page 1

$n v(0) = 0$

$\downarrow$

le $\sim 6\pi V \sim \frac{2}{9}\frac{\rho_b}{\eta} r^2 \times V$

MP03 : DYNAMIQUE DES FLUIDES

hyp:
- RP : commence à 900 (≈ 3cm)
  ici ⇒ 4 cm ok
- fond
- bords : $\frac{2}{9}\frac{\rho_b - \rho_F}{\eta} r^2 g \left(1 - 2{,}1\frac{r}{R}\right)$
- $Re < 1$ pour Stokes

Viscosimètre à chute de bille

valeurs préparation

En RP : $v = v_{lim} = \frac{2}{9}\frac{\rho_{bill} - \rho_F}{\eta} g r^2$

$T_{prep} = 19{,}8°C$

$v = b r^2 + a \quad \Rightarrow b = \frac{2}{9}\frac{\rho_{Bille} - \rho_F}{\eta} g$

$\Delta v = v\sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2}$

$b = 12189 \pm 644$

$$\Rightarrow \boxed{\eta = \frac{2}{9}\frac{\rho_{bille} - \rho_F}{b} g} = 1{,}22 \pm 0{,}07 \text{ Pa.s}$$

$$\Delta\eta = \eta \times \sqrt{\left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\rho_B}{\rho_B - \rho_F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\rho_F}{\rho_B - \rho_F}\right)^2}$$

$b = 12189 \pm 644$.

$$Re = \frac{\rho \, \overset{5mm}{d} \, \overset{V_{max} = 0{,}07 m/s}{V}}{\eta} = \frac{978 \times 5 \times 10^{-3} \times 0{,}07}{1{,}22} = 0{,}28 < 1.$$

Données : entre 300 et 900 : $L = 20{,}4 \pm 0{,}5$ cm

$\rho_{bille} = 7796 \pm 55$ kg/m³

$\rho_F(20°C) = 978 \pm 1$ kg/m³ $\quad \rho_{F\,tab} \sim 970$ kg/m³ (25°C)

viscosité d'un liq ↘ avec T , viscosité d'un gaz ↗ avec T.

En direct :
- mesure de r
- mesure de t
- Δv
- Igor
- $b =$
- $\eta =$ et $\Delta\eta$
- commenter Re.

I) Ecoulements à ~~grand~~ petit nombre de Reynolds :

1) Mesure de viscosité : viscosimètre à billes :

But = mesure d'une grandeur Kg d'un écoulement visqueux : viscosité η

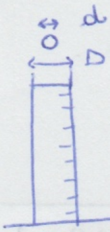
→ mesure de viscosité de l'huile de silicone (car ne s'hydrate pas trop)

lâcher bille = 4,3 cm exp ok ?

A FAIRE

on vérifie avec une grosse bille.

Principe :



En régime permanent :

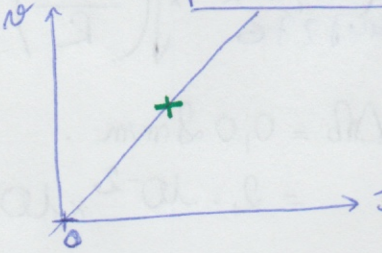
$$v = v_{lim} = \frac{2}{9} \frac{\rho_{bille} - \rho_F}{\eta} r^2 g$$

hyp :

- régime permanent : on attend avant de lancer le chrono et on a pris la distance Kg avant pour son établiss^t.
- pas d'influence du fond : on arrête avant le fond
- écoulement laminaire : vérifié a posteriori avec $Re \ll 1$
- pas d'influence des bords : on lance la bille du milieu et bille assez petite.

$\boxed{v = a + b r^2}$

On trace :



⇒ coeff dir ⇒ η

dépend de T ?

un pt en direct

lequel ?

penser à mesurer son rayon au Palmer.

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{\rho_b - \rho_F}{b} g$$

$$\Delta\eta = \eta \times \sqrt{\left(\frac{\Delta(\rho_b - \rho_F)}{\rho_b - \rho_F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2} \quad \text{OK}$$

$= \Delta\rho_b$

$\boxed{T_{prep} = 19{,}8°C}$

On vérifie la valeur de $Re = \dfrac{\rho D V}{\eta} = 0{,}3$ au maximum.

Données utiles :

Entre 300 et 900 $\boxed{L = 20{,}4 \pm 0{,}1 \text{ cm}}$

$\boxed{\rho_b = 7796 \pm 55 \text{ kg/m}^3}$

$\rho_F \approx 970 \text{ kg/m}^3$.

viscosité d'un liquide ↘ avec T

~~ici T↘ donc η ↗ ok~~

$$\rho_F = \frac{m}{V} = \frac{58{,}78}{60 \text{ mL}}$$

En direct :

- mesure de r bille
- mesure de t
- calcul : $\Delta v = v \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2} = v \sqrt{\left(\frac{0{,}1}{20{,}4}\right)^2 + \left(\frac{0{,}2}{t}\right)^2}$
- report dans Igor
- coeff dir $b =$ ±
- calcul $\eta = \dfrac{2}{9} \dfrac{\rho_b - \rho_F}{b} g$
- calcul $\Delta\eta = \eta \sqrt{\left(\frac{\Delta\rho_b}{\rho_b - \rho_F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2}$
- calcul de $\nu = \dfrac{\eta}{\rho}$

$$\Delta\nu = \nu \left(\frac{\Delta\eta}{\eta}\right)^2 +$$

Vérif hyp :

- droite ok pas trop effets de bords
- fond on a fait attent$^{\circ}$.
- RP : on l'établissement
- $Re \ll 1$ → ok

Mesures "direct" :

R_{direct} (m)	T_{direct} (s)
0,00125	10,41
0,001995	4,37
0,000495	62,47

$$\underbrace{\vdash\!\!+\!\!+\!\!\dashv}_{1s} \Rightarrow \Delta t = \frac{1}{N-1}$$

$$\Delta v = v\sqrt{\left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2}$$

$$\Delta t = 0{,}2\,s$$

$$\Delta L = 0{,}1\,cm.$$

30 img / s. entre 2 image $\frac{1}{30-1} = 0{,}0344827 6$

$$\Delta(R^2) = R^2 \times \sqrt{\left(\frac{2\Delta R}{R}\right)^2} = 2R\Delta R$$

$$\Delta R = 0{,}02\,mm.$$
$$= 2 \cdot 10^{-2} \times 10^{-3}$$

fit (sans haldo et sans erreurs) $\rightarrow$ $b = 11712 \pm 119$

$$\Rightarrow \eta = 1{,}27 \pm 0{,}02\ Pa.s$$

$\Rightarrow v =$

Reste à faire :
- vérifier régime permanent (cf vidéo téléphone)
- mesure ρ_f
- mesure T
- mesure v ?

Matériel :
- écran
- éprouvette
- bay
- thermomètre
- chrono
- pied à coulisse + palmer
- réglet
- billes.

1,96 1,98 2,08

2mm 0 0

$$\frac{\sigma}{\sqrt{3}} = \Delta R$$

Partie II :

Documents : • Igor "viscosimètre à chute de bille"

EPREUVE A 2007 : EM

TP P6 : Hydrodynamique.

Pour montage de MK Flu : revenir sur les hyp. faites au début.

Viscosimètre à chute de bille

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = \underbrace{m\vec{g}}_{\rho_b \frac{4}{3}\pi r^3} + \underbrace{\vec{\Pi}}_{-\underbrace{m_{\text{immergé}}}_{\frac{4}{3}\pi r^3 \times \rho_f}\vec{g}} + (-6\pi\eta r\vec{v})$$

→ hyp Re

$\vec{v}\downarrow \quad \downarrow\vec{g}$

En régime permanent :

$$\vec{0} = g\frac{4}{3}\pi r^3(\rho_b - \rho_f) - 6\pi\eta r\vec{v}.$$

$$0 = g\frac{4}{3}\pi r^3(\rho_b - \rho_f) - 6\pi\eta r v.$$

$$v = \frac{g\frac{4}{3}\pi r^3(\rho_b-\rho_f)}{6\pi\eta r} = \boxed{\frac{2}{9}\,g r^2\,\frac{\rho_b-\rho_f}{\eta}}$$

On trace v en fonction de r^2

On part de la bille la + petite

On considère régime permanent (v = cte) de $\underbrace{900 \text{ à } 300}$.

$d = \boxed{23,8 \text{ cm}}$ de chute.

$d = 23,8 \pm 0,1$ cm.

Il faudrait vérifier que sur 5 cm on a atteint le RP

Estimation des incertitudes :

$$\Delta v = v\sqrt{\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2}$$

$\Delta d = 0,1$ cm

$\Delta t \approx 0,2$ s.

Mesure des diamètres au pied à coulisse.

- Ø5 mm → 4,92 mm
- Ø4,5 mm → 4,42 mm.
- Ø4 mm → 3,92 mm.
- 3,5 →
- 3 →
- 2,5 →
- 2 →
- 1,5 →
- 1

incertitude rayon

$0{,}01\ mm = 10^{-2} \times 10^{-3}\ m$
$= 10^{-5}\ m.$

$0{,}1\ mm = 10^{-1} \times 10^{-3}$
$= 10^{-4}$

$y = a + bx \qquad b = 13541 = \frac{2}{9} g \frac{\rho_b - \rho_f}{\eta}$

On considère billes en acier : on mesure leur masse volumique

masse 40 billes $\varnothing$ 5 mm $= 22{,}96\ g \pm 0{,}01\ g$

$\Rightarrow m_1 = 0{,}5102 \pm 0{,}0002\ g = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho_b$

$\rho_b = \frac{3}{4\pi R^3} m_1 = \underline{7796\ kg/m^3 \pm 55\ kg/m^3}$

On lit $d_{silicone} = 0{,}97$ 970

$\boxed{\rho_f = \cancel{0{,}97}\ 970\ kg/m^3}$

$\eta = \frac{2}{9} g \frac{\rho_b - \rho_f}{b}$ — kg/m^3 ; $\frac{m/s}{m^2}$; $m.s^{-2}$

$\frac{kg\ m^{-3}\ m\ s^{-2}}{m\ s^{-1}\ m^{-2}}$

$= kg\ m^{-1}\ s^{-1}$

$\cancel{\nu = \frac{\rho}{\eta} = \frac{kg/m^3}{kg\ m^{-1}\ s^{-1}} = m^2\ s}$

$\cancel{\nu = 0{,}80\ m^2.s^{-1} = 0{,}8\ (10^{+3}\ mm)^2\ s^{-1}}$
$\cancel{= 0{,}8 . 10^{+6}}$

$\eta = 1{,}06$

$\nu = \frac{\eta}{\rho} = 1{,}09 . 10^{-3}\ m^2 . s^{-1}$
$= 1{,}09 . 10^{-3} \times 10^{6}\ mm^2\ s^{-1}$
$= 1090\ mm^2\ s^{-1}$!

Calcul incertitudes

$$\Delta\eta = \eta\sqrt{\left(\frac{\Delta\rho b}{\rho b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2} = 0{,}01 \text{ Pa.s.}$$

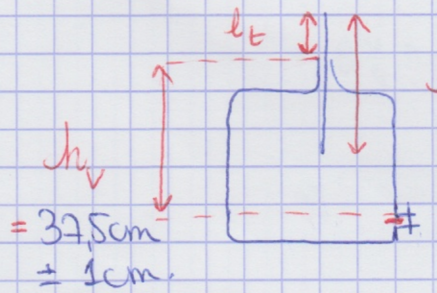
$$\eta = 1{,}06 \pm 0{,}01 \text{ Pa.s.}$$

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \qquad \Delta\nu = \nu\sqrt{\left(\frac{\Delta\eta}{\eta}\right)^2 + \cancel{\left(\frac{\Delta\rho}{\rho}\right)^2}} = 10 \text{mm}^2.\text{s}^{-1}.$$

→ devait sûrement ∃ !

$$\Rightarrow \nu = 1090 \pm 10 \text{ mm}^2.\text{s}^{-1}$$

Poiseuille :



$h_t = 42{,}0 \pm 0{,}1$ cm.

$$\begin{aligned} h &= h_v - (h_t - l_t) \\ &= h_v - h_t + l_t \\ &= 37{,}5 - 42{,}0 + l_t \\ &= l_t - 4{,}5 \text{cm.} \end{aligned}$$

l_t

24cm.

série bleue : $Q_V = a + bh$

a : $0{,}10477 \pm 0{,}0341$ en bloquant $a = 0$

b : $13{,}247 \pm 0{,}256$

$\Rightarrow b = 13{,}985 \pm 0{,}131.$

En théorie : $Q_V = \dfrac{\pi D^4 \rho g\, h}{128\, \eta\, L}$

⚠ on a Q_m

$Q_m = \dfrac{m}{t}$

$V =$

$D = 2{,}80$ mm.

$\rho = 10^3$ kg/m^3

$\eta = 10^{-3}$ Pa.s

$L = 160$ cm.

$\rho = \frac{m}{V}$ $\quad V = \frac{m}{\rho}$

$$Q_V = \frac{V}{t} = \frac{m}{\rho t}.$$

$$b = \frac{\pi D^4 \rho g}{128 \eta L} \Rightarrow \eta = \frac{\pi D^4 \rho g}{128 L\, b}$$

$\Rightarrow Q_V = \cancel{a} + bh$

$b = 1{,}385 \pm 0{,}01$

10^{-5}

$$\Rightarrow \eta = 6{,}6.10^{-4} \text{ Pa.s.}$$

$\eta th = 10^{-3}.$

MP03 : Viscosimètre à chute de bille :

	d_{bille} (mm)	temps (s)	
5mm 4,98±0,04	4,94 4,5 + 0,33 ± 0,01 4,5 + 0,33 ± 0,01 4,5 + 0,33 ± 0,01 4,5 + 0,34 ± 0,01	2,8 2,78 2,84 2,88 2,75 2,80	⇒ 2,8183 ... $\pm \frac{0,04}{\sqrt{6}}$
1mm 0,96±0,04mm	0,94 0,5 + 0,46 ± 0,01	61,3 60,59 60,59 60,53 60,85 60,91	$60,795 \pm \frac{0,29}{\sqrt{6}}$
1,5mm 1,44±0,04mm	1,45 1,0 + 0,44 1,0 + 0,44 1,0 + 0,43	27,8 27,72 27,56 27,56 27,31 27,41	$27,56 \pm \frac{0,18}{\sqrt{6}}$
2mm 1,94±0,04	1,95 1,5 + 0,42 1,5 + 0,41 1,5 + 0,42 1,5 + 0,44 1,5 + 0,43	16,1 15,88 15,73 15,80 15,60 15,75	$15,81 \pm \frac{0,17}{\sqrt{6}}$
2,5mm 2,46±0,04	2,44 2,0 + 0,38 ou 0,48 2,48	10,4 10,31 10,33 10,30 10,19 10,27	$10,3 \pm \frac{0,07}{\sqrt{6}}$
3mm 2,96±0,04	2,94 2,98 2,98 2,98 2,98 2,	7,4 7,31 7,25 7,23 7,37 7,16	$7,286... \pm \frac{0,08}{\sqrt{6}}$

3,5 mm

$3{,}48 \pm 0{,}04$

3,44	5,5
3,49	5,25
3,49	5,47
3,49	5,47
3,49	5,44
3,49	5,48
3,94	4,3
3,99	4,26
3,98	4,29
3,99	4,19
4,00	4,23
3,98	4,25
4,5	3,4
	3,50
	3,41
	3,39
	3,31
	3,44

$= 5{,}435 \pm 0{,}09$

$= 4{,}253\ldots \pm \frac{0{,}04}{\sqrt{6}}$

$3{,}4083\ldots \pm 0{,}06$

4 mm

$3{,}98 \pm 0{,}04$

à prendre par mesure en direct

4,5 mm

$4{,}48 \pm 0{,}04$

est pas un ± en fait ?

j'ai pris cô u(t)

$\Delta(R^2) = 2 * R \Delta R$

$$\boxed{\Delta V = V \times \sqrt{u(t)^2 + \left(\frac{0{,}2}{20{,}4}\right)^2}}$$

On a $ab = 12\,101 \pm 273$. $a = 0$

avec $\rho_F = 970\,kg/m^3$

à mesurer

$$\Rightarrow \boxed{\eta = 1{,}23 \pm 0{,}03 \text{ Pa.s}}$$

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \Rightarrow \boxed{\nu = 1268 \pm 31 \text{ mm}^2.s^{-1}}$$