad \kappa = 2.7 \cdot 10^2 \text{ Pa.s}^n \quad \text{et} \quad n = 0.635$$

- a) Quelle est sa viscosité pour une contrainte de 1000 Pa ?
 $\eta(1000 \text{ Pa}) = 127.2 \text{ Pa.s}$
- b) Pourquoi cette équation induit des erreurs pour de très faibles taux de cisaillement ? S'agit-il d'une solution dilatante ? Peut-on déterminer si elle est thixotropique ou rhéopeptique ?

4.3. Viscosité en fonction de la température

Quelle est la viscosité à un cisaillement nul à 200°C du matériau dont le comportement est montré par les courbes de la Figure 4.1 ?

$$\eta_0(200^\circ\text{C}) = 16.9 \text{ Pa.s}$$

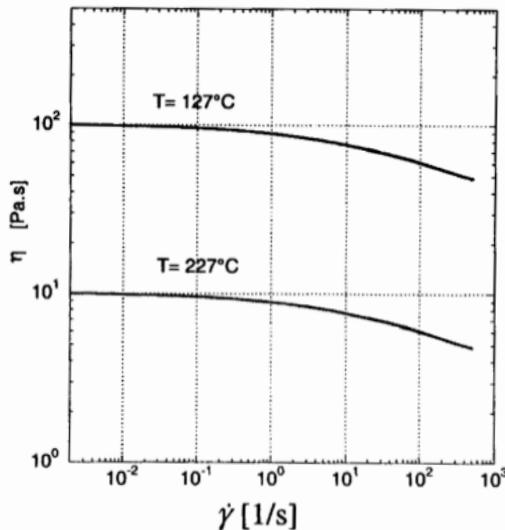


Figure 4.1. Viscosité vs. taux de cisaillement à 127°C et 227°C.

4.4. Cisaillement entre deux plaques parallèles

Différents matériaux ont été testés en cisaillement entre deux plaques parallèles. La plaque supérieure exerce une contrainte comme suit, tous les intervalles de temps étant égaux :

Intervalle de temps	Contrainte
0 – t₁	0
t₁ – t₂	S
t₂ – t₃	0
t₃ – t₄	2S
t₄ – t₅	0

Tracer la courbe cisaillement - temps pour :

a) un solide de Hooke,

et tracer les courbes de vitesse de cisaillement - temps pour :

b) un fluide newtonien,

c) un fluide non-newtonien.

4.5. Calcul de la viscosité d'un fluide

L'équation entre la contrainte de cisaillement τ et le taux de cisaillement $\dot{\gamma}$ est donnée par la relation empirique suivante :

$$\tau = \frac{A\dot{\gamma}}{1 + \sqrt{B \cdot \dot{\gamma}}} \quad \text{où } A \text{ et } B \text{ sont des constantes positives.}$$

a) Etant donné que la viscosité à cisaillement nul est égale à $10 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ et qu'on mesure une viscosité de $1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ pour une contrainte de 10^3 Pa pour un certain échantillon, calculer la viscosité pour un taux de cisaillement de $4 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$.

$$\eta(4 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}) = 0.526 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

b) Ce fluide est-il dilatant ou pseudoplastique ?

4.6. Ketchup

La Figure 4.2 représente la contrainte de cisaillement en fonction du taux de cisaillement, pour trois fluides alimentaires (sirop de maïs 'Karo', sauce salade 'Miracle Whip' et ketchup 'Heinz 57'), ainsi que la géométrie pour le calcul d'écoulement.

a) Pour chaque fluide, quel est à votre avis d'après la courbe le type de comportement (Newtonien ou pas, etc..) ?

b) On considère une bouteille de ketchup, que l'on assimile à un grand réservoir, de longueur $Z = 10 \text{ cm}$, avec un goulot cylindrique de longueur $L = 6 \text{ cm}$ et de diamètre $D = 1.5 \text{ cm}$. Soit H la hauteur du ketchup dans la bouteille (au dessus du goulot). On renverse la bouteille, le goulot en bas. Est-ce que le ketchup va couler sous l'action de la gravité ? Pour cela, calculez par l'équilibre des forces de cisaillement à la paroi, et donnez la réponse en fonction de la hauteur H de ketchup dans la bouteille. Ne prenez pas en compte le poids de ketchup dans le goulot. On donne la densité du ketchup $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$ et $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, et on admet que la pression dans la bouteille au dessus du ketchup est de 1 bar.

Le ketchup s'écoule si la hauteur H dans la bouteille est d'au moins 3.26 cm.

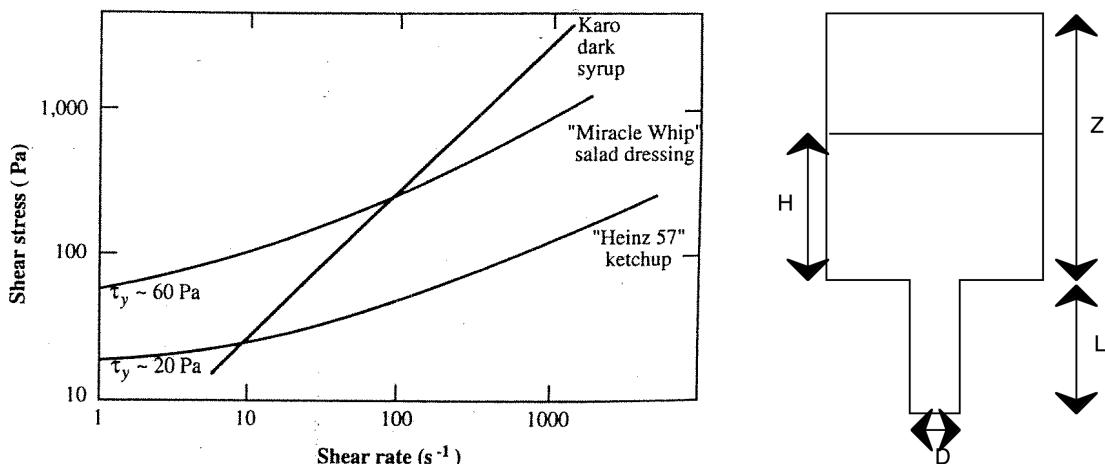


Figure 4.2. Courbes d'écoulement de trois fluides alimentaires et géométrie de l'écoulement.

4.7. Questions diverses

- a) Pour un fluide, quelle est la différence entre un comportement rhéofluidifiant et un comportement thixotrope ?
- b) Faites un graphe de l'évolution de la contrainte en fonction du taux de cisaillement, et de la viscosité en fonction du taux de cisaillement, pour un polymère qui a un comportement dilatant (ou rhéoépaississant).
- c) Quel modèle décrit généralement bien le comportement rhéologique d'un polymère fondu, et que signifient les différents paramètres de ce modèle ? Dans ce modèle, quel paramètre indique la transition entre le plateau Newtonien et le comportement de loi de puissance ?
- d) Comment la viscosité η d'un polymère dépend-t-elle de la masse moléculaire M_w , et pourquoi ?