

Exercices 2 Fluide au repos

Application : loi de Mariotte au capteur, plongée, barrage-poids, perfusion

4 exercices · niveau ●●○ · durée conseillée : 2 h · calculatrice autorisée

★ À RETENIR — Ce qu'il faut savoir faire à la fin de la feuille

- Tester la loi de Mariotte à partir de mesures (droite modèle, régression en Python).
- Exploiter la statique des fluides et la loi de Mariotte dans des situations réelles; représenter des forces pressantes.

Exercice 1 Tester la loi de Mariotte avec un capteur de pression ●●○

Une seringue contenant de l'air est reliée à un capteur de pression par un tuyau très court, de volume négligeable. On modifie le volume V de l'air en déplaçant lentement le piston et, pour chaque position, on attend quelques secondes avant de relever la pression P . La température de la salle reste égale à $21\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$V\text{ (mL)}$	15	20	25	30	35	40	45
$P\text{ (kPa)}$	203,1	150,9	121,6	100,8	86,8	75,5	67,6

- 1.1 Pourquoi déplace-t-on le piston lentement et attend-on avant chaque mesure? Quelle autre condition la loi de Mariotte impose-t-elle?
- 1.2 Pourquoi trace-t-on P en fonction de $1/V$ plutôt qu'en fonction de V ? Vérifier la position du point correspondant à $V = 25\text{ mL}$ sur la figure 1.
- 1.3 Le programme ci-dessous calcule les coefficients a et b de la droite $P = a \times \frac{1}{V} + b$ la plus proche des points. Il affiche 3.045 -0.45. Interpréter ces deux valeurs et conclure quant à la loi de Mariotte. Préciser l'unité de a .

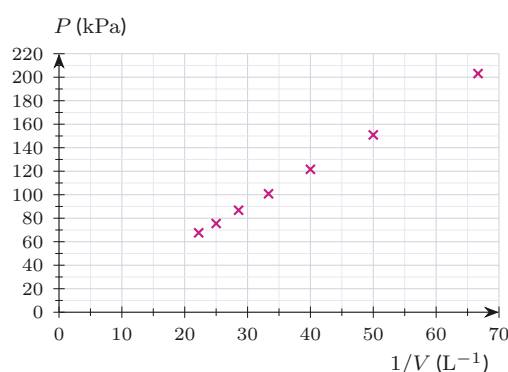


Figure 1 — Pression en fonction de $1/V$

```

1 import numpy as np
2 V = np.array([15, 20, 25, 30, 35, 40, 45]) * 1e-3          # volumes en L
3 P = np.array([203.1, 150.9, 121.6, 100.8, 86.8, 75.5, 67.6]) # pressions en kPa
4 a, b = np.polyfit(1 / V, P, 1)                            # modélisation par une droite (degré 1)
5 print(round(a, 3), round(b, 2))

```

- 1.4 Prévoir la pression de l'air lorsque son volume vaut 50 mL , puis le volume pour lequel la pression atteint $2,5\text{ bar}$.

Exercice 2 Plongée en apnée, plongée en scaphandre



On étudie l'air contenu dans les poumons d'un plongeur en mer (figure 2). On admet que cet air est à la même pression que l'eau qui entoure le plongeur et que sa température reste constante. À la surface, la pression est égale à P_{atm} .

- 2.1 Exprimer la pression P de l'eau à la profondeur p en fonction de P_{atm} , ρ , g et p . Montrer que la pression augmente d'environ 1 bar tous les 10 m, puis calculer la pression à 10 m, 20 m et 30 m.
- 2.2 **En apnée.** Une apnéiste remplit ses poumons en surface (volume d'air 6,0 L), puis descend à 30 m en bloquant sa respiration. Quel est alors le volume de l'air dans ses poumons ?
- 2.3 **En scaphandre.** À 30 m, un plongeur respire, grâce à son détendeur, de l'air à la pression de l'eau ; ses poumons contiennent 6,0 L d'air. Quel volume cet air occuperait-il en surface si le plongeur remontait en bloquant sa respiration ? Expliquer la règle : « à la remontée, on expire ».
- 2.4 Un ballon de baudruche fermé est emporté par le plongeur. Calculer le rapport de ses volumes à 20 m et à 30 m, puis en surface et à 10 m. Dans quelle zone le volume varie-t-il le plus ? Expliquer pourquoi la fin de la remontée doit être particulièrement lente (les plongeurs y marquent d'ailleurs un palier de sécurité de quelques minutes à 3 m).

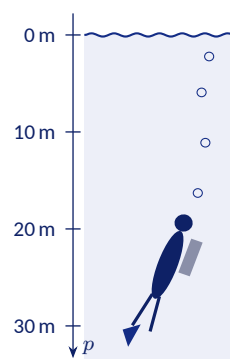


Figure 2 — Profondeurs (schéma)

■ **DONNÉES** $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ • $P_{\text{atm}} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$ • eau de mer : $\rho = 1,03 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ • $P_B - P_A = \rho g (z_A - z_B)$ (z vers le haut)

Exercice 3 Le barrage-poids



Un barrage-poids en béton retient l'eau d'un lac de hauteur $H = 40 \text{ m}$. Sa face amont (côté lac) est verticale et longue de $L = 250 \text{ m}$; la figure 3 en donne une coupe. L'air exerce la même pression P_{atm} sur le lac et sur la face aval : on ne s'intéresse donc qu'à la surpression $\Delta P = P - P_{\text{atm}}$ due à l'eau.

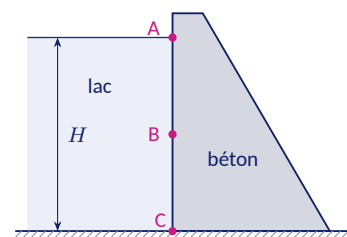


Figure 3 — Coupe du barrage

- 3.1 Calculer ΔP aux points A (surface), B (20 m de profondeur) et C (fond). Quelle est l'allure de la courbe représentant ΔP en fonction de la profondeur ?
- 3.2 Calculer la force pressante supplémentaire exercée par l'eau sur une plaque de $1,0 \text{ m}^2$ de la face amont placée en B, puis juste au-dessus du fond, en C (surpression supposée uniforme sur la plaque).
- 3.3 Reproduire la figure 3 et représenter ces forces en B et en C, avec l'échelle $1 \text{ cm} \leftrightarrow 1 \times 10^5 \text{ N}$. Pourquoi le barrage est-il plus épais à sa base ?
- 3.4 On admet que la force pressante totale supplémentaire exercée par l'eau sur la face amont est la même que si la surpression était uniforme et égale à sa valeur à mi-profondeur. Calculer sa valeur. Cette valeur dépendrait-elle de la quantité d'eau retenue, à hauteur égale ?

■ **DONNÉES** $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ • eau : $\rho = 1,00 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ • $P_B - P_A = \rho g (z_A - z_B)$

Exercice 4 À quelle hauteur suspendre la poche de perfusion ?



Une poche souple de solution de perfusion ($\rho = 1,00 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) est suspendue de sorte que la surface libre du liquide soit à la hauteur h au-dessus de l'aiguille plantée dans une veine du bras d'un patient allongé. La poche étant souple, la pression à la surface du liquide vaut P_{atm} . Dans la veine, la pression du sang dépasse P_{atm} de 1,3 kPa.

■ **DONNÉES** $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ • $P_B - P_A = \rho g (z_A - z_B)$ (z vers le haut)

- 4.1 Le robinet de la tubulure est fermé : le liquide est au repos. Exprimer la pression P_N du liquide au niveau de l'aiguille en fonction de P_{atm} , ρ , g et h .
- 4.2 Le liquide entre dans la veine si P_N est supérieure à la pression du sang. Déterminer la hauteur minimale de la poche, puis l'écart $P_N - P_{\text{sang}}$ pour $h = 1,0 \text{ m}$, valeur usuelle. Pourquoi le débit diminue-t-il si le patient lève le bras ?

- 4.3** Expliquer, à l'aide de la loi de Mariotte, pourquoi l'écoulement s'arrêterait vite avec un flacon rigide fermé contenant un peu d'air au-dessus du liquide.