

Cours rhéologie – Exercices session 7

Réponses numériques en bleu

7.1. Suspensions de sphères soumises à un cisaillement continu

Trois suspensions de sphères sont soumises à un cisaillement continu. Le fluide interstitiel a la même viscosité η_0 à 25°C dans les trois cas, mais la taille et la concentration des particules en suspension sont différentes. Leurs caractéristiques sont données dans le Tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques des trois suspensions.

Suspension	Diamètre des particules, d [μm]	Viscosité du fluide à 25°C [Pa.s]	Taux de cisaillement [s^{-1}]	Fraction volumique de particules
1	0.01	100	10^{-4}	0.02
2	10	100	10^{-4}	0.1
3	100	100	10^{-4}	0.5

a) Calculez la viscosité dynamique des trois suspensions à 25°C en négligeant l'effet des charges électrostatiques.

$$\eta_1 = 105 \text{ Pa.s} ; \eta_2 = 130.2 \text{ Pa.s} ; \eta_3 = 1'138 \text{ à } 2'280 \text{ Pa.s}$$

b) Pour les trois suspensions estimez par un calcul l'influence possible du mouvement brownien par rapport aux forces hydrodynamiques, et aux forces de van der Waals. Quels sont les interactions dominantes dans chaque cas et pourquoi ? On suppose que deux particules sont séparées par une distance $h \sim 10^{-2} d$ pour la suspension 1, $h \sim d$ pour la suspension 2 et $h \sim 10^{-1} d$ pour la suspension 3, d étant le diamètre des particules. On donne les constantes de Boltzmann $k_B = 1.380 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ et de Hamaker $A = 10^{-19} \text{ J}$.

Suspension 1 : VdW >> Brownien >> hydrodynamique

Suspension 2 : hydrodynamique > VdW >> Brownien

Suspension 3 : hydrodynamique >> VdW >> Brownien

c) On décide d'augmenter la température de la suspension 2 de 100°C. Cela aura-t-il un effet sur vos conclusions quant à l'influence du mouvement brownien ? Quels autres facteurs permettent d'agir sur le mouvement brownien ? Pourquoi ? Calculez la nouvelle viscosité de la suspension 2, l'énergie d'activation pour l'écoulement visqueux du fluide suspendant étant égale à 30 kJ/mol.

$$\eta_2(125^\circ\text{C}) = 6.23 \text{ Pa.s}$$

d) Doit-on diminuer ou augmenter, et de combien, la fraction volumique des particules sphériques de la suspension 3 pour trouver la même viscosité à 125°C qu'à 25°C (et 50 %vol, calculée au point a) ? On prendra une concentration maximale de 60 %vol.

Il faut ajouter 8.7 %vol de particules.

7.2. Nanosuspension salée

Calculez la fraction volumique effective φ_{solv} d'une suspension de nanoparticules de silice de diamètre 150 nm de fraction volumique 40% dans une solution saline de NaCl de concentration 0.005 M. On donne la longueur de Debye inverse pour des sels monovalents $\kappa = 3.29 \sqrt{[c]} \text{ [nm}^{-1}\text{]}$. Calculez ensuite l'augmentation de viscosité de la suspension due à ce phénomène de solvatation.

$\varphi_{solv} = 0.469$ et l'augmentation de viscosité est de 88%.

7.3. Suspension d'agrégats de particules sphériques

Des particules sphériques sont en suspension dans un solvant Newtonien. La suspension obtenue a une viscosité à 20°C de 12'500 Pa.s. La Figure 1 montre la dépendance en température de la viscosité du solvant. Les particules de diamètre moyen de 15 μm forment des agrégats composés en moyenne de 20 particules sphériques et qui renferment 12'387 μm^3 de solvant.

Sachant que la fraction volumique à capacité maximale des particules est de 0.64, calculez la fraction volumique des particules ϕ dans la suspension. S'agit-il d'une suspension diluée, semi-concentrée ou concentrée ? Par ailleurs, que pouvez-vous dire des agrégats ?

$\phi = 44.1 \%$.

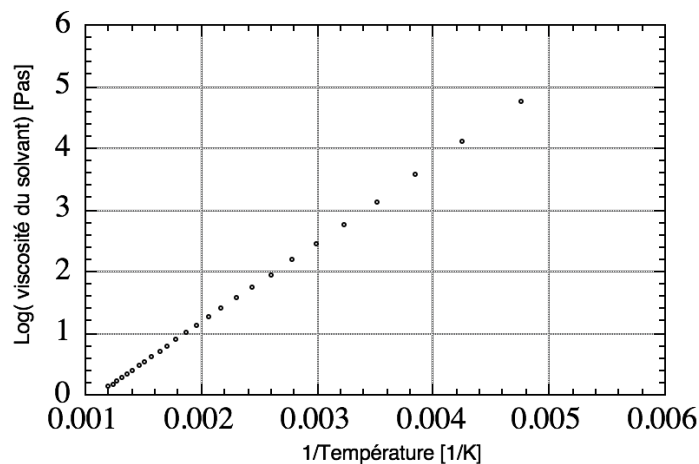


Figure 1. Viscosité du solvant en fonction de la température.

7.4. Injection du polypropylène renforcé

Pour une pièce d'un véhicule, il a été choisi d'utiliser un composite à base de polypropylène, renforcé de fibres de verre (E-Glass). Le composite est moulé par injection à une température de 200°C. Le composite doit impérativement avoir un module d'élasticité égal ou supérieur à 10 GPa, mais la presse à injection détermine la viscosité maximale permise pour remplir le moule. Le tronçon limitant dans la presse à injection est la buse, un conduit cylindrique de 100 mm de rayon et d'un mètre de long reliant le piston au moule (Figure 2).

On a les données suivantes :

- Le polypropylène a un module d'élasticité de 2 GPa et une viscosité à 200°C et à un taux de cisaillement de 1 s^{-1} égale à 1875 Pa.s, avec un indice de loi de puissance n égal à 0.5.
- Les fibres ont des longueurs différentes, mais en moyenne de 160 μm et un diamètre de 20 μm , elles possèdent un module d'élasticité de 75 GPa.
- La pression applicable par la presse est de 15 MPa, le moule a un volume de 0.3 m^3 et doit être rempli en 10 s.

On considère par ailleurs les approximations suivantes :

- a) les fibres sont parallèles au flux de la buse,
- b) la buse est à une température uniforme de 200°C,
- c) le module d'élasticité satisfait la loi des mélanges : $E_c = E_v\Phi + E_{pp}(1-\Phi)$ où Φ est la fraction volumique de fibres,
- d) le composite est un composite idéal (pas de porosité ...).

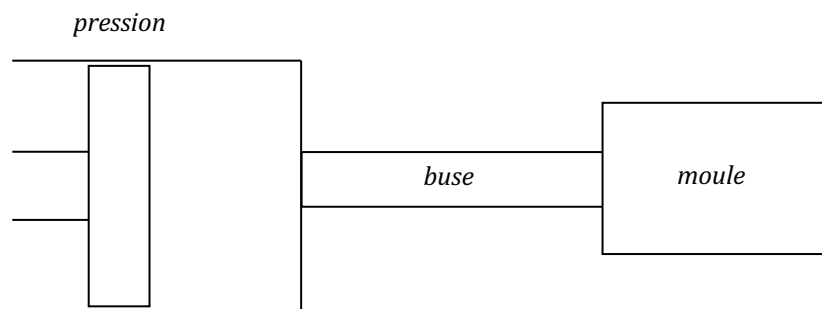


Figure 2. Presse à injection.

- a) Quel est le comportement rhéologique du polypropylène pur ?
- b) Quelle est la fraction volumique minimale de fibres qui permet l'utilisation adéquate du composite ?
 $\Phi = 10.96\%$
- c) Quel sera le comportement rhéologique de la suspension PP/fibres de verre avec cette composition ? Calculez la viscosité de la suspension en considérant une compaction maximale de 48% pour les fibres avec leur facteur de forme. $\eta = 13726 \text{ Pa.s}$
- d) Quelle est la viscosité maximale du mélange que l'on peut avoir pour ne pas endommager la presse à injection, selon la donnée ci-dessous ? Pour cela, on doit calculer le débit nécessaire pour remplir le moule en 10 s, et tenir compte de la pression maximale que la presse peut imposer. On prend l'hypothèse que l'indice n du mélange reste celui du PP pur, et que seul la consistance κ sera modifié.
 $\eta = 15708 \text{ Pa.s}$
- e) Est-ce qu'on arrive à faire un composite qui ait les propriétés requises en module, et aussi la viscosité demandée ? Est-ce qu'on peut proposer une amélioration ?