

Capacités exigibles : - Exploiter des mesures pour modéliser une force de résistance aérodynamique lors d'un déplacement d'un solide à vitesse constante

Une bille en train de couler dans un liquide visqueux atteint rapidement une vitesse limite. Selon la taille de la bille et la viscosité du liquide dans lequel il est plongé, les frottements ne sont pas les mêmes.

Problématique : Quel est le modèle des forces de frottements fluide utilisé dans un viscosimètre, appareil de mesure de la viscosité d'une huile ?

Document 1. Principe du viscosimètre à chute libre

La viscosité d'un fluide se définit comme l'ensemble des phénomènes qui résiste à l'écoulement de ce fluide. Elle se mesure en Pa.s à l'aide d'un viscosimètre.

Le viscosimètre à chute libre comporte un long tube muni de deux repères distants d'une longueur L . On y introduit le liquide à étudier et une bille en acier de diamètre calibré qui va chuter à travers le liquide. Le mouvement de la bille étant rectiligne uniforme entre les 2 repères, la vitesse limite v_{limite} atteinte par la bille se détermine par le rapport de la distance L sur le temps de chute entre les deux repères.

Viscosimètre à chute libre



Document 2. Modèles des forces de frottements fluide

On s'intéresse au cas le plus simple d'une bille de rayon R et de masse volumique ρ_{bille} chutant dans un liquide de masse volumique ρ_{liquide} et de viscosité η .

Modèle n°1 : Dans le cas des chutes avec une vitesse relativement faible, la force de frottements est proportionnelle à la vitesse : $f = k \cdot v$ où k est une constante qui dépend de la nature du fluide et des caractéristiques de la bille : $k = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R$ où η est la viscosité du fluide (en Pa.s).

La vitesse limite atteinte vaut alors : $v_{\text{limite}} = \frac{2 \cdot R^2 \cdot \rho_{\text{bille}} \cdot g}{9 \cdot \eta} \times \left(1 - \frac{\rho_{\text{liquide}}}{\rho_{\text{bille}}}\right)$

Modèle n°2 : Dans le cas des chutes avec des vitesses importantes, la force de frottements est proportionnelle au carré de la vitesse : $f = k' \cdot v^2$ où k' est aussi une constante qui dépend du fluide et des caractéristiques de la bille : $k' = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{liquide}} \cdot S \cdot C_x$ où ρ_{liquide} est la masse volumique du fluide, S la surface projetée de la bille ($S = \pi \cdot R^2$) et C_x le coefficient de traînée qui dépend de la géométrie du corps. Pour une bille, $C_x = 0,45$.

La vitesse limite atteinte vaut alors : $v_{\text{limite}} = \sqrt{\frac{8 \cdot (\rho_{\text{bille}} - \rho_{\text{liquide}}) \cdot R \cdot g}{3 \cdot C_x \cdot \rho_{\text{liquide}}}}$ avec $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Document 3. Matériel disponible

- 1 grande éprouvette en verre
- 1 règle graduée
- 2 liquides visqueux incolores (voir doc.5)
- 1 feutre
- 5 billes de différents diamètres (voir doc.4)
- Essuie-tout
- 1 chronomètre

Document 4. Données pour les billes

	Masse (g)	Diamètre (mm)
Bille n°1	0,13	3,17
Bille n°2	0,26	3,96
Bille n°3	0,44	4,76
Bille n°4	0,68	5,50
Bille n°5	1,12	6,50

Document 5. Données pour les liquides

	Masse volumique ρ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	Viscosité η (Pa.s)
Huile de ricin	$0,92 \times 10^3$	0,97
Glycérine	$1,26 \times 10^3$	1,4

Partie 1. Etude préliminaire

1. On considère le système {bille} étudié dans le référentiel terrestre, lâchée sans vitesse initiale dans un liquide visqueux. Quelles sont les 3 forces mises en jeu lors de la chute ?

2. Dans la première phase, c'est-à-dire au début de la chute, comment va évoluer la vitesse de la bille ? En déduire comment vont évoluer les frottements dans cette première phase. Montrer alors que le mouvement va rapidement évoluer vers une seconde phase de chute caractérisée par un mouvement rectiligne et uniforme.

On peut montrer que la première phase ne dure que quelques millièmes de seconde...

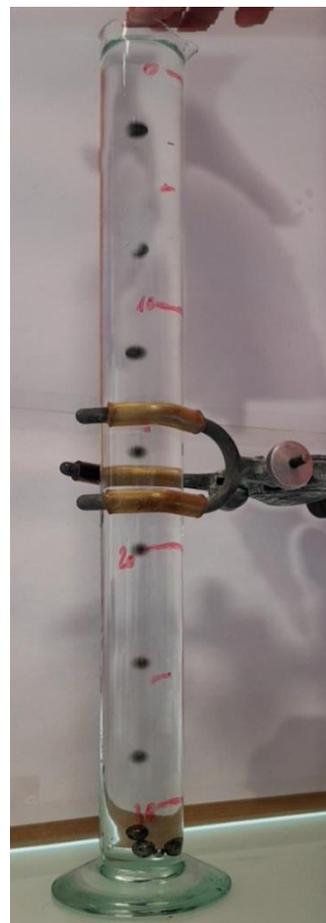
Pour le vérifier expérimentalement, on a réalisé la chronophotographie de la chute d'une bille dans un des deux liquides visqueux (en photo ci-contre).

3. Montrer, grâce cette chronophotographie, que le mouvement est bien rectiligne uniforme sur une très grande partie de la chute.

4. Rédiger un protocole expérimental qui permette de vérifier lequel des deux modèles de frottements fluide du doc.2 correspond à celui mis en jeu lors de la chute d'une bille dans un viscosimètre.



Appeler le professeur pour qu'il vérifie votre protocole



Partie 2. Mesures et calculs

5. Choisir un type d'huile et réaliser les mesures et calculs qui permettent de répondre précisément à la problématique. Utiliser, pour présenter vos résultats, la feuille de calcul proposée par le professeur.

	A	B	C	D	E	F	G	huile de ricin				glycérine			
	Données billes							Modèle n°1		Modèle n°2		Modèle n°1		Modèle n°2	
		Masse (g)	Diamètre (mm)	Rayon (m)	Volume (m ³)	Masse volumique (kg/m ³)		V _{limite} (m/s)	V _{limite} (cm/s)	V _{limite} (m/s)	V _{limite} (cm/s)	V _{limite} (m/s)	V _{limite} (cm/s)	V _{limite} (m/s)	V _{limite} (cm/s)
3															
4	Bille n°1	0,13	3,14												
5	Bille n°2	0,26	3,94												
6	Bille n°3	0,41	4,76												
7	Bille n°4	0,7	5,54												
8	Bille n°5	0,7	6,32												
9								Calcul des vitesses limites théoriques							
10	Fluides	Masse volumique (kg/m ³)	Viscosité (Pa.s)												
11															
12	Huile de ricin	9,20E+02	0,97												
13	Glycérine	1,26E+03	1,4												
14															
15	Autres données	g (m/s ²)	9,81												
16		Cx	0,45												
17															
18															
19															
20															
21															
22															

AIDES AU TABLEUR :
 pour faire un calcul taper dans la cellule = puis la formule
 pour faire une puissance de 10 taper *1E(exposant)
 exemple : *1E-3 pour x10⁻³
 pour taper Pi il faut écrire Pi()
 pour mettre au carré ou au cube : ^2 ou ^3
 pour fixer une cellule, sélectionner la cellule puis F4 ou placer \$ avant la colonne et \$ avant la ligne
 exemple : pour fixer A1 il faut avoir \$A\$1
 pour fixer une colonne, placer \$ avant la colonne
 exemple : pour fixer la colonne A il faut avoir \$A1

Partie 3. Conclusion

6. Conclure en répondant à la problématique. Expliquer alors comment, dans un viscosimètre, à partir de la mesure expérimentale de la vitesse limite v_{limite} , on peut retrouver la viscosité η d'une huile.

Pour les plus rapides :

a. Pour la bille n°1 et l'huile de ricin, calculer les valeurs du poids, de la poussée d'Archimède et de la force de frottements. Il est toujours possible d'utiliser le fichier du tableur et de créer de nouvelles cellules...

Rappels : la poussée d'Archimède \vec{P}_A est une force opposée au poids, dirigée de bas en haut, qui s'exerce sur un solide immergé dans un fluide. Elle se calcule selon la formule : $P_A = \rho_{fluide} \times V_{objet} \times g$

b. Avec une échelle à préciser, représenter chacune des forces.